

## Minimierung des Bohrkopfverschleißes an EPB-Tunnelbohrmaschinen

Im folgenden Beitrag wird dargestellt, wie durch Optimierung und Konfiguration der Bohrwerkzeuge sowie anderer Maßnahmen der Verschleiß bei EPB-Tunnelbohrmaschinen minimiert werden kann.

Große Findlinge, abrasives Erdreich und ständig wechselnde Bohrbedingungen an der Ortsbrust – widrige Baugrundverhältnisse wie diese sind es, die den Verschleiß an EPB-Bohrköpfen drastisch erhöhen und zu unnötigen Stillstandszeiten oder sogar Kostenüberschreitungen führen können. Dieses Szenario muss aber nicht zwangsläufig zur bitteren Realität werden, wenn die Bohrköpfe anforderungsgerecht verstärkt, die richtigen Additive verwendet und die eingesetzten Werkzeuge kontinuierlich überwacht werden. Fortschritte bei der Optimierung und Konfiguration der Bohrwerkzeuge, Panzerungen zum Schutz vor Verschleiß, Verschleißdetektoren sowie Chemikalien wirken heutzutage übermäßiger Bohrkopfabnutzung entgegen. Diese bewährten technischen Lösungen werden – mit großem Erfolg – auf den EPB-Tunnelbohrmaschinen von Robbins weltweit schon seit Langem und bei unterschiedlichsten Bedingungen eingesetzt.

### „Wenn es darauf ankommt,“

Die Bodenbeschaffenheit ist die Hauptursache für eine

**Desiree Willis**, Technical Writer, The Robbins Company, Kent, WA/USA  
[www.TheRobbinsCompany.com](http://www.TheRobbinsCompany.com)

schnelle Bohrkopfabnutzung an einer EPB-TBM. Höchst abrasives Erdreich, prognostiziert aus genauen geologischen Untersuchungen oder einem Baugrundgutachten, als auch Findlinge, wechselhaftes Hartgestein und variierende Bodenqualitäten üben hier den größten und entscheidenden Einfluss aus. Diesen vorausgesagten geologischen Verhältnissen und denen, die unerwartet hinzukommen, entgegenzutreten erfordert besondere Maßnahmen zum Schutz des Bohrkopfes vor Verschleiß. Die Prognosen über die Baugrundverhältnisse werden zusätzlich noch dafür verwendet, die zu erwartenden zeitlichen Aufwände für die Überprüfung und den Wechsel der Schneidwerkzeuge relativ genau vorzuberechnen.

Die Ingenieure nutzen diese Erkenntnisse auch bei der grundsätzlichen Konzeption des Bohrkopfes, wenn man z.B. einen Speichenbohrkopf oder eine Konfiguration für wechselnde Bodenverhältnisse wählt. Ist in den zu erwartenden Boden-

## Reducing the Cutterhead Wear at EPB Tunnel Boring Machines

The following article shows how Advances of Quality and Configuration for Cutting Tools may reduce the Cutterhead Wear at EPB Tunnel Boring Machines.

Large boulders, abrasive ground, and continuous mixed face conditions: It's a perfect storm that can maximize wear on an EPB cutterhead and result in increased downtime or even cost overruns. This scenario need not materialize, however, if proper reinforcements are made to the cutterhead, in conjunction with additives and rigorous tool monitoring. Advances in cutting tool quality and configurations, protective wear plating, wear detection devices, and chemicals now provide the necessary options to prevent excessive cutterhead wear. These practices have been used on EPB Tunnel Boring Machines of Robbins worldwide in a wide variety of conditions, with positive results.

### When the Ground gets Tough

Ground conditions are the main cause of rapid wear on an EPB cutterhead. Highly abrasive ground, as indicated from accurate geologic tests or a GBR, as well as boulders, mixed hard rock, and mixed face conditions are the major culprits. These ty-

pes of geology, in addition to unexpected conditions, call for special measures to be taken for wear protection of the cutterhead. In addition, the predicted conditions can be used to give fairly accurate time estimates for replacement and inspection of cutting tools.

Robbins engineers additionally use this estimate to determine the cutterhead type - whether that be a spoke-type or mixed ground configuration. If all expected geology is under 20 MPa UCS, then disc cutters are not needed and a spoke-type cutterhead can be provided. Spoke-type cutterheads have the advantage of a much larger opening ratio compared to mixed ground cutterheads (usually 60 to 65 %, compared with mixed face designs that clock in at 30 to 35 %). This larger opening ratio means spoke-type heads experience less wear, and require less torque and thrust from the machine. Other benefits of the spoke-type cutterhead include better face pressure control and faster advance rates. However, the main disadvantage of the design is also in its openness - the larger opening ratio provides less protection for workers du-



Protective wear plating, detection devices, and additives can minimize EPB cutterhead wear in even the most extreme conditions

qualitäten mit einer ein-axialen Druckfestigkeit (UCS) von unter 20 MPa zu rechnen, kann auf den Einsatz von Rollenmeißel verzichtet und ein Speichenbohrkopf eingesetzt werden. Speichenbohrköpfe weisen im Vergleich zu Bohrköpfen für wechselnde Geologien ein viel größeres Öffnungsverhältnis auf – in der Regel 60 bis 65 % verglichen mit 30 bis 35 % bei Bohrköpfen für Wechsellagerungen.

