Technische Neuerungen und Grenzen zweier bewährter Lockergesteins-Vortriebsmethoden

Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über die Unterschiede von Tunnelvortriebsmaschinen mit Erdruck- und Flüssigkeitsstützung. Gleichzeitig werden Neuerungen und Grenzen dieser unterschiedlichen Philosophien des Tunnelvortriebs aufgezeigt.

Innovations and Limitations of Two Long-Standing Soft Ground TBM Designs

The following article gives an overview over the differences between EPB and Slurry TBMs and shows innovations and limitations of these two philosphies of boring tunnels.

Desiree Willis, Technical Writer, The Robbins Company, Kent, WA/USA
www.TheRobbinsCompany.com

Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) sowohl mit erddruckgestützten als auch flüssigkeitsgestützten Schilden, deren Prototypen erstmals in den 1960er Jahren in Japan konzipiert und die in den folgenden Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickelt wurden, basieren auf 2 sehr unterschiedlichen Konstruktionsansätzen. So bauen Schildmaschinen mit Erddruckstützung (Earth-Pressure-Balance- oder EPB-Schildmaschinen) auf dem Prinzip auf, den anstehenden Erddruck auszugleichen. Hierbei kommen ein Schneckenförderer und eine Druckwand zum Einsatz, mit denen das Gestein gelöst und der Umgebungsdruck auf Atmosphärendruck ausgeglichen werden kann, wobei der Druckausgleich über den Maschinenvortrieb und die Geschwindigkeit des Schneckenförderers gesteuert werden kann. Dagegen werden TVM mit Flüssigkeitsstützung als in sich geschlossene Systeme konzipiert, die den Druck durch die Bildung einer Schlamm- und Dickstoffmasse aufrechterhalten, wobei das Betonit- und Dickstoffgemisch über ein Rohrsystem abgetragen und abgeleitet wird.

Dennoch fällt die Entscheidung, welche TVM am besten einzusetzen ist, nicht immer leicht. „Wenn man bei einem Bauprojekt in Weichgestein davon ausgehen könnte, dass alles reibungslos ablaufen wird, dann wäre eine TVM mit Flüssigkeitsstützung schon die richtige Wahl, da sie weiter reichende Steuerungsmöglichkeiten bietet. Sobald es aber zu einer Betriebsstörung kommt oder wenn die Ortsbrust auf einen Hohlraum stößt oder sich ein sonstiges Problem ergibt, bei dem es zum Verlust der Schlamm- oder Dickstoffmasse kommt, dann kann Außenmaterial in die Maschine eindringen", so Shinichi Konda, Robbins' leitender EPB-Ingenieur. Auf ihrer Internetseite Herrenknecht.com vergleicht das Unternehmen diese beiden Methoden und schreibt, dass „EPB […] in weichen Geologien in ihrem Element [sind].

EPB and Slurry TBMs, first developed in the 1960s and refined in the decades following, were designed around very different philosophies. Though both prototypes originated in Japan, EPBs were founded around the concepts of achieving balance with the surrounding earth pressure. A screw conveyor and pressure bulkhead allowed the ground to be removed and equilibrated to atmospheric pressure, with the balance being achieved through machine advance and rate of screw rotation. Slurry TBMs were designed as an enclosed system, maintaining pressure through the formation of a slurry and muck screen, with the muck and Bentonite mixture being removed and cycled through a system of slurry pipes.

Determining when each machine is best used is not always clear, however. "If everything were to go perfectly on a given soft ground job, a Slurry TBM design would offer greater control. However, if there is an error in operation, or if there is a void at the face or another problem resulting in loss of the mud screen, anything outside can enter the machine," said Shinichi Konda, Robbins Chief EPB Engineer. Herrenknecht.com lists EPBs as being "in their element when the geology is soft. Cohesive and non-cohesive soils with a high clay or silt content and low water permeability are ideal conditions." Slurry TBMs are discussed as beneficial "in non-cohesive soil conditions ranging from fine-grained sand to coarse-grained gravel."

While all of these statements may be true, the reality is that both machine types have undergone numerous design improvements in recent years, which allow them to excavate in ever more overlapping ground conditions. These commonalities make each method viable in a variety of ground types, though some important differences between the two setups remain.

Ground Conditions: The Main Factor

Choosing between EPB and Slurry machines is most often a choice depending on ground

Slurry TBMs, such as the 6.26 m diameter machine seen here, are often used in non-cohesive, granular materials

Bindige und rollige Böden mit hohem Ton- oder Schluffanteil und geringer Wasserdurchlässigkeit, d.h. Böden von breiig-weicher Konsistenz, bieten ideale Voraussetzungen für den EPB-Vortrieb." Wohingegen TVM mit Flüssigkeitsstützung „in rolligen Bodenverhältnissen – von feinen Sandformationen bis zu grobkörnigen Kiesen – zum Einsatz" kommen."

