

## Ulriken Tunnel – erster TBM-Vortrieb für einen Bahntunnel in Norwegen

Die 7,8 km lange zweite Röhre des Ulriken Tunnels stellt einen Meilenstein des norwegischen Tunnelbaus dar: Zum ersten Mal wird dort eine Tunnelbohrmaschine (TBM) für den Vortrieb eines Bahntunnels eingesetzt; mit 9,3 m weist die gewählte Gripper-TBM zudem den bisher größten Bohrdurchmesser in Norwegen auf. Nach einer allgemeinen Projektbeschreibung erläutert der vorliegende Beitrag<sup>1</sup> ausgewählte Aspekte dieses TBM-Projekts.

## Ulriken Tunnel – The first TBM Drive for a Railway Tunnel in Norway

The 7.8 km long second tube of the Ulriken Tunnel represents a milestone in Norwegian tunneling; for the first time a tunnel boring machine (TBM) is used to drive a railway tunnel. With a diameter of 9.3 m, the selected gripper TBM also has the largest diameter ever bored in Norway. After a general description of the project, the paper<sup>1</sup> describes selected aspects of the TBM project.

Marco Ramoni, Dr. sc. Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Basler & Hofmann AG, Esslingen, Schweiz/Switzerland

### 1 Einleitung

Der Ulriken Tunnel gehört zur Bahnlinie „Bergensbanen“, welche die zwei norwegischen Städte von Oslo und Bergen verbindet (**Bild 1**). Die erste Röhre, die 1964 eröffnet wurde, ist 7,7 km lang und liegt zwischen den Bahnhöfen Årna und Bergen (**Bild 2**). Aufgrund der sehr starken Auslastung der eingleisigen Strecke durch den Personenverkehr (mit 120 Zügen pro Tag) und den Güterverkehr (mit 14 Zügen pro Tag) sowie zur Erhöhung der Sicherheit beschloss das norwegische Verkehrsministerium 2009 den zweigleisigen Ausbau. Darin beinhaltet ist auch der Bau einer zweiten Röhre für den Ulriken Tunnel.

Der Vortrieb der 7,8 km langen zweiten Röhre des Ulriken Tunnels hätte ursprünglich sprengtechnisch erfolgen sollen. Im Dezember

### 1 Introduction

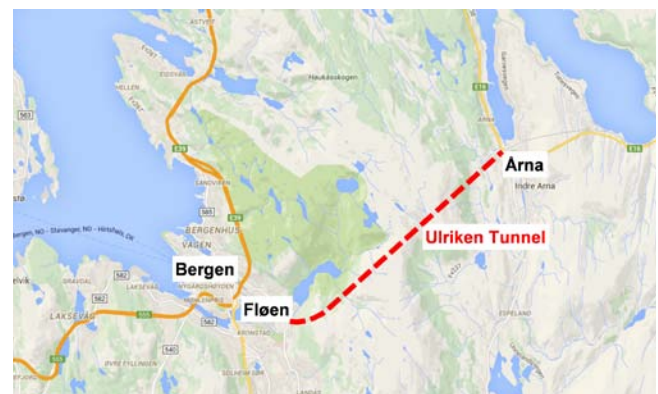
The Ulriken Tunnel is part of the “Bergensbanen”, the railway line between Oslo and Bergen in Norway (**Fig. 1**). The existing tunnel, which was opened in 1964, is 7.7 km long and is situated between the stations at Årna and Bergen (**Fig. 2**). Due to the very high load factor of passenger traffic (120 trains a day) and goods traffic (14 trains a day) on the single-track line, and also in order to improve safety, the Norwegian Transport Ministry decided in 2009 to upgrade the line to two tracks including the construction of a second tube for the Ulriken Tunnel.