Dieses größere Öffnungsverhältnis bedeutet eine geringere Angriffsfläche für den Baugrund und daher, dass Speichenbohrköpfe geringerem Verschleiß ausgesetzt sind und die Maschine ein kleineres Drehmoment und geringere Vorschubkräfte für den Vortrieb aufbringen muss. Weitere Vor-

teile eines Speichenbohrkopfes sind bessere Kontrolle des Andruckes an der Ortsbrust sowie höhere Vortriebsgeschwindigkeiten. Das einerseits vorteilhafte große Öffnungsverhältnis birgt andererseits auch ein Manko dieser Konzeption – durch die großflächigen Öffnungen sind die Mineure bei den Werkzeugwechselerbeiten unter Überdruck weniger geschützt.

Für härtere Gesteinsschichten und schwierigere, variierende Bodenbedingungen wird ein Bohrkopf für wechselnde Geologien konzipiert, der den Bohrgutfluss in den Bohrkopfraum mindert und den Einsatz von Rollenmeißeln zulässt. Der Vortrieb mit einem solchen Konzept ist auch in betont schwierigen Bodenverhältnissen sehr

ring tool changes in hyperbaric conditions.

In harder ground and more difficult mixed face conditions, a mixed ground cutterhead can be designed that limits muck flow into the cutterhead chamber and allows for the use of disc cutters. While this type of design can effectively excavate very difficult ground, it will experience greater wear without the proper reinforcement and additive application. Tool consumption estimates can additionally aid in recommending the proper chemical additives and frequency of injection needed for optimal tool wear.

### Choosing the Right Tools

Of all aspects of EPB cutterhead

design, none may be more imperative than the correct choice of cutting tools. Cutting tools on an EPB are not only for excavating the ground, but also for protection of the cutterhead structure. If tools are left unchecked and allowed to wear off completely, then the cutterhead structure itself will come into contact with and begin to excavate the ground. In this scenario, machine thrust rises, advance rate slows, and wear to the cutterhead structure increases substantially. Cutting tools can be replaced on the cutterhead, but repair to the cutterhead structure is very difficult, expensive, and time consuming.

Optimal primary protection for EPB cutterheads is the replaceable knife bit. These knife bits

effizient, doch geht dies mit einem höheren Verschleiß einher, wenn nicht geeignete Verstärkungen und Additive eingesetzt werden. Die Ergebnisse aus den Vorausberechnungen für den Werkzeugverbrauch können hinzugezogen werden zur geeigneten Auswahl und Anwendung chemischer Baugrundkonditionierung, um optimale Verschleißwerte für die Werkzeuge zu erzielen.

### Die Wahl der richtigen Werkzeuge

Von allen bei der EPB-Bohrkopfkonzepktion zu bedenkenen Aspekten ist die richtige Wahl der Bohrwerkzeuge am wichtigsten. Die Schneidwerkzeuge einer EPB-Maschine dienen nicht nur zum Vortrieb, sondern auch dem Schutz des Bohrkopfgrundkörpers. Wenn die Werkzeuge nicht überwacht und somit komplett verschlissen werden können, besteht die Gefahr, dass der Bohrkopf-körper selbst mit dem Erdreich in Kontakt kommt und beginnt es abzubauen. Als Folge dessen erhöht sich der Maschinenvorschub, die Vortriebsgeschwin-

digkeit sinkt und der Bohrkopf unterliegt einem wesentlich höheren Verschleiß. Die Werkzeuge am Bohrkopf können ausgetauscht werden, aber Reparaturen am Bohrkopf selbst sind nicht nur sehr schwierig, sondern auch sehr kosten- und zeitintensiv.

