

Green Line Katar: Konventionelle Tunnelvortriebe

Planung und Ausführung auf der Grundlage der AJRM-Methode

In Doha, Katar, wird ein umfangreiches U-Bahn-Netz gebaut. Bestandteil dieses Netzes ist auch die Green Line. Im Zuge des Baus der Green Line wurden Straßenunterführungen errichtet. Ursprünglich sollten diese Unterführungen in offener Bauweise hergestellt werden. Auf Vorschlag der ausführenden Firmen kam jedoch die bergmännische Bauweise zur Anwendung. Planung und Bau erfolgten auf der Grundlage der AJRM-Methode.

Green Line Qatar: Conventional Tunnel Headings

Design and Construction on the Basis of the AJRM Method

An extensive subway network is being built in Doha, Qatar. Part of this network is the so-called Green Line, for which also a number of underground street crossings had to be constructed. Originally, it was planned to carry out construction of these underpasses by means of the cut and cover method. Following a proposal of the contractors, three underpasses were, however, constructed by the mining method. Design and construction were executed on the basis of the AJRM-Method.

Dipl.-Ing. Hans Wenkenbach, Mitglied des Vorstands/COO, Porr AG, Wien/Vienna, Österreich/Austria;
Prof. Dr.-Ing. Walter Wittke, Dr.-Ing. Martin Wittke, Dr.-Ing. Bettina Wittke-Schmitt, Geschäftsführer/Managing Directors, WBI GmbH,
 Weinheim, Deutschland/Germany;
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Küpper, Handlungsbevollmächtigter/Authorized Engineer, WBI GmbH, Weinheim, Deutschland/Germany

1 Einleitung

Die Green Line wurde von einem Konsortium der Firmen Porr, Saudi BinLadin Group und HBK gebaut [1, 2]. Sie verläuft vom Start-Schacht am Al Rayyan Stadion im Westen bis zur Station Msheireb im Osten (**Bild 1**, [3]). Die Tunnelstrecke beträgt insgesamt 2 x 18,5 km. Hiervon wurden 2 x 16,7 km mit Tunnelvortriebsmaschinen aufgeföhren [1, 3].

Teil des Projekts ist auch der Bau der Stationen Al Messila und Hamad Hospital. Um zu gewährleisten, dass diese Stationen aus dem gesamten Umfeld erreichbar sind, wurden Unterführungen unter der achtspurigen Al Rayyan Road gebaut. Beide Unterführungen sollten ursprünglich in offener Bauweise errichtet werden. Aufgrund der zahlreichen Sparten und da der Verkehr auf der stark befahrenen Al Rayyan Road aufrechterhalten werden musste, wurde auf der Grundlage einer von WBI erstellten Machbarkeitsuntersuchung jedoch entschieden, die Unterführungen trotz der sehr geringen Überlagerung von nur wenigen Metern in bergmännischer Bauweise herzustellen [2].

Vor dem Hintergrund der guten Erfahrungen, die mit der Planung und dem Bau der o.g. Unterführungen in bergmännischer

1 Introduction

The Green Line was built by a joint venture consisting of the contractors Porr, Saudi BinLadin Group and HBK [1, 2]. It runs from the starting shaft at Al Rayyan stadium in the West to the station Msheireb in the East (**Fig. 1**, [3]). The sections running in tunnels have a total length of 2 x 18.5 km, of which 2 x 16.7 km have been driven with tunnel boring machines [1, 3].

The two stations Al Messila and Hamad Hospital form part of the project. In order to guarantee access to the stations from the complete periphery, underpasses have been built underneath Al Rayan Road, an 8-lane road of major importance. Originally it had been planned to build both underpasses according to the cut-and-cover method. Due to the numerous cables and pipes and since traffic on the busy Al Rayan Road had to be kept alive, it was decided on the basis of a feasibility study of WBI to construct the underpasses according to the mining method though the height of overburden amounts to only a few meters and thus is rather small [2].

In view of the good experiences with design and construction of above mentioned underpasses according to the mining method, the client Qatar Rail agreed to apply the mining method also to



1 Überblick Green Line, Metro Doha, Qatar [3]
Overview Green Line, Metro Doha, Qatar [3]

Bauweise gemacht wurden, hat Qatar Rail als Auftraggeber auch für die Ventilationstunnel für die Green Line und die Red Line bei der Msheireb Station zugestimmt, die ursprünglich vorgesehene offene Bauweise durch eine bergmännische Bauweise zu ersetzen. Die Planung erfolgte auch hier durch WBI im Auftrag des ausführenden Joint Ventures aus den Firmen Porr und Redco International. Im vorliegenden Artikel wird über die Planung und die Ausführung der Ventilationstunnel berichtet.

2 Bauwerk

Für die Ventilation der Tunnel der Red Line und der Green Line wird ein Betriebsgebäude im Bereich der Msheireb Station errichtet (Bilder 2 + 3). Die Verbindung von Betriebsgebäude und Verteilerstation wird über vier Ventilationstunnel, die die Al-Diwan Road unterqueren, sichergestellt. Diese Ventilationstunnel sind etwa 25 m lang und haben eine Überdeckung von etwa 5 m (Bild 4). Ursprünglich waren die Ventilationstunnel als nebeneinanderliegende Rechteckquerschnitte in offener Bauweise geplant (Bild 5 oben). Auf Wunsch der ausführenden Unternehmen wurde nach Untersuchung der Machbarkeit die Planung auf eine bergmännische Bauweise umgestellt. Dazu wurden die geplanten Rechteckquerschnitte durch flächengleiche, annähernd elliptische Querschnitte ersetzt, die sich an den Übergängen durchdringen (Bild 5).

Die Baugruben für das Betriebsgebäude und das Verteilerbauwerk waren vor Beginn der Vortriebsarbeiten fertiggestellt worden. Die Baugrube für das Betriebsgebäude war mit überschnittenen Bohrpfehlen gesichert, die oberhalb der Verbindungstunnel rückwärtig verankert waren. Die auf der gegenüberliegenden Seite liegende Baugrube für das Verteilerbauwerk war durch eine mit Vorspannankern rückverankerte Schlitzwand gesichert. Die Vorspannanker wurden durch außerhalb der geplanten Tunnelquerschnitte liegende SN-Anker ersetzt (Bilder 3 und 4).