Auch wenn all diese Aussagen zutreffen mögen, so ist dennoch festzuhalten, dass in den vergangenen Jahren zahlreiche Veränderungen an der Konstruktion dieser beiden TVM-Typen vorgenommen wurden, mit denen es möglich ist, Bohrungen unter immer mehr ineinander übergehenden und unterschiedlichen Bodenverhältnissen durchzuführen. Auch wenn diese beiden Methoden sich immer mehr aneinander angeglichen haben und somit heute unter einer Vielzahl von Bodenbedingungen eingesetzt werden können, so gibt es dennoch weiterhin wichtige Unterscheidungsmerkmale zwischen diesen beiden TVM-Konzepten.

Die Bodenbeschaffenheit – das Hauptkriterium

Die Entscheidung über den Einsatz einer TVM mit erddruck- oder flüssigkeitsgestützten Schilden hängt in den meisten Fällen von den herrschenden Bodenbedingungen ab. „Bei körnigen Bodenverhältnissen conditions. "In granular material, slurry is the best choice. Slurry TBMs can react quicker because the support of the face is controlled by pump pressure. When using EPBs in mixed face conditions, some of the forward thrust for advance can be lost when harder material is encountered, but this can be overcome with longer and multiple screw conveyors. In cohesive materials EPB is better, because the slurry machine has a tendency to become plugged. In non-cohesive materials (e.g. sands and gravels), Slurry is better. Conversely, Slurry machines in clay material can present a problem," said Paul Zick, Underground and Tunnelling Operations Manager for contractor Obayashi USA.

Abrasive Ground

In abrasive conditions, both types of machines are capable of efficient excavation. New grades of protective armor cladding are available for use on cutterheads, offering over five times the wear life of traditional wear plates. With the proper periphery tooling around the cutterhead rim, both types of machines can excavate abrasive ground. Wear detection devices on both machine types can also determine the depth of wear in cutting tools, and offer advance warning for tool replacement.

Mixed Face

In mixed ground, both EPBs and Slurry machines can be fitted with a combination of

ist die Wahl einer TVM mit Flüssigkeitsstützung die beste Wahl. Sie ermöglicht eine schnellere Reaktion, da die Ortsbruststützung über den Pumpendruck gesteuert werden kann. Beim Einsatz einer TVM mit Erddruckstützung in wechselgelagertem Gestein kann sich der Vorschub vermindern, wenn härteres Material abgetragen werden muss. Dies kann jedoch durch die Verlängerung und Erhöhung der Anzahl der integrierten Schneckenförderer ausgeglichen werden. In bindigen Böden wiederum sind EPBs besser, da Flüssigkeitsschild-TVM verstopfungsanfällig sind. In nicht bindigem Boden (z.B. Sand oder Kies) sind flüssigkeitsgestützte TVM die bessere Wahl. Dagegen können Flüssigkeitsschild-TVM in lehmigen Böden problematisch sein", so Paul Zick, Leiter Tief- und Tunnelbau beim Bauunternehmen Obayashi USA.

Abrasiver Baugrund

In abrasiven Böden können beide Maschinentypen ihre Leistungsfähigkeit in puncto Abbau unter Beweis stellen. Durch die Nutzung neuartiger Schutzverkleidungen für die Bohrköpfe kann die betriebliche Lebensdauer heutiger Verschleißplatten um mehr als das Fünffache verlängert werden. Die Bestückung des Bohrkopfrandes mit geeigneten Peripheriewerkzeugen ermöglicht den Einsatz beider Maschinentypen für den Abbau von abrasivem Baugrund. Daneben kann durch den Einbau von Verschleißanzeigern in beiden Maschinentypen der Abnutzungsgrad der Bohrwerkzeuge jederzeit ermittelt werden, wodurch verschlissene Werkzeuge rechtzeitig ersetzt werden können.

Wechselgelagerte Böden

Sowohl erddruck- als auch flüssigkeitsgestützte TVM können für einen Einsatz in wechselgelagerten Böden mit einer Kombination aus Rollenmeißeln und Bohrwerkzeugen aus Hartmetall ausgestattet werden. EPB-Schildmaschinen können mit Förderschnecken ohne Schaft ausgerüstet werden, wodurch Findlinge und größere Geröllsteine über die Schnecke abgetragen werden können. Flüssigkeitsgestützte TVM verwenden in der Regel Brecher, die abgetragenes Hartgestein zerkleinern, das dann über das Rohrsystem abtransportiert wird.