Optimaler und vorbeugender Schutz für EPB-Bohrköpfe sind austauschbare Schneidzähne. Diese Schneidzähne werden in Standardqualität für den Einsatz in weicheren Bodenformationen und als Hochleistungswerkzeuge für starke Beanspruchungen geliefert. Sie können relativ schnell ausgetauscht werden, wenn sie von der Bohrkopfrückseite zugänglich sind - jedoch muss für diese Wechsel der Vortrieb unterbrochen werden. Daher empfiehlt es sich, Schneidzähne der höchsten Qualität zu wählen, um Stillstandszeiten zu minimieren. Schneidzähne bestehen generell aus Hartmetalleinlagen (8 Wolframschichten), einem speziellen Schaft aus legiertem Stahl und sind komplett mit einer Hartmetallbeschichtung versehen. Diese

come in standard duty and heavy duty, though standard duty is typically recommended only for softer geology. These tools are replaced relatively quickly once they are accessed from behind the cutterhead, but they require interventions to inspect and replace; thus, it is better to choose the highest quality knife bits in order to minimize interventions. Typical knife bits are composed of 8 layers of tungsten carbide inserts, a proprietary alloy steel shank, and a complete coating of hard facing. These replaceable knife bits are then welded to a base plate assembly that is wedge-locked into the cutterhead.

Engineers add shorter secondary knife bits in the same path as the primary knife bits to prevent wear from rapidly advancing to the cutterhead structure if the primary knife bits wear out. Cutterhead spokes are designed to alternate between primary and secondary knife bits. Consistent radial spacing of these primary cutting tools is efficient in the breaking up of soft ground. When hard rock or boulders are expected and

a mixed ground head is used, these tools can be designed as interchangeable with disc cutters. The same radial spacing principle enables the discs to fracture and break the rock through kerf cutting.

### Managing Tool Wear

While cutting tool wear is a normal process of excavation, detection of that wear can make the difference between a successful project and one that is behind schedule. The installation of wear detectors at varying heights on the face of the cutterhead can give warning of excessive wear or of the need to replace cutting tools before damage occurs. Wear detectors use hydraulic pressure that is released when a certain amount of wear occurs and the hydraulic line is sheared, sending a signal to the machine operator.

Varying cutting tool and scraper height arrangements are used on cutterheads depending on the geology, and thus detection can occur at various stages of wear. The most important detection point is at the scraper tips - if cutterhead

## Rolling Stock Palomino



Maschinen  
Stahlbau



Dresden  
Niederlassung der Herrenknecht AG

Der Spezialist für Ihren

## Rolling Stock

Besuchen Sie uns für weitere Lösungen  
unter [www.msd-dresden.de](http://www.msd-dresden.de)

austauschbaren Schneidzähne werden auf einer Grundplatte verschweißt, die wiederum mit einem Klemmverschluss am Bohrkopf befestigt wird.

Die Ingenieure bestücken jede Schneidbahn mit kürzeren, den längeren Primärschneidzähnen nachlaufenden Sekundärschneidzähnen und wirken damit schnell auftretendem Verschleiß am Bohrkopfgrundkörper entgegen, der eintritt, wenn die Primärzähne verschlissen sind. Die Bohrkopfspeichen sind so konzipiert, dass sich Primär- und Sekundärschneidzähne abwechseln. Ein konstanter radialer Schneidbahnabstand zwischen den Primärwerkzeugen hat sich beim Aufbrechen von Weichgestein bewährt. Wird Hartgestein oder werden große Steine und Findlinge erwartet und ein Bohrkopf für wechselnde Geologien eingesetzt, sind diese Werkzeuge derart ausgeführt, dass sie im Wechsel mit Schneidrollen eingesetzt werden können. Mit den Schneidrollen angeordnet auf demselben Schneidbahnabstand wird das Gestein penetriert und gebrochen.

### Erkennen und Umgang mit Werkzeugverschleiß

Verschleiß an den Bohrwerkzeugen ist eine normale Folge aus dem Bohrvortrieb: das Erkennen dieses Verschleißes kann den Unterschied ausmachen zwischen einem erfolgreichen Projekt und einem, das den Erwartungen hinterher läuft. Verschleißdetektoren auf mehreren Ebenen an der Bohrkopfvorderseite angebracht, geben Warnsignale vor übermäßiger Abnutzung und/oder zeigen die Notwendigkeit für Werk-



Mixed ground EPB cutterheads are often fitted with interchangeable knife bits and disc cutters

zeugwechsel an bevor Schäden eintreten. Verschleißsensoren funktionieren nach dem Prinzip des messbaren Druckverlustes in einem geschlossenen Druckkanal, der eintritt, wenn dieser Kanal geöffnet wird. Das tritt in diesem Fall bei Erreichen der Verschleißgrenze ein und dieser Druckverlust wird dem Maschinenfahrer als elektrisches Signal angezeigt.