Der Vortrieb der Ventilationstunnel erfolgte konventionell im Schutze von Rohrschirmen und ausgehend von der Baugrube für das Betriebsgebäude. Ein etwa 15 m langer Rohrschirm wurde von der Baugrube aus für das Verteilerbauwerk horizontal hergestellt. Der andere wurde von der Baugrube des Betriebsgebäudes aus

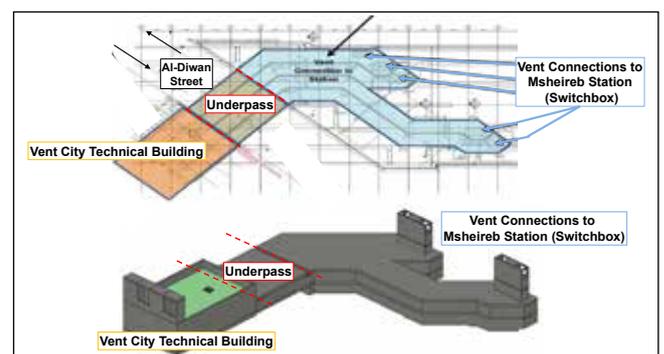
die Konstruktion der Ventilationstunnel für die Green und Red Line bei der Msheireb Station, anstatt der ursprünglich vorgesehenen Cut-and-Cover-Methode. Die Planung wurde hier durch WBI im Auftrag des Joint Venture Porr – Redco International erarbeitet. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die Planung und die Ausführung der Ventilationstunnel.

2 Structure

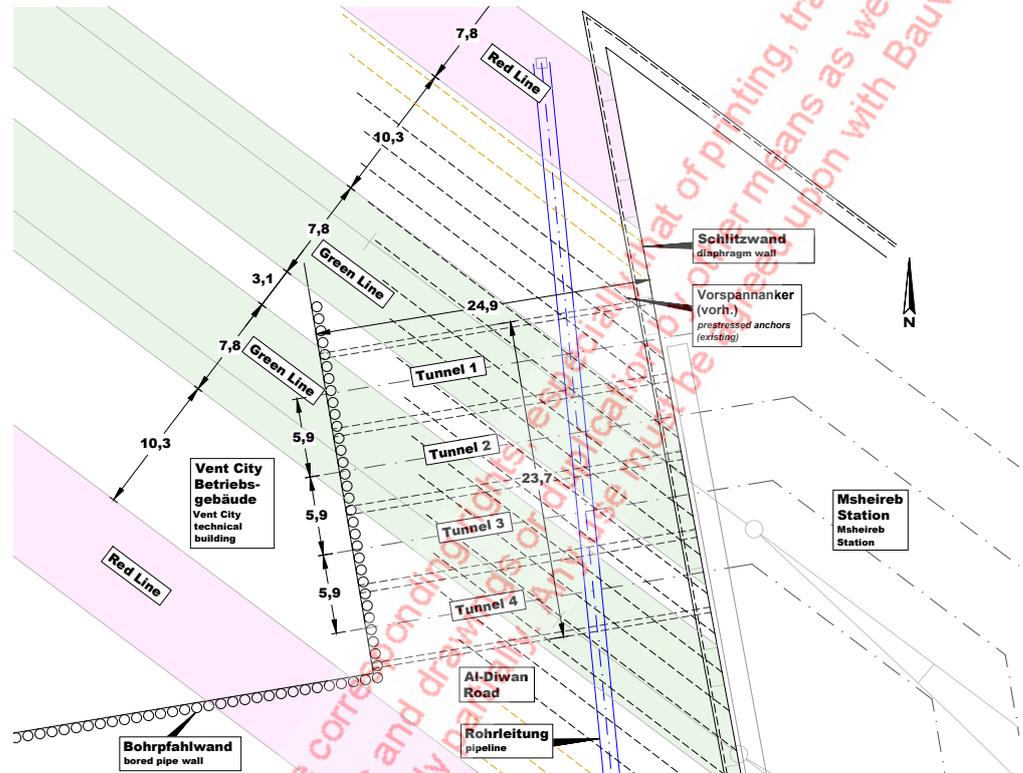
Für die Ventilation der Tunnel der Red und Green Line, ein technisches Gebäude im Bereich der Msheireb Station (Figs. 2 + 3). Die Verbindung zwischen technischem Gebäude und Schaltkasten wird durch vier Ventilationstunnel realisiert, die die Al-Diwan Road unterqueren. Die Ventilationstunnel sind etwa 25 m lang und haben nur ~5 m Überdeckung über dem Dach (Fig. 4).

Das ursprüngliche Design sah vier rechteckige Querschnitte, eines davon sollte nach der Cut-and-Cover-Methode (Fig. 5 oben) gebaut werden. Auf Wunsch des Joint Venture und auf Basis einer Machbarkeitsstudie wurde das Design so modifiziert, dass die Ventilationstunnel nach der Bergbauweise gebaut werden können. In diesem Zusammenhang wurden die rechteckigen Querschnitte durch nahezu elliptische Querschnitte mit derselben Querschnittsfläche, die sich an den Übergängen durchdringen (Fig. 5).

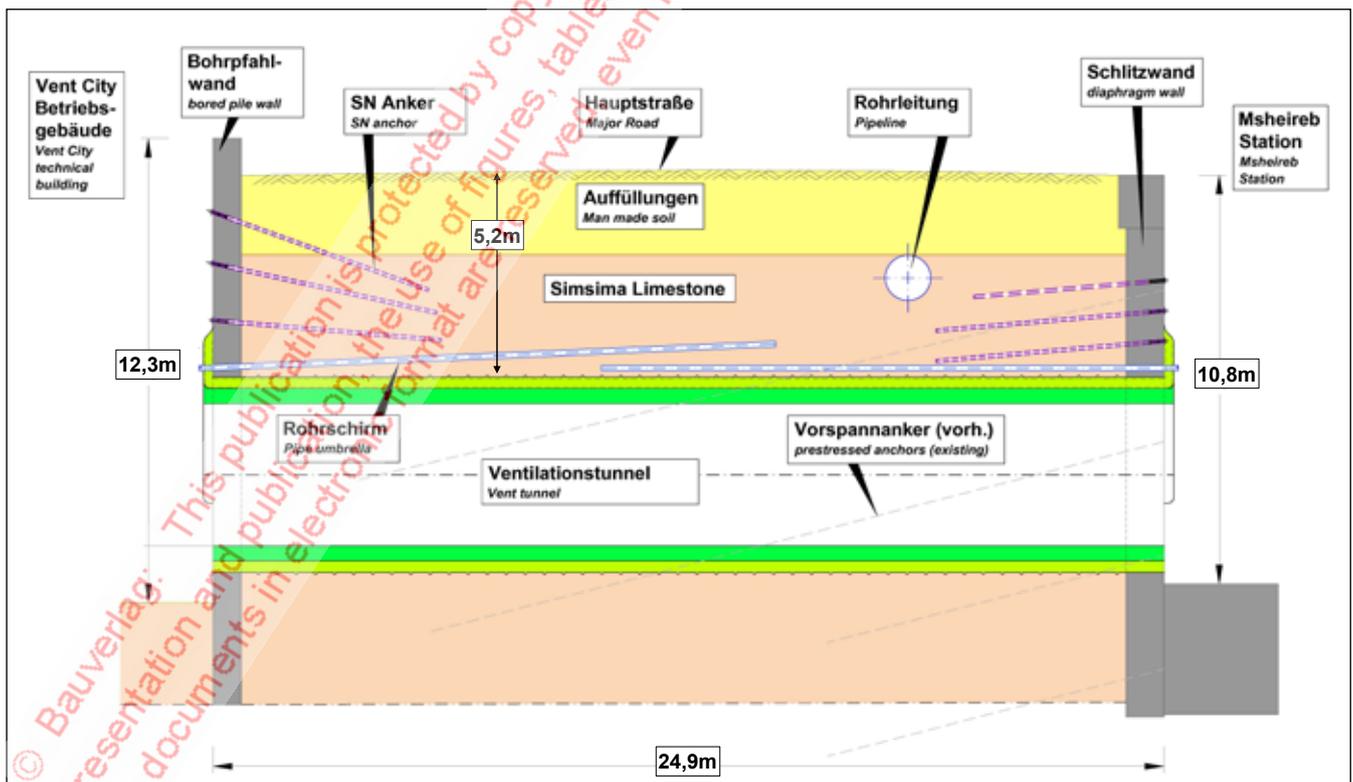
Die Baugruben für den Schaltkasten sowie für das technische Gebäude wurden vor dem Tunnelbau fertiggestellt.