Festgestein

Shinichi Konda weist darauf hin, dass sowohl erddruck- wie auch flüssigkeitsgestützte TVM an ihre Grenzen stoßen, wenn sie in reinem Festgestein eingesetzt werden, wo mit wasserbedingten Druckverhältnissen gerechnet werden muss: „Der Einsatz einer EPB-Schildmaschine in felsigen Böden kann zu hohem Verschleiß und hoher Abnutzung führen. Das liegt daran, dass eine EPB-Schildmaschine in Festgestein ohne Druckbeaufschlagung eingesetzt wird, sodass der Abbaubetrieb ohne Unter- bzw. Überdruck erfolgt und der Dickstoff aus dem Schneckenförderer anderweitig entzogen werden muss, es sei denn, ein Förderband kommt zum Einsatz". In Bezug auf die Grenzen von TVM mit Flüssigkeitsstützung führt er weiter aus, dass die Verwendung von Bentonitschlamm an der Ortsbrust zwar zu einem geringeren abrasionsbedingten Verschleiß des Bohrkopfes führt, andere

Pressure-compensated disc cutters, developed by Robbins, are extending the range of ground conditions effectively excavated by EPB TBMs

disc cutters and carbide cutting tools. Ribbon-type screws can be used in EPBs, which allow boulders and large cobbles to travel up the screw for removal through a boulder collecting gate. Slurry machines typically use a crusher to allow chips of harder material to travel through slurry pipes.

Hard Rock

Konda cautions that both EPBs and Slurry TBMs have difficulties when used in purely hard rock conditions where water pressure is expected: "Excavating only rock with an EPB can result in high abrasion wear and loss. This is because an EPB in rock is operated in a non-pressurized mode, so there is no pressure differential and the muck must be pulled out of the screw conveyor, or a belt conveyor must be installed." Regarding the limits of the Slurry machine, he emphasizes that although the action of Bentonite slurry at the face results in less abrasion loss at the cutterhead, other areas of the machine are subject to extremely high wear. These include the slurry discharge pipe, which carries the chips of rock, and the rock crusher.

High Water Pressures

Traditionally, Slurry TBMs have been recommended for any water pressure over 2 bar, though the high pressure limit for use of

Teile der Maschine dafür jedoch einer extrem hohen Abnutzung ausgesetzt sind. Dazu zählen das Erdbreifördersystem, über das das zerkleinerte Gestein abgetragen wird, wie auch der Steinbrecher.

Hohe Wasserdruckverhältnisse

Der Einsatz von flüssigkeitsgestützten TVM wird generell bei Projekten empfohlen, bei denen mit Wasserdruckverhältnissen von mehr als 2 bar zu rechnen ist. In den vergangenen Jahren konnte jedoch diese Wasserdruckgrenze bei EPB-Schildmaschinen kontinuierlich ausgeweitet werden. Als bemerkenswerte Ausnahme von dieser 2-bar-Grenze seien die 3 EPB-Schildmaschinen von Robbins genannt, die mit ihrem Bohrdurchmesser von jeweils 8,93 m im Rahmen des Projekts Emisor Oriente Wastewater Tunnel in Mexiko-City zum Einsatz kamen. Die Maschinen wurden für einen Wasserdruck von bis zu 6 bar ausgelegt und verfügen über Doppelschneckenförderer und patentierte Rollenmeißel mit Druckausgleich.

Bei der Konstruktion des druckkompensierten Rollenmeißels wurde – bedingt durch die Abdichtung – von einem Innen- und Außendruckgefälle

EPBs is continually being raised. Notable exceptions to the 2 bar limit include three 8.93 m diameter Robbins EPBs at Mexico City's Emisor Oriente Wastewater Tunnel. The machines have been designed for water pressures up to 6 bar, with two-stage screw conveyors and patented, pressure-compensated disc cutters.

The pressure-compensated cutter design takes into account a 3 bar pressure differential between the inside of the cutter and the outside, due to the seals. A device transmits the external pressure to the inside of the cutter, which is filled with oil, making the differential across the seals zero. This setup allows EPB machines to excavate in high pressures of 7 bar or more, and prevents the failure of cutter bearings in these conditions.