Die Schneidwerkzeuge und Räumer werden auf Bohrköpfen, je nach geologischen Baugrundbedingungen, mit unterschiedlichen Abständen zur Grundstruktur angeordnet und so kann die Verschleißerkennung in verschiedenen Stufen erfolgen. Der wichtigste Messpunkt ist die Spitze der Räumerwerkzeuge: hat der Werkzeugverschleiß diesen Punkt erreicht, ist dies das Signal für den Maschinenfahrer, dass die Schneidwerkzeuge vollständig verschlissen sind und die Kratzer die Schneidarbeiten übernehmen. Die Kratzer sind nicht für den Bodenabbau konzipiert, sie sollen das

wear reaches the scraper tips, then the operator knows the knife bits have worn out completely and that the scrapers have started taking over the work. Scrapers are not designed to excavate, but to bring in material excavated by the knife bits, therefore, they will quickly wear if the knife bits are lost. There are many scrapers on any given EPB cutterhead, and replacement of these tools can become very costly and time consuming. To avoid this scenario, wear detectors should be taller than the scraper tips to give an advance warning that knife bits are at the end of their usable life and need to be replaced.

Another very important wear detector type is the wear tube. This tube is routed along the surface of the cutterhead structure beginning in the center and extending to the outermost segments of the cutterhead. The wear tube is protected by cutterhead wear plate on all sides. During tunnelling, the wear tube detects pinpoint failures of a primary cutting tool, which

can result in localized wear to the cutterhead. If, for example, a primary knife bit is lost, wear to the cutterhead structure will occur radially in the shape of a ring on the cutterhead face. The wear tube also utilizes hydraulic pressure to indicate that the cutterhead structure is in danger of becoming damaged, and to allow the crew to replace the tool and prevent such an occurrence.

### Armor Plating

Wear plate is one of the essential cutterhead reinforcements in abrasive mixed ground and rocky conditions. The optimal design for EPB cutterheads includes full protection with an outer layer of wear plate. Many different grades of wear plate are used, depending on several variables including expected abrasivity of the ground, project requirements, and cost. Wear plate materials may include Trimay, chromium, tungsten carbide, or boron carbide, which are not part of the cutterhead structure but are added onto it

von den Schneidzähnen abgebaute Material abtransportieren. Sie verschleifen somit schnell, sobald die Schneidzähne nicht mehr arbeiten. EPB-Bohrköpfe sind stets mit sehr vielen Kratzern versehen. Sie auszutauschen kann sehr kosten- und zeitintensiv sein. Um dies zu vermeiden, sollten Verschleißdetektoren über die Kratzerspitzen hinausragen, um rechtzeitig zu melden, dass die Schneidzähne am Ende ihrer Lebensdauer sind und ausgetauscht werden müssen.

Eine weitere sehr wichtige Vorrichtung zur Verschleißerkennung ist das Verschleißrohr. Dieses Rohr ist an der Bohrkopffrontseite angebracht in radialer Ausdehnung von der Mitte nach aussen. Das Rohr ist an allen Seiten mit Verschleißplatten abgedeckt. Während des Vortriebes werden mit Hilfe des Verschleißrohres punktuelle Ausfälle der Primärschneidwerkzeuge erfasst. Wenn beispielsweise ein Primärschneidzahn verloren gegangen ist, tritt unmittelbar darauf ringförmiger Verschleiß am Bohrkopfgundkörper auf. Das Verschleißrohr arbeitet auch nach dem Funktionsprinzip des Druckverlustes in einem geschlossenen Druckkanal und meldet die Verschleißgefahr am Bohrkopfkörper. Damit wird dem Betreiber Gelegenheit gegeben, das verlorene Werkzeug zu ersetzen und Schäden zu vermeiden.

### Panzerungen

Panzerungen sind die wichtigsten Verstärkungen an Bohrköpfen für Einsätze in wechselnden Geologien und Hartgestein. Das optimale Konzept für einen EPB-Bohrkopf weist komplette Panzerung mit einer am Um-

fang umlaufenden Verschleißplatte auf.

Heutzutage kommt eine Vielzahl von Panzerungen unterschiedlicher Qualitäten zur Anwendung, die mit Blick auf zu erwartende Abrasivität des Gesteins, Projektanforderungen und Kosten ausgewählt werden. Verschleißplatten-Materialien wie Trimay, Chrom, Wolframkarbid oder Borkarbid bilden nicht Teil des Bohrkopfgundkörpers sondern werden als Panzerung angebracht.

Für optimalen Schutz sollte die Panzerplatte die gesamte freiliegende Bohrkopfvorderseite abdecken, ausgenommen der Stellen, an denen sich Schneidwerkzeuge oder Injektionsdüsen befinden. Für abrasive Böden werden zum Schutz der äußeren Bohrkopfrandzonen Panzerungen mit Verschleißplatten und zusätzlichem Hartmetallauftrag empfohlen. Die für die Panzerplatten verwendeten Materialien sind insofern ungewöhnlich, als dass sie inhärent mit Rissen durchsetzt sind, die verfahrensbedingt beim Abkühlen des Karbidmaterials auftreten, nachdem es an den Bohrkopf geschweißt wurde. Langjährige Erfahrungswerte zeigen, dass diese Risse eine normale Erscheinung sind und keinen Mangel darstellen. Ebenso wenig weiten sie sich - selbst unter Stoßbeanspruchung - zu einer Deformation der Panzerplatte aus.