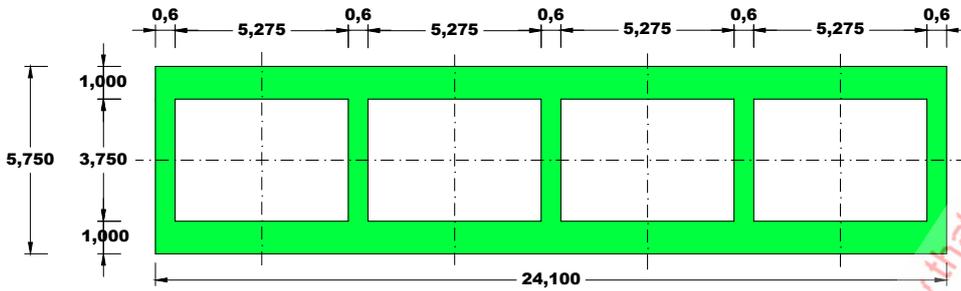
2 Schematischer Lageplan und Perspektive der Bauwerke
Schematic plan view and perspective of the structures



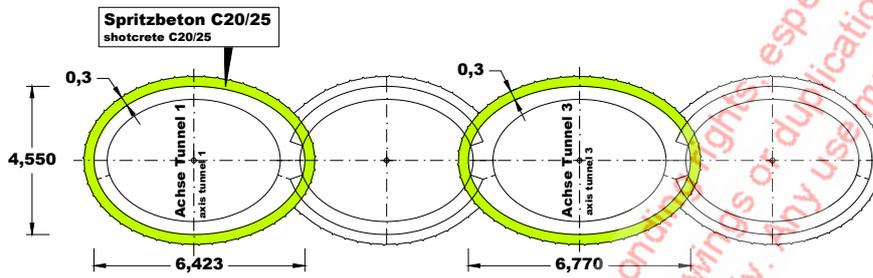
3 Lageplan
Plan View



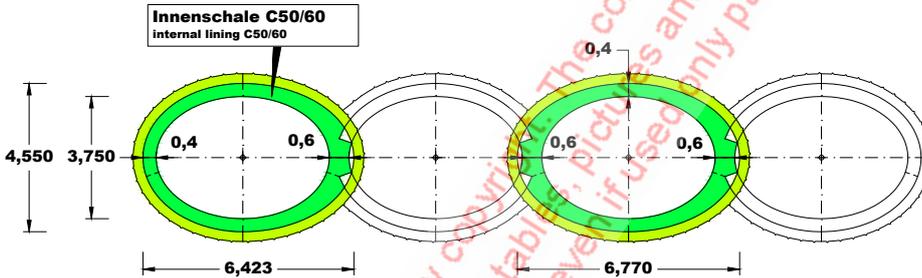
4 Längsschnitt
Longitudinal section



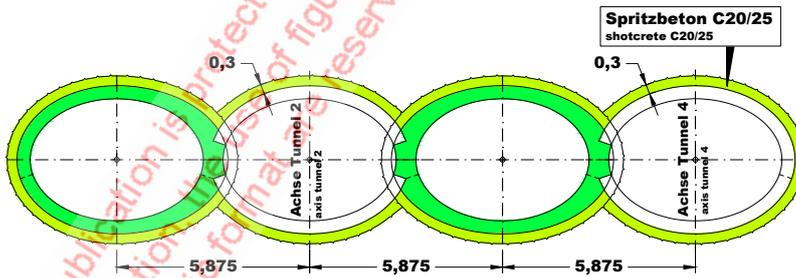
Ursprünglicher Entwurf
original design



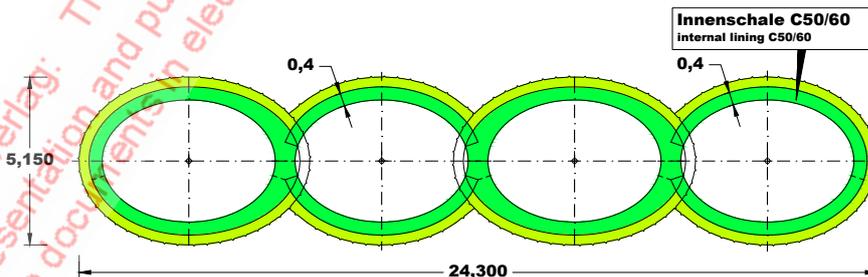
Bauzustand 1
construction stage 1



Bauzustand 2
construction stage 2



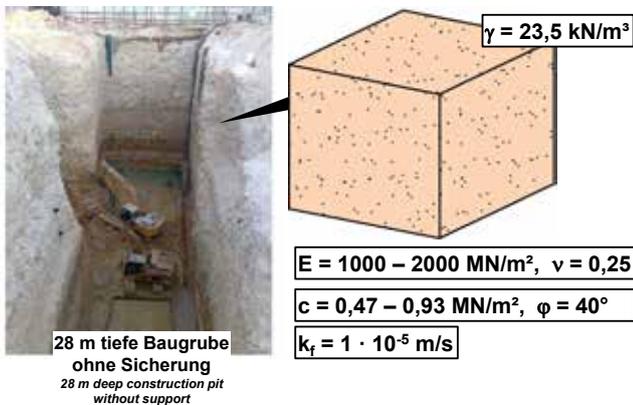
Bauzustand 3
construction stage 3



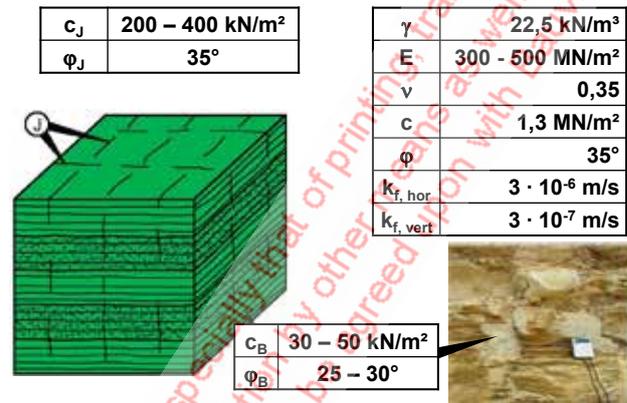
Bauzustand 4
construction stage 4

5 Ursprüngliche Planung und Bauzustände der neuen Planung, Querschnitte

Original design and construction stages of new design, cross-sections



6 Simsima Limestone, felsmechanisches Modell und Kennwerte
Simsima Limestone, rock mechanical model and parameters



7 Midra Shale, felsmechanisches Modell und Kennwerte
Midra Shale, rock mechanical model and parameters

unter $\sim 2,4^\circ$ Neigung hergestellt. Die Überlappung beider Rohrschirme in der Mitte des Tunnels beträgt 5 m (Bild 4). Zunächst wurden die Tunnel 1 und 3 aufgeföhren und mit einer 30 cm dicken, bewehrten Spritzbetonschale gesichert (Bild 5). In einem zweiten Arbeitsschritt wurden die Innenschalen aus Stahlbeton in diesen beiden Tunneln eingebaut. Im dritten Arbeitsschritt erfolgte der Vortrieb der Röhren 2 und 4. Dabei stützen sich die Spritzbetonschalen im Bereich des Gewölbes und der Sohle gegen die bereits hergestellten Spritzbetonschalen der Tunnel 1 und 3 ab. Im vierten Arbeitsschritt wurden die Innenschalen in den Tunneln 2 und 4 eingebaut. Für die Anbindung dieser Innenschalen an die bereits hergestellten Innenschalen der Nachbaröhren waren dort Aussparungen vorgesehen (Bilder 5 + 14).

3 Baugrund

Die hier behandelten Tunnelbauwerke kommen vollständig im sogenannten Simsima Limestone zu liegen. Oberhalb stehen gering mächtige Schichten aus Oberboden bzw. künstlichen Auffüllungen an. Unterhalb des Simsima Limestone liegen der Midra Shale und die Rus Formation (Bild 4).

Der Simsima Limestone ist ein feinkörniger, kristalliner Kalkstein. Er ist teilweise dolomitisch und besitzt geringfügige Verkarsungserscheinungen. Großmaßstäblich kann er als homogen hinsichtlich seiner Verformbarkeit und Festigkeit eingestuft werden. Darüber hinaus weist er weder Klüfte noch Schichtfugen auf, so dass von einem isotropen Verhalten ausgegangen werden kann. Dementsprechend hat WBI in dem felsmechanischen Modell homogenes und isotropes Verhalten simuliert (Bild 6). Der Verformungsmodul wurde aus Versuchsergebnissen zu etwa 1000–2000 MN/m² abgeleitet. Die einaxiale Druckfestigkeit zu etwa 2–4 MN/m².

Der den Simsima Limestone unterlagernde Midra Shale steht unterhalb der Tunnelbauwerke an. Es handelt sich um eine Wechselfolge aus engständig geschichteten Schluffsteinen und kristallinen Kalksteinen. Neben der ausgeprägten Schichtung sind im Midra Shale auch steil stehende Kluftscharen zu beobachten.