The excavation of the 7.8 km long second tube of the Ulriken Tunnel was originally intended to be by drill and blast. In December 2012, shortly before tendering, Norwegian Railways (Jernbaneverket)



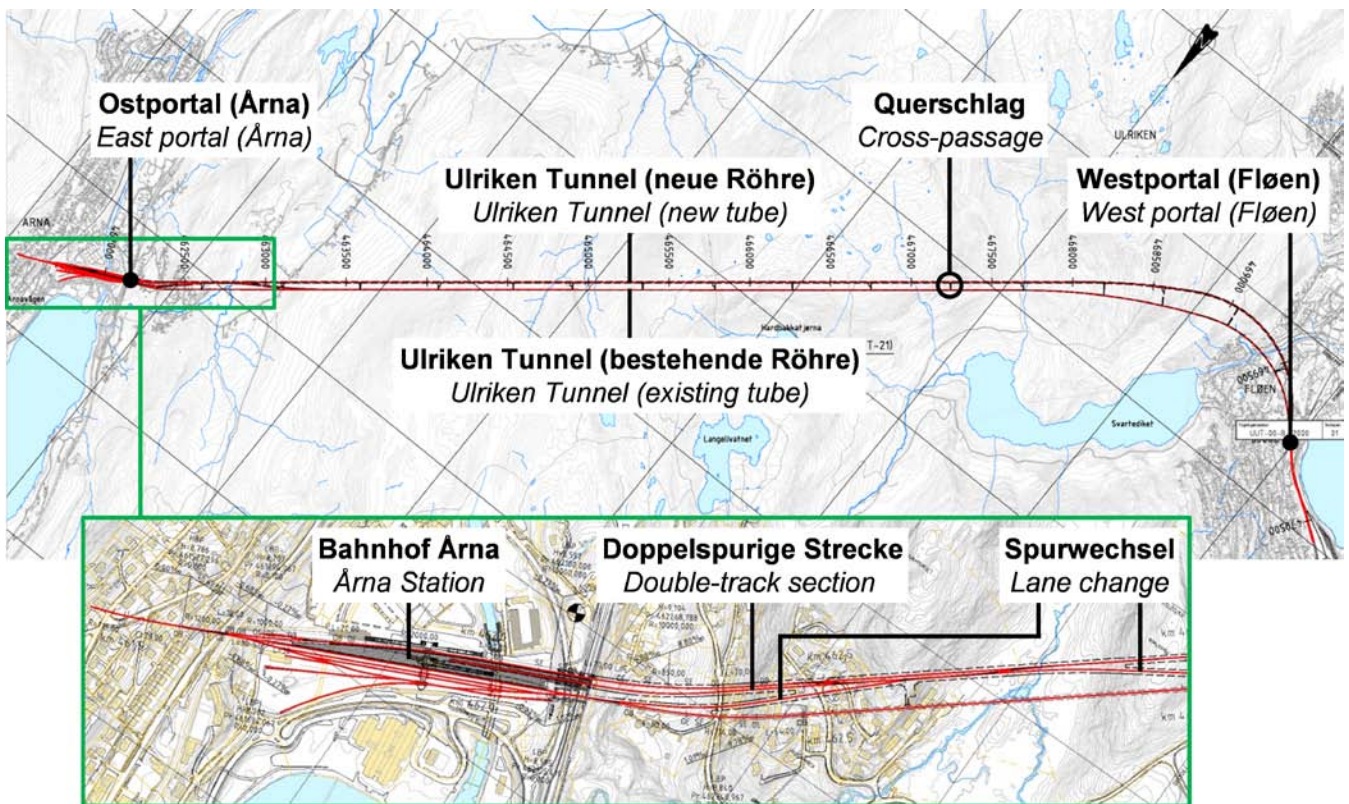
Quelle/credit: [1]

1 Strecke der „Bergensbanen“  
Route of the “Bergensbanen” line



Quelle/credit: [2]

2 Ulriken Tunnel, Karte  
Ulriken Tunnel, map



3 Linienführung (Situation)  
Alignment (plan view)

2012, kurz vor der Ausschreibung, entschieden aber die Norwegischen Bahnen (Jernbaneverket), auch die Variante „Vortrieb mit Tunnelbohrmaschine (TBM)“ zu verfolgen und schließlich parallel zum Sprengvortrieb auszuschreiben. Diese Entscheidung stellte das dafür vorgesehene Planungsteam, bestehend aus der Norconsult AS und der Basler & Hofmann AG, vor eine große Herausforderung, denn die Erarbeitung eines ausschreibungsreifen Projekts für den TBM-Vortrieb der zweiten Röhre und die Vorbereitung aller erforderlichen Dokumente für die Ausschreibung beider Vortriebsmethoden mussten in kürzester Zeit erfolgen. Nach der Beurteilung der eingegangenen elf Offerten fiel im Mai 2014 die Entscheidung zu Gunsten der Variante „TBM-Vortrieb“ einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus der Skanska Norge AS und der Strabag AG. Die Auftragssumme liegt bei rund 1,353 Milliarden Norwegische Kronen (rund 165 Millionen Euro zum Zeitpunkt der Vergabe).