Panzerung ist eine an vielen Robbins EPB-Maschinen und Hartgesteinsbohrköpfen standardmäßig eingesetzte Methode – auch bei den 3 Maschinen für den Vortrieb in wechselndem Baugrund und mit einem Durchmesser von je 8,93 m, die beim Emisor

like armor. For optimal protection, wear plate should cover the entire exposed front surface of the cutterhead that is not shared with a cutting tool or a chemical injection port. In abrasive conditions cutterhead periphery protection, such as side protection bits and additional hard facing, are also recommended.

These wear plate materials are unusual in that they are inherently riddled with cracks - a process that occurs naturally as the carbide material cools after it has been welded to the cutterhead. Extensive experience shows that these cracks are normal and not a defect: they do not propagate, even under impact loading causing deformation to the plate.

Wear plating has been instrumental in protecting multiple Robbins EPB and hard rock cutterheads, including those of three 8.93 m diameter mixed ground machines operating at Mexico City's Emisor Oriente Wastewater Tunnel. Extensive wear plating on the cutterheads has enabled the machines to effectively excavate in some of the most difficult ground on Earth: Boulders up to 600 mm in diameter, abrasive basalt, and sticky lake clays at pressure up to 6 bar.

### Additives aren't just an Add-on

Chemical additives play a critical role in protecting the EPB cutterhead, as extensive wear can and will occur even with adequate plating and cutting tools. The original chemical additive for soft ground TBMs was Bentonite, which both reduced wear and allowed a free flow of excavated material. While Bentonite is useful in nearly all geological conditions, its drawbacks include cost

and toxicity - disposal of Bentonite is strictly regulated in many countries. Alternative additives such as foam, polymer, and anti-clay agents are now used quite often to provide focused ground treatment at a lower cost, and with easier removal.

To aid in additive injection, each EPB cutterhead must be designed with certain port sizes and locations. Independent injection ports on TBMs are capable of dispensing foam, polymer, Bentonite, or any mix of these, and are spaced radially from the center to the periphery of the cutterhead. Independent lines minimize the risk of clogging that can lead to uneven wear, while protection bits and hard facing placed on either side of each port minimize abrasion loss.

### Hard Projects in Mixed Ground: EPB Case Studies

Great reductions in wear and increases in production have been seen when contractors utilize a custom-designed cutterhead and inject the recommended chemical additives, even in difficult conditions. Examples of EPB cutterheads that have emerged with minimal wear after kilometers of excavation have been observed on multiple projects around the world.

### Challenging Chengdu

The new Chengdu Metro Line 2 stretches 31.6 km through a complex matrix of alluvial geology found nowhere else in China. In 2009, a 6.3 m diameter Robbins EPB was designed to excavate the highly permeable ground, consisting of lenses and layers of glacial boulders up to 25 cm in diameter, along with sand and stiff clay.

Oriente Wastewater Tunnel in Mexico City zum Einsatz kamen. Mit einer umfassenden Panzerplattenbewehrung an den Bohrköpfen konnten sich die TBM sehr effizient durch Bodenverhältnisse bohren, die zu den schwierigsten der Erde zählen: Findlinge mit einem Durchmesser von bis zu 600 mm, abrasives Basaltgestein sowie klebriger Ton bei einem maximalen Druck von 6 bar.

### Additive sind mehr als eine schlichte Ergänzung

Chemische Additive spielen beim Schutz von EPB-Bohrköpfen eine entscheidende Rolle, da großflächige Abnutzung selbst bei entsprechender Panzerung und Einsatz geeigneter Bohrwerkzeuge unweigerlich auftritt. Anfangs wurde auf Weichgesteins-TBM Bentonit als Additiv verwendet, das sowohl den Verschleiß minderte als auch den Abtransport des abgebauten Materials unterstützte. Auch wenn Bentonit in fast allen Geologien vorteilhaft ist, so gehen dennoch Nachteile damit einher: hohe Kosten und Toxizität. Die Entsorgung von Bentonit unterliegt in vielen Ländern strengen Vorschriften. Alternative Additive wie beispielsweise Schaum, Polymere oder Ton lösende Substanzen werden heute sehr häufig eingesetzt, um eine gezielte Bodenconditionierung zu niedrigen Kosten und bei weniger stringenten Entsorgungsvorgaben zu ermöglichen.