Rate of Advance

Both types of machines can excavate at good advance rates, but there are some limitations to their speed. When designing an EPB machine for fast advance, higher power and higher torque are necessary. Two Robbins EPBs being supplied for Chengdu China's Metro Line 2 Extension have been designed in this way. High-powered, modular cutterhead drive systems have been paired with specially designed screw conveyors ca-

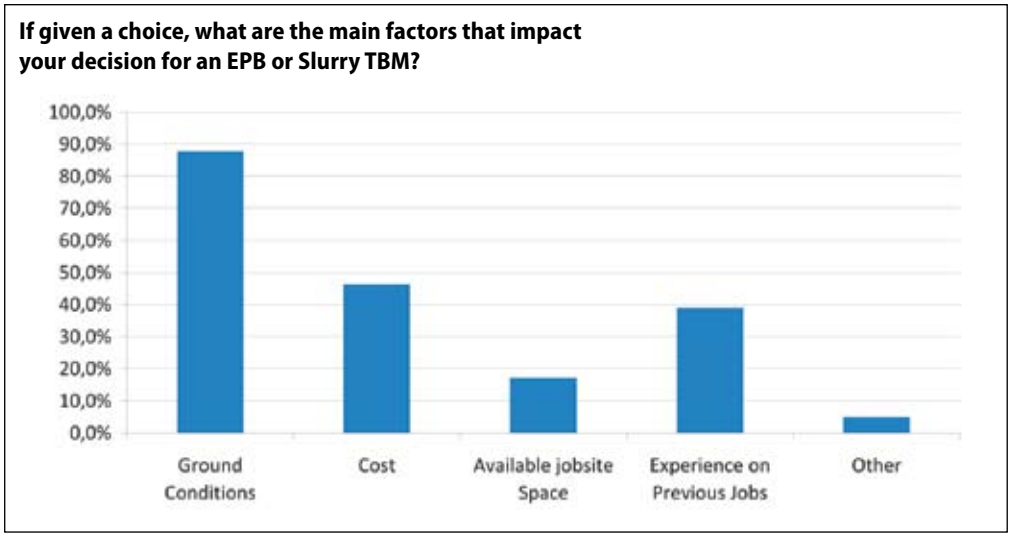
rascor®

Wer richtig plant, bleibt trocken.

Als Pioniere in der Abdichtungstechnik entwickeln wir Produkte für die höchsten, trockensten Ansprüche Ihrer Tunnelprojekte – denn Trockenheit heisst auch Sicherheit! Problemorientierte und massgeschneiderte Abdichtungskonzepte sichern den Erfolg! **RASCOR - Pioniere der Bauabdichtung.**

Rascor International AG
Gewerbestrasse 4
CH-8162 Steinmaur
Telefon 044 857 11 11
Telefax 044 857 11 00
info@rascor.com

von 3 bar zwischen dem Bohrkopf und dessen unmittelbarer Umgebung ausgegangen. Ein Gerät überträgt den Außendruck in den Innenraum des Bohrkopfes, der mit Öl gefüllt ist, wodurch das Druckgefälle entlang der Abdichtung auf null gesenkt werden kann. Mit dieser Konzeption können EPB-Schildmaschinen unter hohen Druckverhältnissen von 7 bar und mehr für Bohrarbeiten eingesetzt werden. Gleichzeitig verhindert diese Konstruktionsweise den Ausfall der Bohrkopflager unter diesen Betriebsbedingungen.



In the Robbins survey, most respondents (87.8 %) listed ground conditions as the deciding factor between EPB and Slurry, with cost and experience on previous jobs also being of primary importance

Vortriebsgeschwindigkeit

Beide Maschinentypen weisen eine hohe Vortriebsgeschwindigkeit auf, dennoch sind ihrer Abbaugeschwindigkeit Grenzen gesetzt. Bei der Konzeption einer EPB-Schildmaschine mit hoher Vortriebsgeschwindigkeit müssen entsprechende Vorkehrungen für eine hohe Leistung wie auch ein hohes Drehmoment getroffen werden. Zwei erddruckgestützte TVM von Robbins, die beim Ausbau der U-Bahn-Linie 2 im chinesischen Chengdu eingesetzt wurden, wurden auf dieser Basis konzipiert. Hochleistungsfähige, modulare Bohrkopfantriebssysteme wurden mit speziell konstruierten Schneckenförderern zu einer Einheit zusammengesetzt, die bei einem Drehmoment von 230 kNm ihre Arbeit verrichtet. Daneben wurden die Maschinen so ausgelegt, dass sie einen schnelleren Dickstoffabtransport sowie einen verbesserten Abnutzungsschutz gewährleisten.

Bei der Konstruktion einer flüssigkeitsgestützten TVM mit hoher Vortriebsgeschwindigkeit muss die Dickstofftrennanlage im Verhältnis größer ausgelegt werden, um den erhöhten Durchsatz bewältigen zu können, der auf den höheren Abraum an der Ortsbrust zurückzuführen ist.