Overlapping bored piles, anchored to the ground above the vent tunnels, were constructed to support the walls of the construction pit for the technical building. The walls of the construction pit for the switch box, on the other side of Al-Diwan Road, were supported by a slurry trench wall anchored with prestressed anchors. The prestressed anchors were replaced by SN-anchors located outside the planned tunnel cross-sections (Figs. 3 and 4).

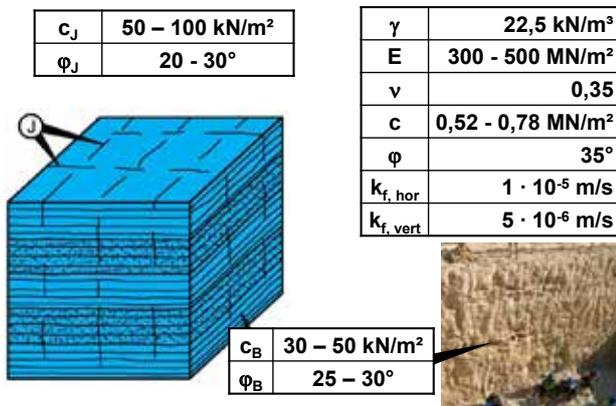
The ventilation tunnels were excavated by conventional means, with pipe umbrellas. Heading was started from the construction pit of the technical building. An approx. 15 m long, horizontal pipe umbrella was drilled from the construction pit for the switch box. Another pipe umbrella, with an inclination of $\sim 2,4^\circ$, was drilled from the construction pit for the technical building. The two pipe umbrellas have an overlap of around 5 m in the central area of the tunnels (Fig. 4).

In a first step, tunnels 1 and 3 were driven and supported with a 30 cm thick shotcrete membrane (Fig. 5). In a second step, the internal lining of reinforced concrete was installed in both tunnels. In a third step, the tunnels 2 and 4 were excavated. In the area of the vault and of the invert, the shotcrete membranes of tunnels 2 and 4 are supported by the shotcrete membranes of tunnels 1 and 3. In the fourth step, the internal lining was installed in tunnels 2 and 4. For connection of these internal linings to the internal linings of the neighbouring tunnel tubes 1 and 3, corresponding block-outs have been foreseen in the latter ones (Figs. 5 + 14).

3 Ground Conditions

The ventilation tunnels are completely located in the so-called Simsima Limestone. On top of this unit, top soil or man-made soil with minor thickness is encountered. Below Simsima Limestone, Midra Shale and Rus Formation are encountered (Fig. 4).

Simsima Limestone is a fine-grained, crystalline limestone. It is partially dolomitic and reveals slight karstification. On a large scale, it can be judged as homogeneous regarding its deformability and strength. Furthermore, as a rule, no joints nor bedding-parallel discontinuities are encountered such that isotropic behavior can be assumed.



8 Rus Formation, felsmechanisches Modell und Kennwerte
Rus Formation, rock mechanical model and parameters

Entlang dieser Trennflächen ist die Scherfestigkeit im Vergleich zum intakten Gestein reduziert, so dass sich ein anisotropes Verhalten des Felses ergibt. Entsprechend komplizierter ist das felsmechanische Modell, das sowohl den inhomogenen Aufbau als auch die infolge der Trennflächen entstehende Anisotropie berücksichtigt (**Bild 7**). Im Vergleich zum Simsima Limestone ist die Verformbarkeit aufgrund der weicheren Schluffstein-Lagen größer. Die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie die des Simsima Limestones. Entlang der Trennflächen muss eine reduzierte Scherfestigkeit angenommen werden.