Um Additive in das Erdreich einzubringen, müssen an EPB-Bohrköpfen Injektionsdüsen bestimmter Abmessungen und an definierten Stellen angebracht sein. TBM von Robbins sind mit individuell an-

gebrachten Injektionsdüsen versehen, die radial verteilt vom Zentrum zur Randzone Schaum, Polymere, Bentonit oder Mischungen daraus in den Baugrund einbringen.

Getrennte Leitungen für die Injektionsdüsen mindern die Gefahr von Verstopfungen, die wiederum ungleichmäßigen Verschleiß nach sich ziehen. Schutz durch Hartmetallauftrag und mittels Schutzblechen, der im Bereich der Injektionsdüse angebracht wird, mindert die Gefahr des Verlustes durch Auswaschung.

### Schwierige Projekte in wechselhaften Gesteinsschichten: EPB-Fallstudien

Erhebliche Verschleißminderung und wesentliche Steigerung der Produktivität wurden beobachtet in Fällen, in denen die Bauunternehmer speziell für das Projekt konzipierte Bohrköpfe und die empfohlenen Additive verwendet haben.

To excavate in the conditions, a mixed ground cutterhead was provided, mounted with interchangeable carbide bits and seven 17-inch (432 mm) diameter disc cutters around the gauge, as well as hard facing. The large cutterhead opening ratio allowed for a smooth flow of muck into the mixing chamber. The cutterhead was powered by ten 90 kW variable frequency drives.

The machine was designed with active articulation for curves with radii as small as 500 m. The active configuration was utilized, because it engages articulation cylinders between the front and rear shields in curves to steer the machine independently of the thrust cylinders. The process allows the thrust cylinders to react evenly against all sides of the segment ring during a TBM stroke in a curve. The setup eliminates segment deformation, or racking - a common cause of project delays when passive articulation is used through curves.



At China's Chengdu Metro, a 6.3 m diameter EPB was designed for glacial boulder, clay and sand



The same EPB broke through after 3.2 km of tunnelling on the Chengdu Metro, with little visible cutterhead wear

Und dies in schwierigsten Geologien. Beispiele für EPB-Bohrköpfe, an denen selbst nach mehreren Vortriebskilometern nur ein minimaler Verschleiß auftrat, wurden bereits bei einer Vielzahl von Projekten überall auf der Welt registriert.

### Chengdu - eine besondere Herausforderung

Die neue U-Bahn-Linie 2 in Chengdu führt auf einer Länge von 31,6 km durch komplexes alluviales Gestein, das einzig-

artig in China ist. Im Jahr 2009 wurde von Robbins eine EPB-TBM mit einem Durchmesser von 6,3 m für den Abbau von höchst durchlässigen Bodenschichten konzipiert, die durch Einlagerungen eiszeitlicher Felsbrocken mit bis zu 25 cm Durchmesser, Sand und steifen Ton gekennzeichnet sind.

Für den Vortrieb in dieser Geologie wurde ein Bohrkopf für wechselhaftes Gestein geliefert, bestückt mit auswechselbaren Hartmetallzähnen

A foam injection system was used to stabilize any running ground, with each cubic meter of foam mixture able to stabilize about 40 rings of advance. Four independent injection ports allowed for good control of foam and other additives into the ground at the face.

The TBM excavated mainly through stiff red clays under about 2 bar earth pressure, but also experienced short sections of mixed face rock and earth, particularly while tunnelling 3.5

m below Donggan River. Despite the mixed conditions, only 3 cutter changes were required during boring - 1 cutter change required 1.5 bar of air pressure, while the other 2 were done in free air because the ground was very stable.

The Robbins machine completed tunneling in December 2010, having achieved landmark rates of 129 m in one week, and 459.5 m during its best month - higher rates than at least 4 other machines working on Line 2. The

und 7 Diskenschneidrollen der Größe 17" (432 mm) im Kaliberbereich sowie Hartmetallaufgaben.

Das große Öffnungsverhältnis des Bohrkopfes sicherte gleichmäßigen Bohrgutfluß vom Bohrkopf in die Abbaukammer. Der Bohrkopf wurde angetrieben von 10 Frequenzumrichter gesteuerten 90-kW Motoren.

Die TBM wurde mit einem aktiven Gelenk für Kurvenfahrt bei einem Radius von nur 500 m ausgerüstet. Die Ausrüstung mit einem aktiven Gelenk wurde gewählt, weil sie Gelenkzylinder zwischen Vorder- und Rückschild vorsieht, mit denen die Maschine bei Kurvenfahrt unabhängig von den Vorschubzylindern gesteuert werden kann. Dadurch wird gewährleistet, dass die Vorschubpressen sich auch in Kurvenfahrten gleichmäßig auf dem Tübbingring abstützen. Dieses Schildkonzept vermeidet Beschädigungen an den Tübbingungen – die bei Verwendung von passiven Gelenken häufig auftreten und zu Störungen im Projektverlauf führen.