Ergebnisse einer Umfrage

Angesichts der Vielzahl von Kriterien, die es bei der Wahl einer TVM für Lockergestein zu beachten gilt, beschloss Robbins, eine Umfrage zu erheben, um Meinungen direkt aus der Tunnelbranche zusammenzutragen. Die Umfrage wurde im Juni 2011 durchgeführt, wobei die Antworten von 88 Befragten aus den Bereichen Konstruktion, Beratung, Planung, Auftragsakquisition sowie Projektmanagement ausgewertet wurden. Den Teilnehmern wurde die folgende Frage gestellt:

Glauben Sie, dass in der Branche bei Tunnelbauprojekten in Lockergestein EPB- und flüssigkeitsgestützte TVM bevorzugt werden?

a) EPB-Schildmaschinen werden bevorzugt

pable of operating at 230 kNm of torque. The design offers faster muck removal, as well as abrasion protection.

When designing a slurry machine for fast advance, the slurry separation plant must be proportionately larger to handle the increased flow rate, taking up a larger footprint at the surface.

Survey Results

Given the wide variety of variables to be considered with soft

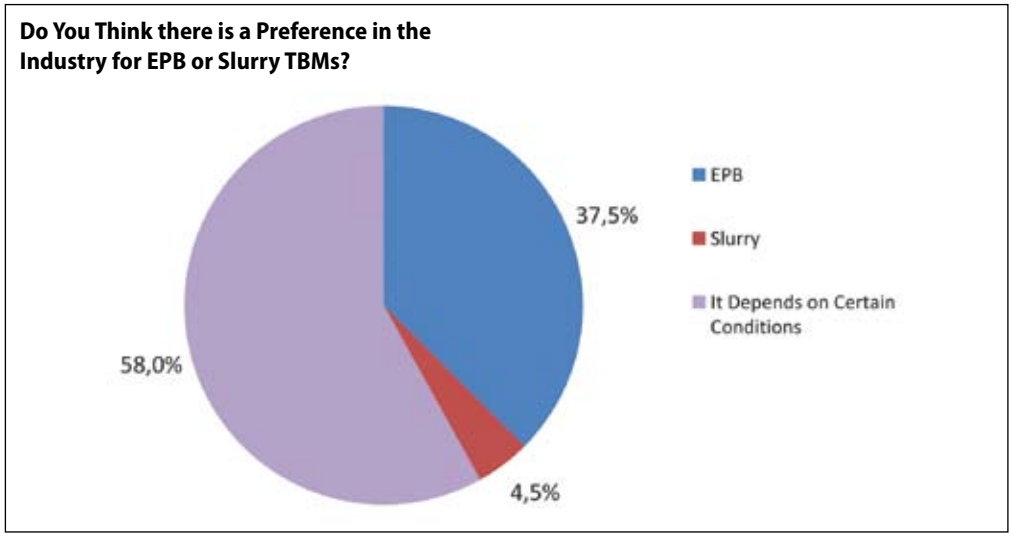
EPB TBMs are often used in cohesive and mixed ground conditions

b) Flüssigkeitsgestützte TVM werden bevorzugt
c) Das hängt von bestimmten Bedingungen ab (die anzuführen waren)

Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, haben über 58 % „Das hängt von bestimmten Bedingungen ab" (Antwort c) angegeben. Von den Befragten, die sich für einen bestimmten Maschinentyp ausgesprochen haben, sprachen sich 33 für EPB-Schildmaschinen und 4 für flüssigkeitsgestützte TVM aus. Als Begründung für die Auswahl von Antwort c wurde eine Vielzahl von Kriterien angeführt, wobei dennoch einige Argumente mehrmals vorgebracht wurden, darunter Wasserdruck, Korngröße sowie Risikobewertung durch die Beratungsfirma und das ausführende Bauunternehmen.

Mehrere der Befragten führten die Bodenverhältnisse als das entscheidende Kriterium auf: „Neben den Bodenverhältnissen, die immer ausschlaggebend für die Auswahl der geeigneten TVM sind, müssen noch die Kostenfaktoren berücksichtigt werden", so ein Befragter. Ein anderer ging auch auf das Material ein, das beim Abbau mit einer flüssigkeitsgestützten TVM entsteht: „Es liegt auf der Hand, dass die Bodenverhältnisse die Auswahl eines TVM-Typs vorgeben. Im Vergleich zu einer TVM mit Flüssigkeitsstützung ist die Behandlung des Abraums einer EPB-Schildmaschine aber immer wesentlich einfacher".

Die Risikobewertung stellte ein weiteres interessantes Kriterium dar, das vorgebracht wurde. Einer der Befragten schrieb: „TVM mit Flüssigkeitsstützung werden manchmal einfach als Patentlösung betrachtet, auch wenn deren Einsatz eigentlich nicht wirklich notwendig ist. Manchmal wird einfach aus



According to a survey, more than 58 % of respondents said that a preference for EPB or Slurry depended on certain conditions. The main conditions listed were water pressure, soil particle size, and perception of risk

ground TBM selection, Robbins opted to conduct a survey to gather industry opinions. Conducted in June 2011, the survey resulted in responses from 88 people in the design, consulting, contracting, and project ownership segments of the industry. Participants were asked the following question:

Do you think there is a preference in the industry for EPB or Slurry TBMs on soft ground tunneling projects?
a) EPB
b) Slurry
c) It depends on certain conditions (please specify)

As can be seen in the pie chart, more than 58 % selected 'It depends' (choice c). Of those that definitively chose a machine type, 33 respondents chose EPB, compared with 4 for Slurry TBMs. A wide variety of opinions were given for selecting choice c, but some commonalities included: water pressure, soil particle size, and perception of risk by the consultant and contractor.

