

Tunnelbau in Malaysia

Tunnelkonstruktion und unterirdisches Bauen haben in Malaysia in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine sehr erfolgreiche Entwicklung durchlaufen. Den Ausgangspunkt bildete das ausgefeilte SMART-Projekt in Kuala Lumpur, das vor 15 Jahren realisiert wurde. In jüngerer Vergangenheit erlangte das Klang-Valley-MRT-Projekt mit dem Einsatz der neuen Variable-Density-Tunnelvortriebsmaschinen Aufmerksamkeit in der Fachwelt und wurde mit internationalen Preisen ausgezeichnet. Malaysia hat im Tunnelbau augenscheinlich einen großen Entwicklungsschritt getan. Dementsprechend hat die Tunnelling and Underground Space Technical Division der Institution of Engineers Malaysia (IEM) ihre Bewerbung für die Ausrichtung des World Tunnel Congress 2020 abgegeben

Tunnelling in Malaysia

Tunnelling and underground space solutions in Malaysia have undergone a very successful development in the last two decades, starting with the elaborate design of the well-known SMART project in Kuala Lumpur 15 years ago. Recently the innovative Variable Density tunnel boring machine for the MRT Klang Valley project won international awards and respect from tunnelling professionals all over the world. Malaysia has come of age, as it seems, in technical innovation for tunnelling solutions, and consequently the Tunnelling & Underground Space Technical Division of the Institution of Engineers Malaysia (IEM) now has submitted its bid for Kuala Lumpur to host the ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC) 2020

Dipl.-Ing. Roland Herr, International Freelancing Journalist and Author, Wetzlar (Germany) and Bangkok (Thailand),
herrroland@t-online.de

Einen bedeutsamen Wendepunkt für die Entwicklung des Tunnelbaus in Malaysia markiert das Jahr 2003, als es zur vordringlichen Aufgabe wurde, sich der Überflutungsproblematik in der Hauptstadt Kuala Lumpur anzunehmen. Die flächendeckend dichte Bebauung der Metropole machte es notwendig, die Überschwemmungen durch den Bau entsprechender unterirdischer Strukturen in den Griff zu bekommen. Eine zusätzliche Herausforderung in geologischer Hinsicht bildete dabei die außerordentliche starke Verkarstung des Baugrunds.

Dank praktischer Erfahrung und technologischen Weiterentwicklungen gelang es, mit dem SMART (Stormwater Management and Road Tunnel) die Funktionen eines Straßenverkehrstunnels und einer Regenwasserkanalisation zu kombinieren und so neues Terrain im Tunnelbau zu erschließen. Mit einer Ausdehnung von 9,7 km ist SMART einer der längsten Tunnel zur Regenwasserab- leitung in Südostasien. Der Tunnel mit einem Durchmesser von 13,2 m wurde mit einer Slurry-TVM aufgeföhren. Die zahlreichen Problemstellungen des Projekts, die hauptsächlich ihre Ursachen im zu durchörternden verkarsteten Kalkstein hatten, wurden durch solide technische Planung und Umsetzung gelöst.

Beispiellose Herausforderungen für den Tunnelbau

Im Normalfall kann die Slurry-TVM auch bei unvorhergesehenen Hohlräumen den Vortrieb aufrechterhalten, sofern diese Hohlräume durch eingeschwemmtes Bodenmaterial angefüllt sind,