Zur Stabilisierung fließender Bodenschichten wurde eine Schaumanlage eingesetzt und unter Einsatz von 1 m<sup>3</sup> Schaum der Vortrieb über jeweils 40 Tübbingringe dargestellt. Über 4 voneinander unabhängige Injektionsdüsen wurden Schaum und andere Additive in den Baugrund eingeleitet. Die TBM bohrte überwiegend durch standfesten Ton bei einem Erd- druck von ca. 2 bar, traf aber auch Abschnitte mit Wechsella- gerungen an, insbesondere bei der Unterquerung des Donggan Flusses bei einer Überdeckung von nur 3,50 m. Trotz der wechselhaften Geologien waren wäh-

rend des Vortriebes nur 3 Werkzeugwechsel notwendig – einer dieser Wechsel musste unter 1,5 bar Überdruck ausgeführt werden während die beiden anderen im standfesten Baugrund ohne Druckbeaufschlagung der Ortsbrust erfolgten.

Die TBM beendete den Vortrieb im Dezember 2010 und erzielte maßgebende Vortriebsleistungen von 129 m pro Woche und 459,5 m Monatsbestleistung – und mit besseren Leistungen verglichen zu mindestens 4 anderen Maschinen, die auf der Linie 2 eingesetzt waren. Erwähnenswert ist zudem, dass der Bohrkopf nach 3,2 km Vortrieb mit sehr geringem Verschleiß das Ziel erreichte.

### Erkenntnisse aus dem Guangzhou-Projekt

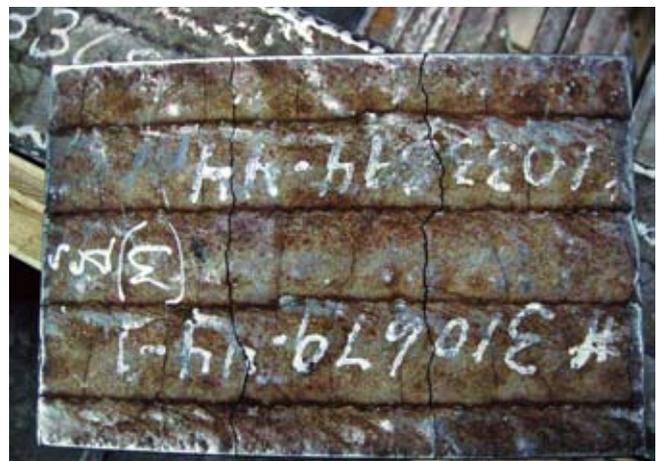
Zwei EPB-TBM von Robbins mit einem Durchmesser von 6,3 m begannen im Januar und Februar 2009 den Vortrieb durch für China typische und komplexe Gesteinsschichten im Los 12 der Guang-Fo-Linie im Ballungszentrum Guangzhou. Das Erdreich bestand aus Schichten mit stark bis leicht verwittertem Granit, grobkörnigem Sand sowie Schluff bei Erd- druckverhältnissen von bis zu 4 bar.

Die TBM wurden für wechselhaften Baugrund konzipiert und Speichenbohrköpfe mit einem Öffnungsgrad von 37 % vorgesehen. Sowohl Hartmetallschneidzähne als auch 17" (432 mm) Hartgesteinsdisken- meißel wurden für den Vortrieb im tonigen Boden und mit Felsformationen eingesetzt.

Jeder EPB-Bohrkopf wurde von 10 frequenzgesteuerten (VFD) Elektromotoren angetrieben und war so mit einer Gesamtantriebsleistung von 900 kW installiert. Die Bohr-



At China's Guangzhou metro, a mixed ground EPB excavated 4.5 km, with little to no visible cutterhead wear



Cracks in chromium carbide wear plating are a part of the material and do not affect performance when used on an EPB cutterhead

cutterhead notably emerged after 3.2 km of excavation with very minimal wear.

### Getting Results in Guangzhou

Two Robbins 6.3 m diameter EPBs began boring Lot 12 of China's Guangzhou Metro, Guang-Fo line in January and February 2009, through the country's characteristically complex soils. Ground

consisted of layers of highly weathered to slightly weathered granite, coarse sand, and silt at earth pressures up to 4 bar.

The machines were designed for mixed face, variable ground using spoke-type cutterheads with a 37 % opening ratio. Both carbide bits and 17-inch (432 mm) hard rock single disc cutters were used to combat both the clay-like and rocky conditions.

kopfdrehzahl wurde nicht zu hoch gewählt (max. ca. 1,5 min<sup>-1</sup>), um Belastungen auf den Baugrund und Oberflächenabsenkungen in nicht standfesten Geologien zu minimieren. Gleichzeitig wurden die TBM für hohe Drehmomente ausgelegt, um die Penetrationsrate im Weichgestein zu erhöhen.