Das felsmechanische Modell und die felsmechanischen Kennwerte der unterhalb des Midra Shale anstehenden Rus Formation sind im **Bild 8** zusammengestellt. Hinsichtlich des Gefüges ähnelt die Rus Formation dem Midra Shale. Die Festigkeit des Gesteins sowie entlang der Trennflächen ist jedoch geringer.

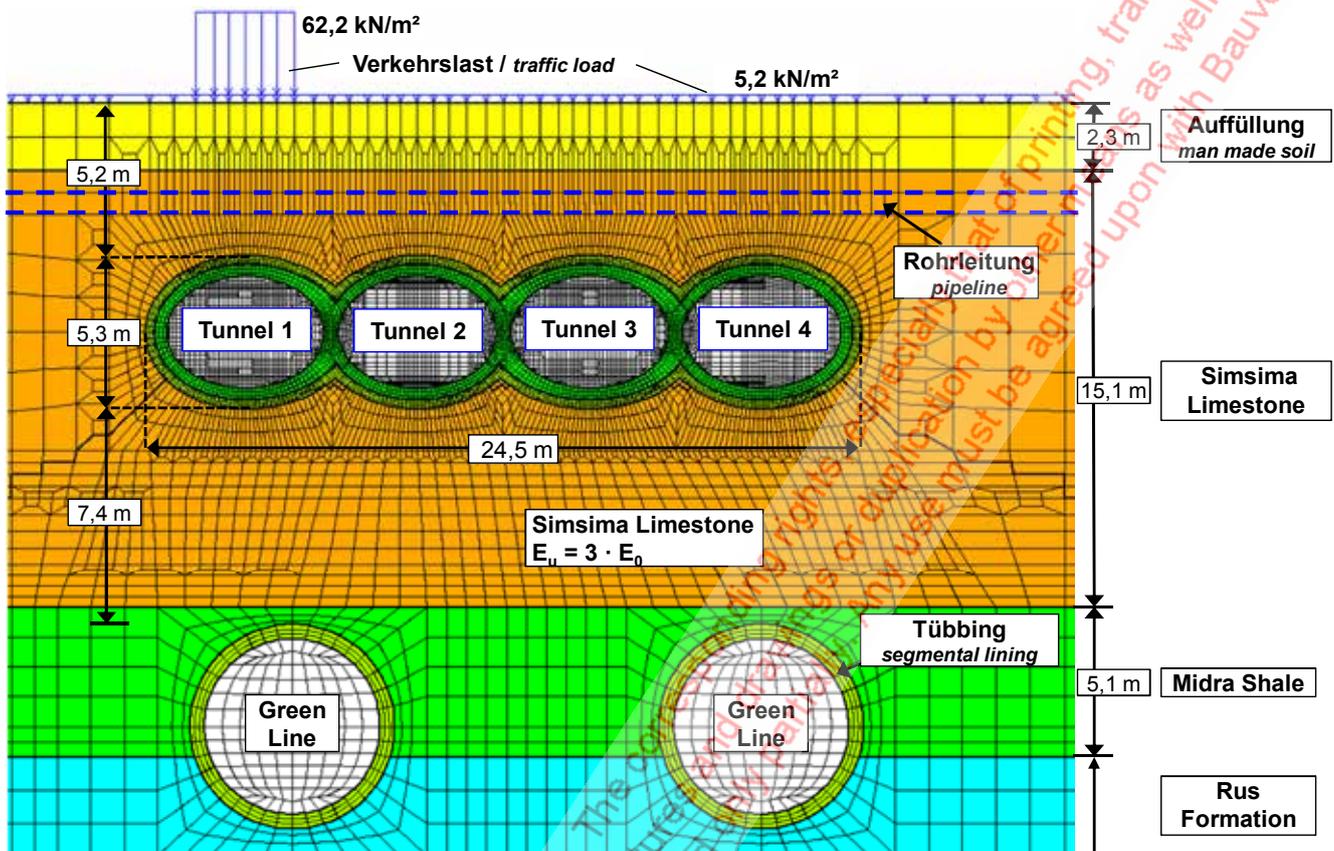
Die oben beschriebenen felsmechanischen Modelle gehen bis zum Erreichen der Festigkeit von isotropem, linear-elastischen Verhalten des Felses aus. Für den Midra Shale und die Rus Formation stellt diese Annahme eine gewisse Vereinfachung dar, weil die Verformbarkeit dieses Gesteins senkrecht zur Schichtung etwas größer sein dürfte als parallel dazu. Nach dem AJRM (Anisotropic Jointed Rock Model) könnte man hier von transversal-isotropem Verhalten ausgehen, das durch die Einregelung der Tonminerale im Gestein bedingt ist [4]. Die Anisotropie dieses Gesteins im elastischen Bereich kann jedoch erfahrungsgemäß vernachlässigt werden.

Die Festigkeit des Midra Shales und der Rus Formation ist parallel zu den horizontalen Schichtfugen und zu den vertikalen Klüften geringer als in den davon abweichenden Richtungen. Nach dem AJRM werden hierfür nach dem Mohr-Coloumb'schen Bruchkriterium eine Kohäsion und ein Reibungswinkel eingeführt. Die Zugfestigkeit senkrecht zu den Trennflächen wird ebenso wie die des Gesteins zu Null angenommen. Die Festigkeit des Gesteins, die allerdings im vorliegenden Fall keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat, wird ebenfalls nach Mohr-Coulomb mit den Parametern c und φ beschrieben.

Thus, WBI has simulated homogenous and isotropic behavior in the rock mechanical model (**Fig. 6**). The deformation modulus was derived from test results and amounts to approx. 1000–2000 MN/m². The unconfined compressive strength amounts to approx. 2–4 MN/m². Midra Shale, the geological unit below Simsima Limestone, is encountered beneath the tunnel structures. It consists of an alternating sequence of intensely bedded siltstones and crystalline limestones. Besides the pronounced bedding, steeply inclined joint sets are observed in Midra Shale. The shear strength along these discontinuities is reduced in comparison with the intact rock strength. This results in an anisotropic behaviour of the rock mass. Correspondingly, the rock mechanical model is more complicated and considers the inhomogeneous composition as well as the anisotropy resulting from discontinuities (**Fig. 7**). Due to the softer siltstone layers, the deformability of Midra Shale is higher than the one of Simsima Limestone. The unconfined compressive strength is in the same order of magnitude as for Simsima Limestone. A reduced shear strength must be assumed along the discontinuities.

The rock mechanical model and the rock mechanical parameters for the Rus formation, encountered below Midra Shale, is represented in **Fig. 8**. The discontinuity fabric is similar to the one of Midra Shale. However, the strength of the intact rock as well as along the discontinuities is smaller.