1 Durchschlag der SMART-TBM im Jahr 2006
Breakthrough of SMART TBM in 2006

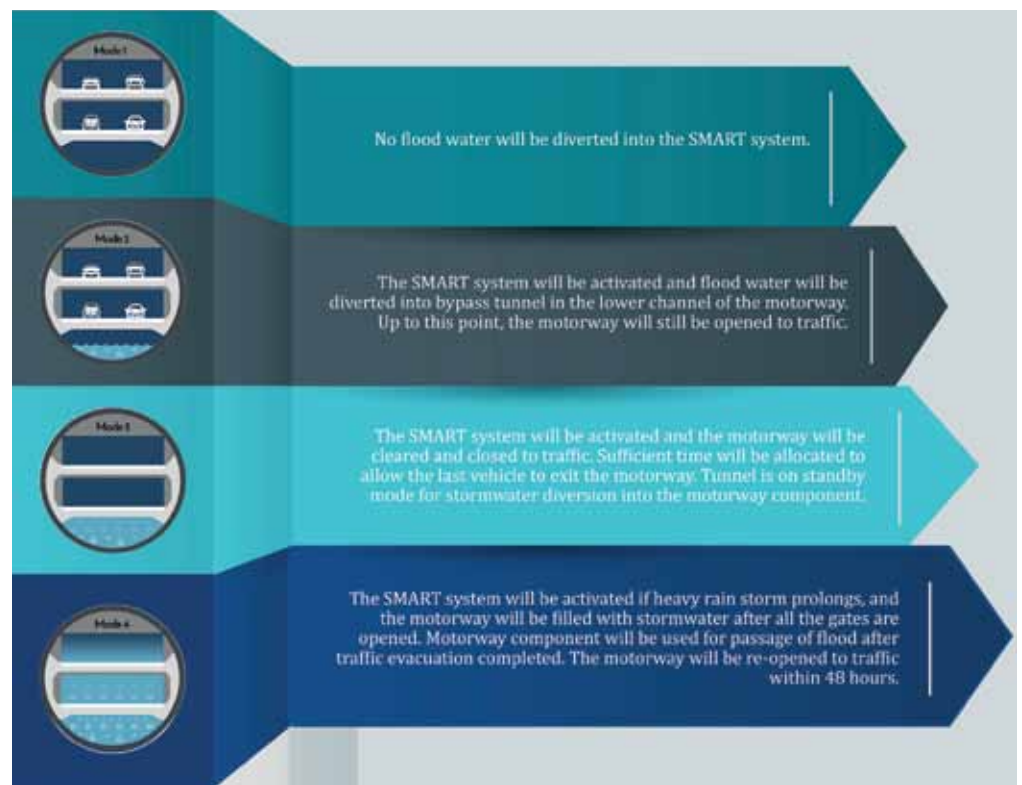
sodass keine kritischen Mengen an Stützflüssigkeit im verkarsteten Baugrund verloren gehen. Die Ortsbruststützung beim SMART-Projekt mit einer Bentonitsuspension geringer Dichte funktionierte bei der Durchörterung von Klüften geringen Ausmaßes und gefüllten Karsthohlräumen, aber es gab auch immer wieder Zwischenfälle mit Einsturztrichtern und Ausbläsern, für deren Beherrschung eine weiterentwickelte Slurry-Technologie vonnöten schien. Wenn eine TVM auf einen nur teilweise verfüllten Karsthohlraum, Gesteinsklüfte größeren Ausmaßes oder einen Überdeckungsbereich mit Einschlüssen aus sehr lockerem Gestein trifft, kann die Bentonitsuspension geringer Dichte ($1,1 \text{ t/m}^3$) und entsprechend niedriger Viskosität in die Karsthohlräume oder durch die Spalten bis an die Oberfläche entweichen und so einen Ausbläser verursachen. Der daraufhin eintretende umgehende Stützdruckverlust an der Ortsbrust kann in der Folge einen Erdfall auslösen.

Die fortwährende Auseinandersetzung mit diesen schwierigen Bodenbedingungen führte letztendlich zur Entwicklung der Variable-Density-TBM (VD-TBM). Der deutsche Hersteller Herrenknecht AG setzte das Konzept gemeinsam mit MMC-Gamuda im Rahmen des Bauprojekts Klang Valley MRT Linie 1 (Sungai Buloh–Kajang Line) für einen 9,5 km langen Abschnitt eines zweiröhrigen Tunnels mitsamt sieben unterirdischen Stationen in die Tat um.