Several respondents listed ground condition as the main deciding factor: "Ground type always determines the appropriate TBM as well as cost factors," said one respondent. Another

Maschinen Stahlbau
MSD Dresden
Niederlassung der Herrenknecht AG
www.msd-dresden.de | info@msd-dresden.de
Rolling Stock, Caracas, Venezuela
Rolling Stock, Palomino, Kolumbien

dem Bauch heraus entschieden und nicht allein die technischen Aspekte betrachtet. Mit TVM mit Flüssigkeitsstützung werden im Vergleich zu EPB einfach weniger Risiken verbunden – insbesondere in unmittelbarer Nähe von Wohngebieten". Ein anderer Befragter argumentierte in ähnlicher Weise: „Beratungsfirmen empfehlen bestimmte Systeme, auch dort, wo sie vielleicht nicht notwendig sind. Sie tun das, weil diese Systeme gerade gefragt sind, und man mit ihnen ein geringeres Risikopotenzial verbindet".

Um der ursprünglichen Fragestellung weiter nachzugehen, wurde den Umfrageteilnehmern eine weitere Frage gestellt: Wenn Sie vor der Wahl stehen würden, was wären für Sie die wichtigsten Kriterien bei der Entscheidung über den Einsatz einer flüssigkeitsgestützten oder einer EPB-Schildmaschine? (Dabei sollten die beiden Kriterien genannt werden, die hierbei am wichtigsten wären)

a) Die Bodenverhältnisse
b) Die Kosten
c) Der Raum, der auf der Baustelle zur Verfügung steht
d) Meine Erfahrung bei früheren Projekten
e) Sonstige Kriterien (die wiederum auszuführen waren)

Mit 87,5 % führte die überwiegende Mehrheit der Befragten die Bodenverhältnisse als das entscheidende Kriterium für die Auswahl einer flüssigkeits- oder erddruckgestützten TVM an. Als 2 weitere Hauptkriterien wurden die Kosten (46,3 %) und die Erfahrung bei früheren Projekten (39 %) angeführt. Einer der Befragten gab an: „Schon vor über 20 Jahren wurde hier in Japan dieser Frage erschöpfend nachgegangen. Es hängt von allen Kriterien ab, die hier zur Auswahl stehen. Heute können EPB bei praktisch allen Tunnelbauprojekten eingesetzt werden".

Erkenntnisse aus der Umfrage

Wie die Umfrageergebnisse zeigen, glauben die meisten Befragten, dass in der Branche den EPB-Schildmaschinen der Vorzug vor TVM mit Flüssigkeitsstützung gegeben wird, auch wenn die Auswahlkriterien für deren Einsatz sehr von verschiedenen Faktoren abhängen. Zu diesen Faktoren zählen die geologischen Verhältnisse, Kosten, persönliche Erfahrung sowie die Risikoabschätzung. Mehrere Befragte gaben an, dass der Einsatz von flüssigkeitsgestützten TVM in wechselgelagerten Böden mit geringeren Risiken verbunden ist, da der gesamte Abbauprozess automatisch abläuft. Dennoch legen die gemachten Angaben den Schluss nahe, dass die mit den beiden TVM-Typen verbundenen Risiken in Wirklichkeit vergleichbar sind. Auch wurde angegeben, dass EPB-Schildmaschinen in den vergangenen Jahren erheblich verbessert wurden, sodass sie heute unter den meisten Rahmenbedingungen effektiv eingesetzt werden können. Einer der Befragten schrieb: „Jedes Projekt ist anders, man braucht also maßgeschneiderte Lösungen".

Die richtige Wahl dürfte von der persönlichen Erfahrung abhängen

Der Einsatz einer flüssigkeits- oder erddruckgestützten TVM hängt von vielen Faktoren ab

was also concerned about the material produced during Slurry operation: "It is a given that conditions will dictate TBM design, but it is always easier to work after the fact with EPB material rather than Slurry material."

Perception of risk was another interesting factor that came out of the comments section: One respondent wrote, "Slurry is sometimes used as a one-size-fits-all solution where possibly it is not really needed. It can sometimes be an emotional choice rather than a 100 % technical decision - there is less perceived risk with Slurry compared to EPB, especially in settlement-sensitive locations." Another gave a similar response: "Consultants are promoting certain systems where they may not be necessary, but because they are in fashion and are perceived to lower risk."