The above described rock mechanical models assume isotropic linear-elastic behavior of the rock mass until strength is reached. This is a slight simplification for Midra Shale and Rus Formation, because the deformability of these formations possibly is slightly larger perpendicular to bedding than in parallel with bedding. According to the AJRM (Anisotropic Jointed Rock Model), transversely-isotropic behavior could thus be assumed, which is resulting from the lining-up of clay minerals in the intact rock [4]. However, according to experience, the anisotropy of the intact rock in the elastic range can be neglected. For Midra Shale and Rus formation, the strength along the directions of bedding-parallel discontinuities and of vertical joints is smaller than in other directions. According to the AJRM and the Mohr-Coulomb failure criterion, a cohesion and an angle of friction are introduced.



9 FE-Netz, Detail
FE-mesh, detail

Nach Überschreiten der Festigkeit wird viskoplastisches Verhalten zugrunde gelegt [4].

Dieses Modell ermöglicht somit abweichend von anderen Modellvorstellungen die Berücksichtigung einer richtungsabhängigen Festigkeit, beschreibt damit die Wirklichkeit besser und führt in vielen Fällen zu wirtschaftlicheren Lösungen.

4 Standsicherheitsnachweis

Die Standsicherheitsnachweise wurden nach der Methode der finiten Elemente mit dem Programmsystem FEST03 durchgeführt. In dieses Programmsystem ist das oben beschriebene AJRM integriert [5]. Die Berechnungen werden an einer vertikalen Scheibe mit 1 m Dicke durchgeführt (Pseudo 3D). Das verwendete FE-Netz ist in **Bild 9** dargestellt. Es enthält die verschiedenen Untergrundschichten sowie die vier Ventilationstunnel. Die Spritzbetonschalen und die Stahlbetoninnenschalen der Tunnelröhren wurden mit jeweils drei Elementreihen diskretisiert. Das erlaubt die Ermittlung der Schnittgrößen durch eine Integration der für die Gauss-Punkte der einzelnen Elemente ermittelten Spannungen. In dem Midra Shale und der Rus Formation liegen die beiden mit Kreisquerschnitt nachgebildeten Tunnelröhren der Green Line. Streng genommen müssten diese mit elliptischem Querschnitt nachgebildet werden, da sie schräg geschnitten werden.

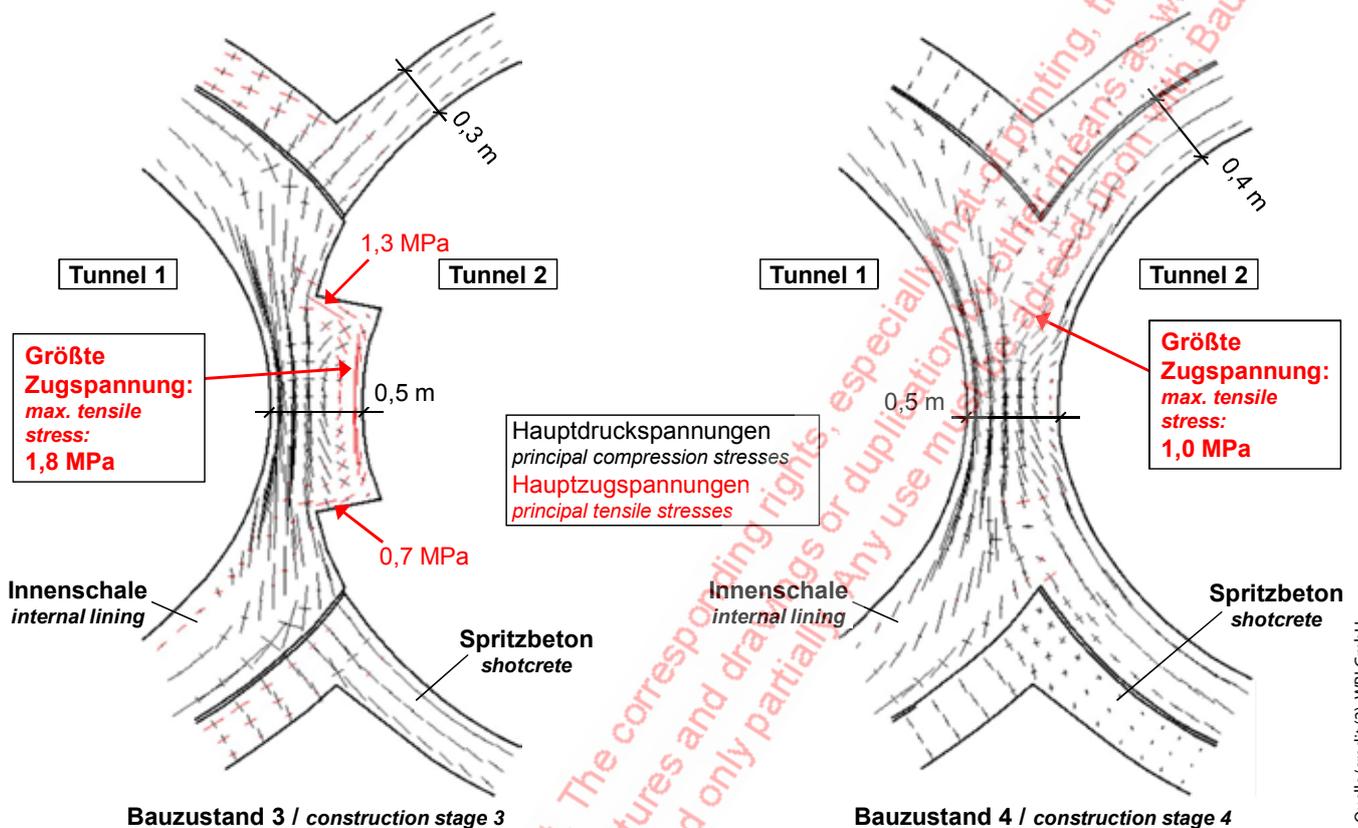
The tensile strength perpendicular to the discontinuities as well as of the intact rock are assumed zero. The intact rock strength, which in the given case does not have any impact on the results, is also described with the aid of the Mohr-Coulomb parameters c and ϕ .

After exceeding the strength, viscoplastic behavior is assumed [4]. Thus, differing from other models, the above described AJRM allows to consider a directional strength and thus describes the reality in a better way, leading to more economic solutions.

4 Stability Analyses and Proofs

The stability analyses have been carried out according to the finite element method with the program system FEST03. The above described AJRM is integrated in this program system [5]. A vertical slab with 1 m thickness has been considered in the analyses (pseudo 3D). The FE mesh is represented in **Fig. 9**. It considers the different geological units as well as the four vent tunnels. The shotcrete membranes and the reinforced concrete linings of the four tunnel tubes have been discretized with three rows of elements. This allows for evaluation of the stress resultants via integration of stresses calculated in the Gauss points of the individual elements.