Unter Nutzung der gesammelten Erfahrungen des SMART-Projekts bohren seit 2012 insgesamt acht TVM – zwei Erddruckmaschinen von CRTE (China Railway Tunnelling Equipment Co Ltd), ein Herrenknecht Erddruckschild und fünf Herrenknecht VD-TBM – erfolgreich die zweiröhrigen Klang-Valley-MRT-Haupttunnel.

Die Strecke verläuft unter einem der belebtesten und am dichtesten bebauten Stadtteile Kuala Lumpurs. 5,45 km davon durchörttern die Kenny Hill Formation mit ihren Sedimentschichten (drei EPB-Maschinen), und 3,23 km führen durch den stark verkarsteten Kuala Lumpur Limestone. Hier kamen die fünf VD-Slurry-Maschinen zum Einsatz, die speziell für diese anspruchsvolle Karst-Geologie entwickelt worden sind.

Die VD-TBM kann sich veränderlichen Baugrundeigenschaften besser anpassen als Erddruck- oder Slurry-TBM. Sie ist so konstruiert, dass sich die Dichte des Stützmediums während des Vortriebs



Quelle/credit (2): MMC-Gamuda

- 2 In den vergangenen 20 Jahren hat Malaysia sich bedeutende Fachkenntnisse im Tunnelbau angeeignet; die Grafik zeigt die Funktionsweise des SMART-Projekts in Kuala Lumpur

Malaysia gained great tunnelling expertise in the last 20 years; the image shows the idea of SMART design in Kuala Lumpur and how it operates

In Malaysia, tunnelling took on an important change in 2003 when there was an acute need to address major flooding issues in the city of Kuala Lumpur. With the city densely built up to the brims, the flood mitigation infrastructure had to be taken underground via tunnelling, and the geology in which the tunnel snakes through the city is made up of extreme karst. Building on the experience gained and technological improvements in the industry, the SMART (Stormwater Management and Road Tunnel) broke new ground not only in the country but worldwide by combining the functions of stormwater drainage and motorway tunnel. With 9.7 km length the SMART is one of the longest stormwater tunnels in South East Asia. The large 13.2 m diameter tunnel was constructed using a slurry shield TBM. Its construction posed a number of challenges, primarily related to the karstic limestone formation through which the tunnel had to be driven. These challenges were met and overcome by good engineering in design and construction.

Malaysia's unprecedented Tunnelling Challenges

The slurry TBM can normally deal with unexpected cavities if these cavities are filled by washed in soil, which prevents large quantities of slurry loss to the karst system.

On the SMART project, while the low density bentonite slurry based face support did work while traversing minor fissures and filled cavities encountered in the karst, there were incidences of surprise sinkholes and blowouts, and there had to be a much more

variieren lässt, wobei verschiedene Betriebsmodi zudem Spielraum bei der Regulierung der Ortsbruststützung und Flexibilität beim Abtransport des Abraums ermöglichen.

Darüber hinaus können VD-Tunnelbohrmaschinen auch im EPB-Modus gefahren werden:

Eine VD-TBM wurde für den EPB-Vortrieb umgerüstet, weil die Vortriebstrecke durch wechselhaften Baugrund und die Kenny Hill Formation führte. Die Umrüstung im Tunnel erwies sich als kosteneffizient und konnte in weniger als einer Woche durchgeführt werden. Im Vergleich zum SMART-Projekt im gleichen verkarsteten Kalkstein konnte die Anwendung der Variable-Density-Technologie das Auftreten von Erdfällen um 95 % reduzieren. Der erste Abschnitt der MRT-Linie 1 wurde Ende 2016 in Betrieb genommen, der zweite Abschnitt soll im Juli 2017 betriebsbereit sein. Die MRT-Linie 2 (Sungai Buloh–Serdang Putrajaya Line) mit einer voraussichtlichen Länge von 52,2 km befindet sich derzeit in der Phase der Detailplanung für die Hochbahnabschnitte. Die Bauphase der Linie 2 wurde Anfang 2017 eingeleitet; mit dem Bau der 13,5 km langen unterirdischen Streckenführung wurden wiederum MMC-Gamuda beauftragt.