Ein TBM-Vortrieb stellt in Norwegen bei weitem noch nicht den Regelfall dar. Der größte Teil der rund 5000 km norwegischer Tunnel und Stollen wurde erfolgreich sprengtechnisch ausgebrochen. Für nur rund 200 km Vortrieb setzte man bisher TBM ein [3]. Die meisten bisherigen TBM-Vortriebe erfolgten in den 1970er- und in den 1980er-Jahren. Einer der ersten TBM-Vortriebe wurde in den Jahren 1972–1974 für einen Abwasserstollen (Länge: 4,3 km, Bohrdurchmesser: 2,3 m) in Trondheim eingesetzt. Weitere Projekte folgten, vorwiegend im Wasser- aber auch im Verkehrswegebau – wie zum Beispiel ein Straßentunnel durch

however decided to pursue the alternative “mechanized tunnelling with TBM” and this was then tendered parallel with drill and blast. This decision was a great challenge for the intended design team, consisting of Norconsult AS and Basler & Hofmann AG. The production of a design for mechanized tunnelling of the second tube ready for tendering and the preparation of all documents necessary to tender both alternatives had to be undertaken in a very short time. After the evaluation of all eleven bids, in May 2014 the decision fell in favour of the alternative “mechanized tunnelling with TBM” from the joint venture of Skanska Norge AS and Strabag AG. The contract volume is about 1.353 billion Norwegian kroner (about 165 million euros at the time of award).

TBM tunnelling is still far from standard practice in Norway; most of the approximately 5000 km of tunnels in Norway were excavated by blasting, and TBMs have only been used to bore about 200 km until now [3]. Most of the previous TBM drives took place in the 1970s and

<sup>1</sup> Der vorliegende Beitrag basiert auf der Publikation “Ramoni, M. (2015): Ulriken Tunnel – Der erste TBM-Vortrieb für einen Bahntunnel in Norwegen; Swiss Tunnel Congress, FGU-Fachtagung für Untertagbau, Luzern, 178–187, FGU Fachgruppe für Untertagbau Esslingen”, welche für diese Neuausgabe angepasst und ergänzt wurde.