In the Midra Shale and Rus Formation below the vent tunnels, the two tunnel tubes of the Green Line have been simulated with a circular cross-section. Strictly speaking, they should have been



10 Hauptnormalspannungen, Detail, Bauzustände 3 und 4
Principal normal stresses, detail, construction stages 3 and 4

Aufgrund des geringen Einflusses, den die beiden bereits hergestellten Röhren auf die Standsicherheit der Ventilationstunnel haben, ist diese Vereinfachung jedoch zulässig.

Die Lasten aus dem Verkehr wurden im vorgestellten Beispiel durch eine Gleichlast von $5,2 \text{ kN/m}^2$ und durch eine zusätzliche Verkehrslast berücksichtigt, die örtlich über eine bestimmte Länge in Ansatz gebracht wurde (Bild 9).

Der ungestörte Grundwasserspiegel steht ca. 2,2 m oberhalb der Ventilationstunnel an. Durch den Vortrieb wird er abgesenkt und steigt erst nach Einbau der Innenschale auf sein ursprüngliches Niveau an. Für das unterhalb der Tunnelröhren liegende Gebirge wurde ein Entlastungsmodul angenommen, der dem Dreifachen des o. g. E-Modul für die Erstbelastung des Simsima Limestone entspricht.

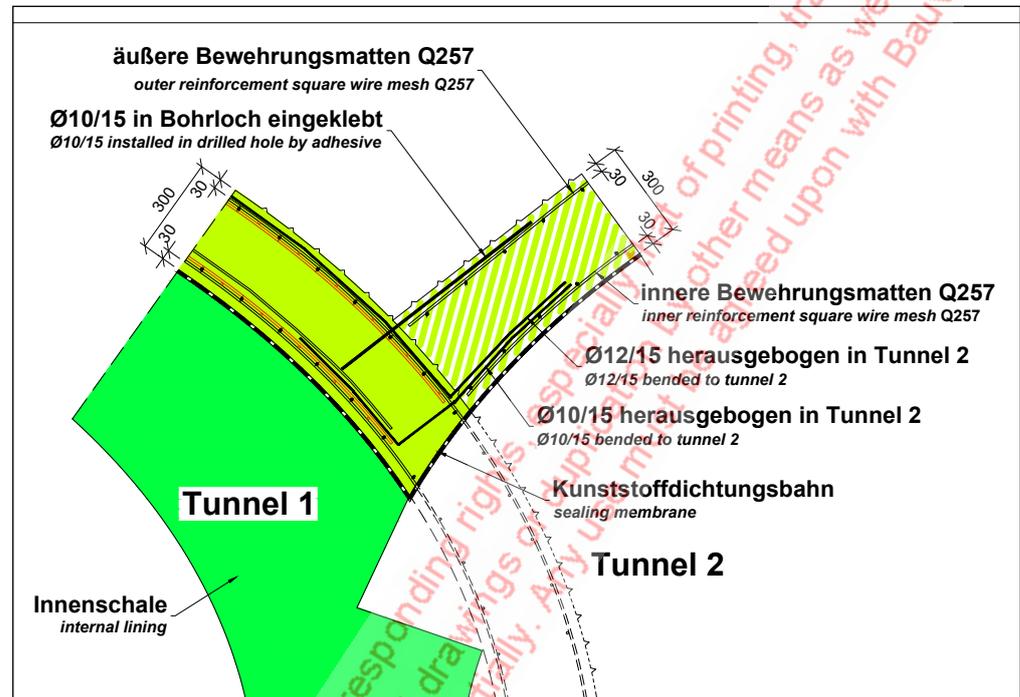
Die Ergebnisse der Berechnungen werden hier nicht im Einzelnen dargestellt. Für die Spritzbetonschalen und die Stahlbetoninnenschalen ergeben sich vergleichsweise geringe Beanspruchungen. Auch die rechnerisch ermittelten vortriebsbedingten Senkungen an der Straßenoberfläche sind gering. Besonderheiten bzw. etwas größere Beanspruchungen der Schalen ergeben sich lediglich im Bereich der Durchdringung der benachbarten Röhren und bei den Anschlüssen der Spritzbetonschalen der Röhren der Tunnel 2 und 4 an die Spritzbetonschalen der danebenliegenden, bereits

simuliert mit einem elliptischen Querschnitt, weil sie schräg geschnitten sind. Allerdings, da die beiden bereits konstruierten Tunnelrohre keinen wesentlichen Einfluss auf die Standsicherheit der Ventilationstunnel haben, ist diese Vereinfachung zulässig.

In dem vorgestellten Beispiel sind die Verkehrslasten durch eine gleichmäßig verteilte Last von $5,2 \text{ kN/m}^2$ und eine zusätzliche Verkehrslast berücksichtigt, die über einen bestimmten Bereich in Ansatz gebracht wurde (Bild 9).

Der ungestörte Grundwasserspiegel liegt ca. 2,2 m über dem Tunnelkroneniveau. Durch den Vortrieb wird er abgesenkt und steigt erst nach dem Einbau der Innenschale auf sein ursprüngliches Niveau an. Für das unterhalb der Tunnelröhren liegende Gebirge wurde ein Entlastungsmodul angenommen, das dreifach so groß ist wie das oben erwähnte Entlastungsmodul für die Erstbelastung des Simsima Limestone.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden hier nicht im Einzelnen dargestellt. Vielmehr resultieren geringe Spannungen in den Spritzbetonschalen sowie in den Innenschalen der Stahlbetonröhren. Die berechneten Absenkungen der Straßenoberfläche durch den Tunnelvortrieb sind ebenfalls gering. Besonderheiten und höhere Spannungen resultieren vor allem im Bereich der Durchdringung der benachbarten Tunnelrohre und an den Anschlüssen der Spritzbetonschalen der Tunnel 2 und 4 an die Spritzbetonschalen der benachbarten Tunnel 1 und 3. **Fig. 10** zeigt exemplarisch die Hauptnormalspannungen in den Stahlbetoninnenschalen der Tunnel 1 und 2 für zwei verschiedene Bauzustände.



11 Detail, Anschluss Spritzbetonschale Tunnel 2 an Tunnel 1
 Detail, connection shotcrete membrane of tunnels 1 and 2

ausgeführten Tunnel 1 und 3. Beispielhaft sind in **Bild 10** die Hauptnormalspannungen in den Stahlbetoninnenschalen der Tunnel 1 und 2 für zwei Bauzustände dargestellt (vgl. auch Bild 5). Auch hieraus ergeben sich nur geringe erforderliche Bewehrungsmengen für die Stahlbetoninnenschalen. Für den Anschluss der Spritzbetonschalen der Tunnel 2 und 4 an die Nachbarröhren zeigt **Bild 11** beispielhaft ein konstruktives Detail für die Bewehrungsführung.