Nach kompletter Fertigstellung wird das Klang-Valley-MRT-System mit einer Gesamtlänge von 156 km einen Einzugsbereich von 20 km rund um das Zentrum abdecken. Die Schnellbahn wird dann aus zwei Hauptlinien und einer Ringstrecke bestehen.

Malaysia setzt auf maschinellen Vortrieb

In den vergangenen Jahren haben sich beim Tunnelbau in Malaysia weitestgehend zwei Maschinentypen etabliert. Abhängig von den benötigten Technologien zur Ortsbruststützung kommen entweder Slurry- oder Erddruck-Vortriebsmaschinen zum Einsatz. Die Slurry-Maschine stützt den Ortsbrustbereich beim

sophisticated slurry machine to deal with this problem. When the TBM hits an only partly filled karst cavity, large fissures in the rock or a very loose overburden soil pocket, there is a tendency for the low density (1.1 t/m³) and therefore low viscosity bentonite slurry to escape into the karst channels or to the surface through the connecting fissures and there would occur a blowout. The resulting instant loss of face support pressure would then cause sinkhole formation. The necessity to continue dealing with the difficult ground conditions eventually resulted in the design of the Variable Density (VD) TBM by Herrenknecht AG from Germany and MMC-Gamuda, for the 9.5 km stretch of a twin-tunnel with seven underground stations for the 51 km long Klang Valley MRT Line 1 (Sungai Buloh-Kajang Line). After learning the lessons from the tunnelling construction of the SMART project, a total of eight TBMs – two CRTE (China Railway Tunnelling Equipment Co Ltd) EPB machines, one Herrenknecht EPB machine and five Herrenknecht VD slurry machines – have been excavating the twin-tube running tunnels since 2012 successfully. The alignment under one of the busiest and most built-up urban areas in Kuala Lumpur is divided into 5.45 km in the Kenny Hill Formation with sedimentary deposits (three EPB machines) and 3.32 km through the extreme karstic conditions of the Kuala Lumpur Limestone (five VD slurry machines). The VD machines are specially modified slurry shields built to deal with the highly weathered Kuala Lumpur Limestone geology, which is highly karstic.

The VD TBM achieves control by adapting to varying ground conditions better than a typical EPB or slurry TBM. It is built with the capability to vary the support medium density coupled with multiple operation modes offering options for face support control and muck removal flexibility. Also the VD TBMs can be converted to the EPB mode: a VD TBM was converted into a EPB machine to replace one of the planned EPB machines, because excavation headed through



3 Klang Valley MRT Linie 1: Montage einer VD-TBM im Startschacht Cochrane
Klang Valley MRT Line 1: Assembly of the VD TBM at the Cochrane launch shaft



4 Klang Valley MRT Linie 1: Bauarbeiten in der Nähe des Pudu-Schachts
Klang Valley MRT line 1: Execution of works in the tunnel close to Pudu shaft

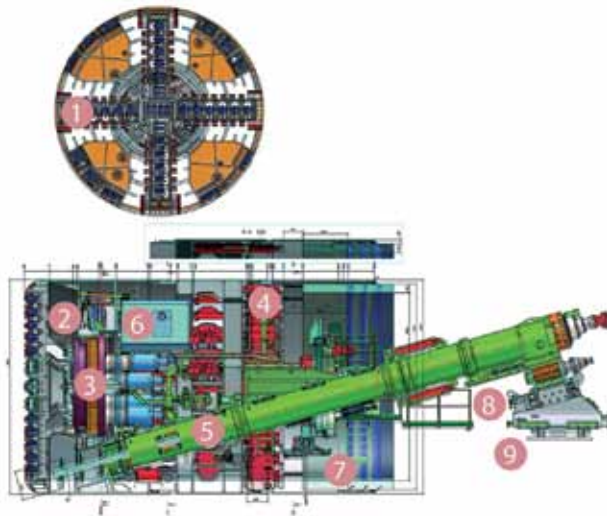
Tunnelling Logistics

Services

Equipment

rowa

Schneller, sicherer und wirtschaftlicher bauen



5 Schematischer Aufbau einer VD-TBM
Components of the VD TBM

No	VD TBM Components
1	Cutting Wheel
2	Excavation Chamber
3	Main Drive
4	Thrust Cylinders
5	Screw Conveyor
6	Man Lock
7	Erector
8	Sizer
9	Slurrifier Box