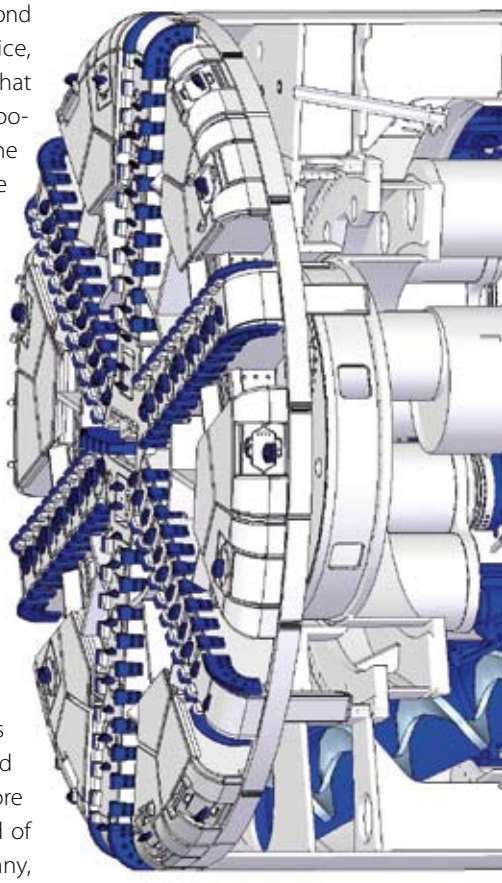
To further refine these points, participants were asked a second question: If given the choice, what are the main factors that impact your decision in choosing a Slurry or EPB TBM? The top two factors should be selected.

a) Ground Conditions
b) Cost
c) Available Jobsite Space
d) Experience on Previous Jobs
e) Other (please specify)

The vast majority, 87.8 % of respondents, listed ground conditions as the deciding factor in using a Slurry or EPB TBM. The two choices following ground conditions were cost (46.3 %) and Experience on Previous Jobs (39 %). One person specified the following: "In Japan, more than 20 years ago this kind of question was discussed many, many times. It depends on all the factors mentioned above, but now, EPBs can solve almost all tunnel conditions."

Survey Conclusions

Based on the survey results, more people believe there is a preference for EPB over Slurry machines in the industry, though the choice between the two weighs heavily on varying conditions. These variables include geology, cost, experience, and perception of risk. Several respondents noted that the perception of risk is lower for Slurry machines in variable ground, because the entire system is automated. However, the comments seemed to imply that the risks are in fact equal between the machine types. EPBs were also mentioned as being vastly improved in recent years and able to excavate effectively in most conditions. As



– bei Druckverhältnissen über 6 bar ist eine TVM mit Flüssigkeitsstützung die beste Option, während in bindigen Böden eine EPB-Schildmaschine die richtige Wahl ist.

In den Fällen, in denen beide Maschinen eingesetzt werden können, dürfte die Wahl von der Erfahrung des Bauunternehmens abhängen.

EPB-Schildmaschinen können besser auf Hohlräume reagieren, die an der Ortsbrust auftreten, da die Mischkammer am Bohrkopf mit unverdichtbarem Material gefüllt ist. Generell werden sie bei einer Vielzahl von Bodenverhältnissen als die anpassungsfähigeren Maschinen angesehen. Daneben sind ihre Anschaffungskosten oft geringer als bei den flüssigkeitsgestützten TVM, was insbesondere für Bauunternehmen von Interesse ist, die nicht über die für die Maschine notwendige Ausrüstung bzw. Ausstattung verfügen, beispielsweise eine Separieranlage.

Shinichi Konda führt aus, dass der Abbau mit flüssigkeitsgestützten TVM zwar automatisch erfolgt, dass aber ihre Leistungsfähigkeit von der Erfahrung des bauausführenden Unternehmens abhängt: „Wenn eine TVM mit Flüssigkeitsstützung eingesetzt wird, muss der Bauunternehmer wissen, wie sowohl die Maschine als auch das Material in der Mischkammer auf die vorherrschenden Bodenverhältnisse reagieren. Der Durchsatz sowie die Dichte des Dickstoffes im System können problemlos gemessen werden, die eigentlichen Parameter des Systems müssen aber schon vorher manuell festgelegt werden. Dazu braucht man Erfahrungswerte".