5 Bauausführung

Der Vortrieb der Tunnelröhren erfolgte plangemäß und ohne Zwischenfälle. Die an der Straßenoberfläche eingetretenen Setzungen betragen maximal 17 mm. **Bild 12** zeigt den Bauzustand, bei dem der Einbau der Innenschalen in die Tunnel 1 und 3 abgeschlossen war und der Durchschlag der dazwischenliegenden Tunnelröhre in die Baugrube des Verteilerbauwerks erfolgte. Man erkennt das an dem quadratischen Loch im Zentrum des Querschnitts des Tunnels 2. Weiterhin sieht man, dass die Schlitzwand im Bereich des Tunnelquerschnitts 2 vor Ankunft des Vortriebs entfernt worden ist. Auch die Rohrschirme sind entlang der Firstkontur des Tunnels erkennbar. Den Bauzustand 3 zeigt das **Bild 13**. Hier sind die Tunnel 2 und 4 vollständig aufgefahren. Das Bild vermittelt einen guten Eindruck von den Abmessungen des Bauwerks und der geringen Überdeckung bis zur Al-Diwan Road.

Bild 14 zeigt schließlich beispielhaft den Einbau der Innenschale im Tunnel 3. Die Sohle ist in diesem Bauzustand bereits betoniert. Man erkennt die Abschalungen, die in Vorbereitung des

stages (see Fig. 5). Also here, the resulting reinforcement quantities are small. In **Fig. 11**, a detail of reinforcement location is exemplarily shown for the connection of the shotcrete membranes of tunnels 2 and 4 to the neighbouring tunnel tubes.

5 Construction

Excavation of the tunnels was carried out according to schedule without any incidences. The subsidence at road surface amounted to a maximum of 17 mm. **Fig. 12** shows the construction stage, in which the reinforced concrete internal lining of tunnels 1 and 3 was completed and the tunnel tube inbetween was about to be broken through to the construction pit "switchbox" (see quadratic hole in the center of the cross-section). As can be seen in the photograph, the slurry trench wall had been removed before tunnel heading of tunnel 2 arrived. Also, the pipe umbrella along the tunnel's roof can be seen in the photograph.

A photograph of construction stage 3 is shown in **Fig. 13**. Here, the tunnels 2 and 4 are completely excavated. The photograph gives a good impression of the dimensions of the structure as well as of the small height of overburden to Al-Diwan Road.

Finally, **Fig. 14** exemplarily shows the installation of the internal lining in tunnel 3. The concrete invert is already finished. One can see the formworks (stop-end panels), which have been installed during construction of the internal linings of tunnel tubes 1 and 3 in order to prepare the connection to the reinforced concrete linings of the neighboring tunnel tubes 2 and 4.



12 Durchschlag Tunnel 2, Blick von Seite Verteilerbauwerk
Breakthrough Tunnel no. 2, view from switchbox side

13 Bauzustand 3, Blick von der Seite des Betriebsgebäudes
Construction stage 3, view from the technical building side



6 Summary

In the course of the construction of the Green and Red Lines for the underground network of Qatar, a ventilation structure is built. The technical building is located directly besides Al-Diwan Road. On the opposite side of the road, the switchbox structure is located. This structure connects the ventilation building with the tunnels of the Green and Red Line. The four vent tunnels connecting the technical building with the switchbox structure, had originally been designed as cut-and-cover structures with rectangular cross-section of reinforced concrete. The joint venture of Porr and Redco International asked WBI to elaborate a feasibility study and the detailed design for construction of the vent tunnels below Al-Diwan Road according to the mining method. Instead of the rectangular cross-sections, nearly elliptical cross-sections with equivalent cross-sectional area, which intersect each other, were executed. The tunnels were constructed with conventional means, 30 cm thick shotcrete membranes and internal linings of reinforced concrete. The two pipe umbrellas, which were executed from the two construction pits on either side, have an overlap of 5 m in the center section of the tunnels.

The ground consists of limestones, which in part are horizontally bedded and vertically jointed. The rock mechanical model was elaborated according to the AJRM method. Stability analyses were carried out according to the finite element method with the



Quelle/Credit: Porr AG

Anschlusses der Stahlbetoninnenschale der Nachbarröhren 2 und 4 beim Bau der Innenschalen der Tunnelröhren 1 und 3 ausgeführt wurden.

14 Arbeiten für die Innenschale im Tunnel 3
Internal lining works tunnel 3

6 Zusammenfassung

Im Zuge des Baus der Green Line und der Red Line für die U-Bahn Katar wird ein Ventilationsbauwerk errichtet. Das Betriebsgebäude liegt unmittelbar neben der Al-Diwan Road. Auf der gegenüberliegenden Seite der Straße schließt das Verteilerbauwerk an, das die Lüftungszentrale mit den Tunneln der Green und der Red Line verbindet. Die vier Verbindungstunnel zwischen dem Betriebsgebäude und dem Verteilerbauwerk waren in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitten aus Stahlbeton geplant. Die ARGE aus den Firmen Porr und Redco International beauftragte die WBI mit einer Machbarkeitsstudie und der Ausführungsplanung für eine bergmännische Unterfahrung der Al-Diwan Straße. Anstelle der Rechteckquerschnitte wurden flächengleiche, annähernd elliptische Querschnitte ausgeführt, die sich an den Übergängen durchdringen. Ausgeführt wurde ein konventioneller Vortrieb mit 30 cm dicken Spritzbetonschalen und Innenschalen aus Stahlbeton. Die von beiden Baugruben ausgeführten Rohrschirme überlappen sich in der Mitte des Tunnels um etwa 5 m.

Der Baugrund besteht aus Kalksteinen, die z. T. horizontal geschichtet und vertikal geklüftet sind. Das felsmechanische Modell wurde nach der AJRM Methode erarbeitet. Standsicherheitsberechnungen wurden nach der Methode der finiten Elemente mit dem Programmsystem FEST03 durchgeführt. In dem Artikel wird in kurzer Form auf die Bauausführung eingegangen. Der Bau erfolgte plangemäß ohne Zwischenfälle. An der Straßenoberfläche traten maximale Senkungen von 1,7 cm auf. 

program system FEST03. In the given article, construction is briefly dealt with. Construction was completed according to schedule without any incidence. The maximum subsidence at road surface amounted to 1.7 cm. 

Literatur/References

- [1] Wenkenbach, H.: Planen und Bauen auf der arabischen Halbinsel. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 13.04.2016. WBI-PRINT 19, Weinheim, 2016.
- [2] Wittke-Schmitt, B.; Küpper, H.-J.; Wenkenbach, H.: Green Line in Qatar, bergmännische Unterfahrung einer 8spurigen Straße in Doha. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 11.05.2017. WBI-PRINT 20, Weinheim, 2017.
- [3] Griguta, M.; Al Ansari, J.: Qatar Rail – Doha Metro. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 07.06.2018. WBI-PRINT 21, Weinheim, 2018.
- [4] Wittke, W.: Rock Mechanics based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM), Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin 2014.
- [5] Wittke, W.: Stability Analysis for Tunnels, Fundamentals. WBI-Print 4. Verlag Glückauf, Essen, 2000.