Abbauvorgang durch eine Suspension, z. B. aus Wasser und Bentonit. Im Gegensatz zu dieser Flüssigkeitsstützung wird bei der EPB-Vortriebsmethode, die in weichen Böden am effektivsten ist, ein Erdbrei aus dem vorhandenen Ausbruch zur Ortsbruststützung verwendet.

Variable Density TBM-Technologie

Die VD-Technologie mit ihrer Vereinigung von Flüssigkeits- und Erddruckstützung ist ein großer Entwicklungsschritt. Die TBM kann auch im reinen Slurry- oder EPB-Modus arbeiten. Die Umrüstungsarbeiten dazu benötigen weniger als eine Woche. Im Slurry-Modus kann die Dichte des Stützmaterials durch Addition von Feststoffen auf bis zu $1,6 \text{ t/m}^3$ gesteigert werden.

Die VD-TBM kombiniert die Vorteile beider Verfahren in einer Maschine. Ohne größere mechanische Modifikationen kann direkt im Tunnel zwischen vier verschiedenen Vortriebsmodi umgeschaltet werden. Dadurch kann im Verlauf der Trasse extrem flexibel auf geologische und hydrogeologische Veränderungen reagiert werden.

Sowohl im erddruck- als auch im flüssigkeitsgestützten Modus wird der Abraum über einen Schneckenförderer aus der unter Druck stehenden Abbaukammer entnommen. Die Regelung des Stützdrucks erfolgt je nach Modus über Schneckendrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit oder über ein automatisch geregeltes Luftpolster. Kommunizierende Röhren ersetzen die fehlende Tauchwandöffnung. Im EPB-Modus wird der Abraum von der Schnecke auf ein Förderband abgeworfen. Im Flüssigkeitsmodus wird die TBM dank einer zusätzlichen Slurrifier-Box am Ende der Schnecke mit hydraulischem Förderkreislauf gefahren. Bei Letzterem kann entweder eine normale Bentonitsuspension oder alternativ eine Suspension mit hoher Dichte genutzt werden.

Durch geringe Suspensionszugabe in die Abbaukammer behält das Materialgemisch seine hohe Viskosität und seinen hohen Dichtegrad; dadurch wird das Risiko eines Flüssigkeitsverlusts durch Abfluss in Karsthohlräume oder auf Grund von Ausbläsern

a mixed face and the Kenny Hill Formation. The conversion achieved within the tunnel heading was very cost-effective and was done in less than a week. Compared with the SMART project in the same karstic limestone, a 95 % reduction of sink-hole incidents was attained by using the Variable Density technology. Operation of the first section of the MRT Line 1 started at the end of 2016, and the second section will be operational in July 2017. MRT Line 2 (Sungai Buloh–Serdang Putrajaya Line) with a planned length of 52.2 km is currently in the detailed design stage for the elevated sections. Construction work

of Line 2 started in early 2017, and the 13.5 km long underground section was awarded to MMC-Gamuda.

Once completed, the new triple line MRT system with a length of 156 km altogether will cover a radius of 20 km around the city centre. It will consist of two main lines and one orbital line.

Tunnel Boring Machines are the Way to go

In Malaysia, there are two commonly used types of TBM in recent years, depending on the means used to support the excavated face, the slurry shield machine and the earth pressure balance (EPB) machine. The slurry shield machine supports the unstable ground at the front of the machine with a liquid mixture, e.g. of bentonite and water. On the other hand, the EPB machine, which is most useful in soft soils, uses the excavated ground as a part of the face support.