Die TBM wurden an Stationen in offener Bauweise, die in dicht besiedelten Stadtteilen Guangzhous liegen, montiert und angefahren. Vom Vortriebsbeginn an war die Viskosität des roten, tonartigen Bodens höher als erwartet, was zwar die Erzeugung des pastösen Erdbreies vereinfachte, allerdings auch dazu führte, dass der Bohrkopf mit dem Zentrum blockierte.

Um durch diese klebrigen Schichten fahren zu können, wurde Schaum injiziert, was die Viskosität verringerte, und gleichzeitig wurde durch Injektionsöffnungen in der Personenschleuse Wasser injiziert um das Bohrkopfszentrum frei zu spülen. Dieses Verfahren wurde durch den Betrieb von 4 Schaumdüsen am Bohrkopf unterstützt.

Trotz Wechsellagerungen im Baugrund und anderer Her-

ausforderungen wie geringe Überdeckung und Unterquerung gefährdeter Bebauung erzielten die Maschinen beste Monatsleistungen von 377 m – und dies wurde von keiner der anderen 16 Maschinen, die beim Bau der Guang-Fo-Linie in der Metro Guangzhou eingesetzt waren, übertroffen. Beide EPB-TBM beendeten den Tunnelvortrieb im September und Oktober 2009 – mehr als 1 Monat vor dem Plantermin und mit minimalem Verschleiß an den Bohrköpfen.

### Fazit

EPB-TBM sind für den Vortrieb in wechselhaftem Baugrund absolut geeignet und einsetzbar – ausgerüstet mit den richtigen Schneidwerkzeugen und unter Anwendung von Additiven. Die Zusammenarbeit der Bauunternehmer mit den TBM-Herstellern ist Basis für die optimale Bohrkopfkonstruktion und die richtige Wahl der Additive und deren Zugabe mit dem Ziel, minimalen Verschleiß und beste Vortriebsleistungen zu erreichen. Wie in vielen Belangen des Tunnelbaues – der Erfolg beginnt mit der Planung und lange vor dem ersten Boh-



Each EPB cutterhead was driven by 10 variable frequency drive (VFD) electric motors, for a total cutterhead power of 900 kW. Cutterhead rotation was kept low (around 1.5 rpm at maximum), in order to reduce ground disturbance and surface settlement in non-self-supporting geology. At the same time, the machines were designed with high torque to increase the rate of instantaneous penetration in soft ground.

The machines were launched from cut and cover station sites in a densely urban area of Guangzhou. From the start, the viscosity of a red, clayey soil layer was higher than expected, making the mud cake easy to form, but also prone to blocking the central area of the cutterhead. In order to pass through the sticky layer, foam was added to reduce viscosity, while reserve water injection holes inside the man-lock were used to flush any clogged soil from the central cutterhead area. The situation was aided by a system of 4 independent foam injection points on the cutterhead, which prevented clogging of multiple ports on one side of the cutterhead, which can lead to uneven wear.

Despite the mixed ground and other challenges including low cover and sensitive structures, the machines achieved a best month of 377 m - higher than any of the 16 TBMs that worked on the Guangzhou Metro, Guang-Fo Line Project. Both Robbins EPBs completed 4.5 km of tunnelling with little cutterhead wear more than a month early, in September and October 2009.

### Conclusions

EPBs are fully capable of excavating highly variable and abrasive ground conditions - with the proper tools, design, and additives. Contractors who work with manufacturers and suppliers to achieve an optimal cutterhead design and a proper additive injection program can expect to experience less wear and better advance rates. As with many aspects of tunneling, success begins with planning, long before the first TBM push. 

 **PROFIL**  
BUCHHANDLUNG IM BAUVERLAG  
**fachbuchtipp**

Profil –  
Buchhandlung im Bauverlag  
Bauverlag BV GmbH  
Avenwedder Str. 55  
33311 Gütersloh  
Tel.: +49 (0) 5241/80-88 957  
Fax: +49 (0) 5241/80-60 16

profil@bauverlag.de  
www.profil-buchhandlung.de



### Tunnelbau 2012

Hrg.: DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.  
36. Jahrgang  
Gebunden, 400 S. m. zahlr. Abb., 15,5 cm, 283g  
2011 VGE-Verlag  
ISBN 978-3-86797-122-5  
EUR 32,00

In der neuen Ausgabe 2012 setzen Fachbeiträge aus dem Gebiet des Tunnelbaus in geschlossener Bauweise sowie den Rubriken „Tunnelbetrieb und Sicherheit“ und „Instandsetzung und Nachrüstung“ zeitgerechte Schwerpunkte.

Bestellen Sie online unter: [www.profil-buchhandlung.de](http://www.profil-buchhandlung.de)