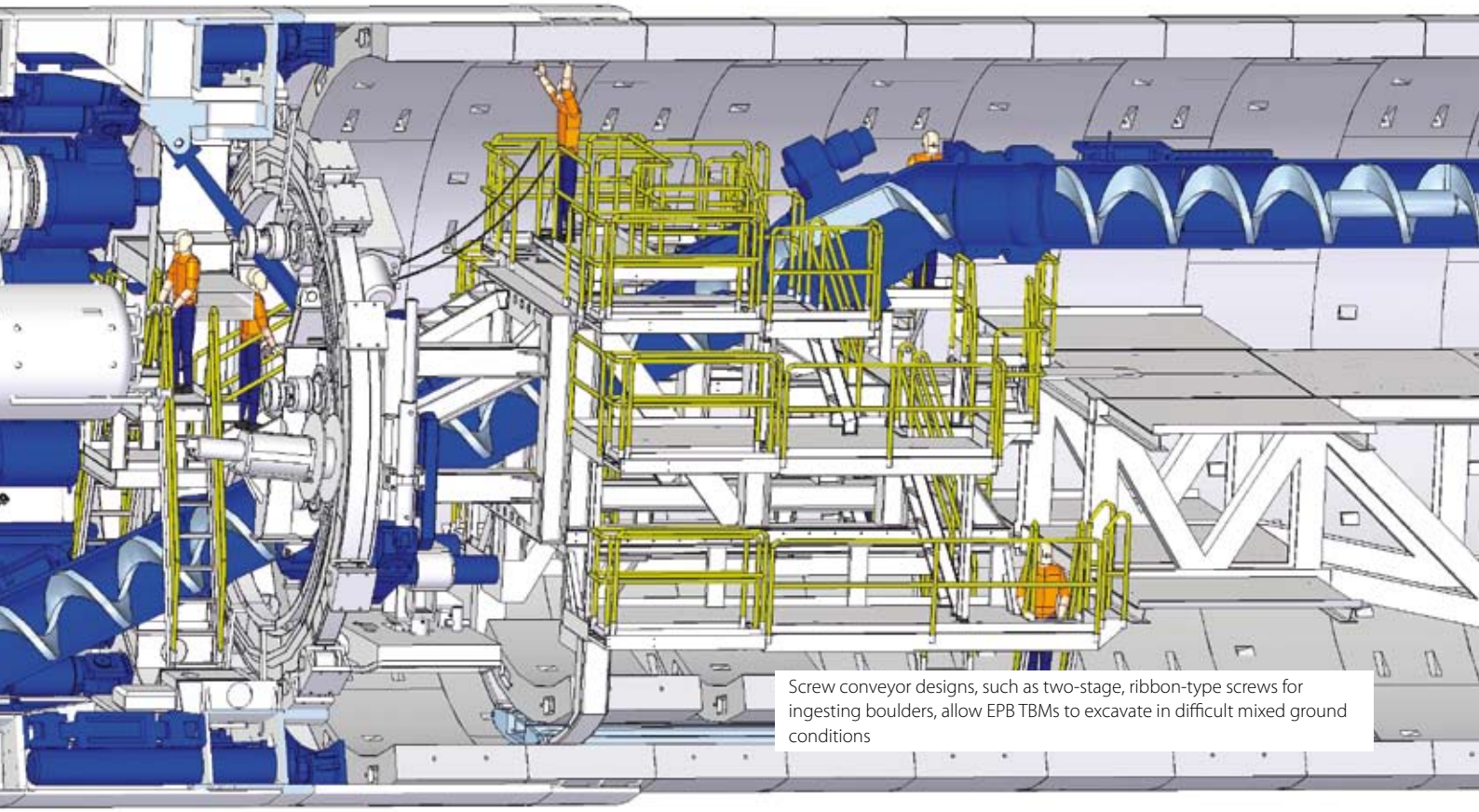
one respondent put it, "All cases are different, and deserve tailor-made solutions."

The Right Choice may be based on Experience

Using an EPB or Slurry TBM is based on many variables - at high pressures above 6 bar a slurry machine is best used, while in cohesive materials an EPB is the clear choice. In conditions where either machine can be used, however, the best choice may depend on contractor experience.

EPBs are better at handling voids that occur at the tunnel face, because the cutterhead mixing chamber is filled with non-compressible material. In general, they are seen as being more adaptable in a variety of ground conditions. EPBs often have a lower initial cost than Slurry machines as well, particularly for contractors who do not own all of the equipment needed for Slurry TBMs, such as a separation plant.

Konda emphasized that although Slurry systems are automated, their efficacy is based on the contractor's prior knowledge: "If a Slurry TBM is used, the contractor must be familiar with how the machine and the slurry itself react to a given geology. The flow and density of muck in the system can be easily measured, but the proper parameters for the system must be predetermined manually. This knowledge only comes with prior experience."



Screw conveyor designs, such as two-stage, ribbon-type screws for ingesting boulders, allow EPB TBMs to excavate in difficult mixed ground conditions