Variable Density TBM Design

The Variable Density TBM is an incremental modification of the machine and with that a major innovation. It merges the slurry and EPB technologies. The machine can operate either in pure slurry mode or in EPB mode with short conversion time of less than a week. In slurry mode the density can be increased up to 1.6 t/m^3 by adding solids to the mix.

The VD TBM applies innovative technology by combining the advantages of both methods in one machine. Without mechanical modifications the machine can switch between four different tunnelling modes directly inside the tunnel. This means that geological and hydro-geological changes along the alignment can be managed flexibly. The excavated material is removed from the pressurised excavation chamber through a screw conveyor both in the earth pressure and in the slurry mode. Depending on the mode used, the support pressure is controlled via the screw conveyor speed and advance rate or using slurry that is automatically controlled by an air cushion. The submerged wall opening is replaced by communicating pipes. In EPB mode the screw conveyor drops the excavated material onto a belt conveyor. An additional slurrifier box

A broken crusher is not only a flaw



Our Metal Detectors save expensive repairs



No Detection of iron oxides

**ELEKTROANLAGENBAU
REINHAUSEN GMBH
KETZHAGEN 8
37130 KLEIN LENGDEN
TEL. +49 (0)55 08 / 86 66
FAX +49 (0)55 08 / 15 70
www.eabreinhausen.de
sales@eabreinhausen.de**



Quelle/Credit (2): MMC-Gamuda


6 Der finale Durchschlag im April 2015, mit dem die Vortriebsarbeiten für die Sungai Buloh–Kajang Line abgeschlossen wurden

Final breakthrough marking the completion of tunnelling for the Sungai Buloh–Kajang Line in April 2015

verringert. Im flüssigkeitsgestützten Modus wird das Material mit der erhöhten Dichte über die Förderschnecke und die Slurryfier-Box in den Spülkreislauf transportiert, um von dort zur Wiederaufbereitungsanlage an der Oberfläche gepumpt zu werden. Dies erweitert den Einsatzbereich der VD-TBM zusätzlich und macht die Maschine zur universellen Vortriebstechnik für Lockergestein aller Art.

Der Einsatz des VD-Vortriebs hat zuvor unerreichbare Ziele in den Bereich des Machbaren gerückt und kommt für Malaysia einer Neuerung gleich. Die Tunnelbauexperten des Landes haben ihren fachlichen Horizont gezielt erweitern können und eine Entwicklung mitgetragen und vorangetrieben, die für die Innovationkraft im Tunnelbau einen weiteren Schritt nach vorn bedeutet.

MMC-Gamuda

Die Arbeitsgemeinschaft MMC-Gamuda gilt als führend im Tunnelbau Malaysias. Die heimischen Unternehmen setzen auf weiteres Wachstum mit ausgebildeten Fachkräften, um ihre starke Position im Tunnelbausektor zu festigen und weiter auszubauen. 

at the end of the screw conveyor makes it possible to drive the TBM with a hydraulic slurry circuit in slurry mode. In the latter case, either a normal bentonite suspension or a high-density suspension can be used. By introducing a small amount of slurry into the excavation chamber, the consistency of the material maintains high viscosity and high density levels, reducing the risk of slurry loss into karst crevices or due to blow outs to the surface. In slurry mode, the higher density material is extracted from the chamber by the screw conveyor and discharged into the slurryfier box where it is mixed into the circulation slurry for pumping out to the treatment plant on the surface. This makes the range of application of the VD-TBM even larger and makes the machine the all-rounder for loose soils of all kinds.

With the VD TBM technology tunnelling has been reinvented in Malaysia with all conservative rules broken and achieving what was considered the impossible. Malaysian tunnelling experts have come of age and are highly regarded for having honed the right skills and gaining the expertise to take tunnelling to a next level in innovation technology.

MMC-Gamuda

Home-grown construction outfit MMC-Gamuda credits itself as Malaysia's foremost tunneller and is continuing to build on its strength by expanding on human capital needs in the niche tunnel engineering. 