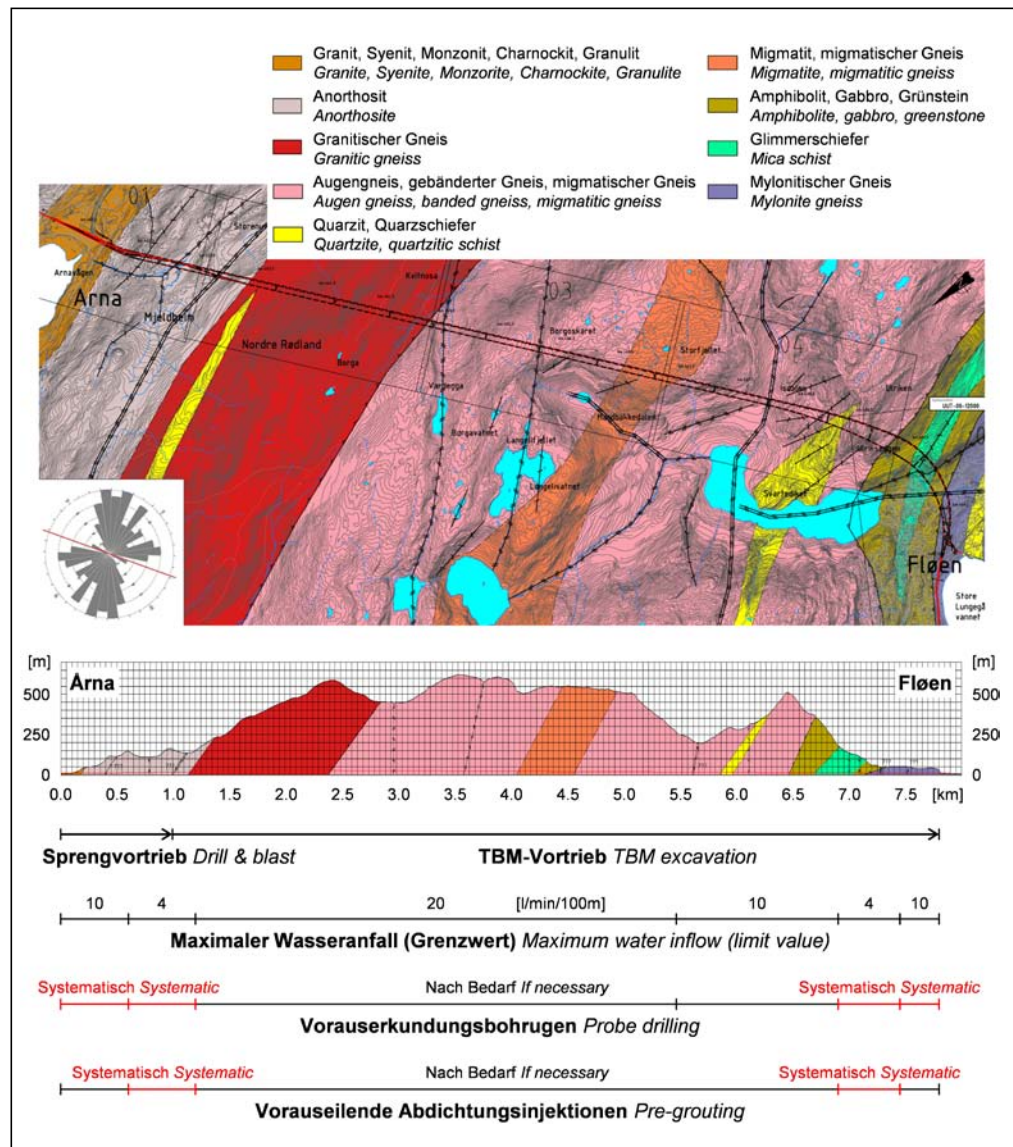
This article is based on the publication “Ramoni, M. (2015): Ulriken Tunnel – The First TBM Drive for a Railway Tunnel in Norway; Swiss Tunnel Congress, FGU-Fachtagung für Untertagbau, Luzern, 178–187, FGU Fachgruppe für Untertagbau Esslingen”, which was adapted and amended for republication.



Quelle/credit: [12]

4 a) Ostportal in Årna; b) Westportal in Fløen  
a) East portal in Årna; b) West portal in Fløen

Fløyfjellet (Bergen) mit einer Länge von 6,9 km und einem Bohrdurchmesser von 7,8 m, der in den Jahren 1984–1986 gebaut wurde [4]. Einer der vorläufig letzten TBM-Einsätze in Norwegen fand in den Jahren 1991–1992 beim Bau eines Wasserstollens (Länge: 10,0 km, Bohrdurchmesser: 3,5 m) für das Wasserkraftprojekt Meråker statt [5]. Hauptsächlich das Fehlen geeigneter Projekte, jedoch auch ein mangelndes Vertrauen in die TBM-Technologie hatten dazu geführt, dass es nach 20 Jahren sporadischer, aber dennoch regelmäßiger TBM-Anwendungen zu Beginn der 1990er-Jahre zu einer vorübergehenden Auszeit für TBM-Einsätze in Norwegen kam. Mittlerweile hat die TBM-Technologie in Norwegen wieder an Bedeutung gewonnen: 2012 wurde der TBM-Vortrieb für einen Wasserstollen (Länge: 12,0 km, Bohrdurchmesser: 7,2 m) des Wasserkraftprojekts Nedre Røsåga vergeben [6]. Im selben Jahr beschlossen die Norwegischen Bahnen, dass der Follobanen Tunnel (Länge: 19,7 km, Bohrdurchmesser: 9,8 m) zwischen Oslo Hauptbahnhof und Ski vorwiegend maschinell ausgebrochen werden soll [7] [8].



Quelle/credit: [13], [14]

5 Geologischer Grundriss (oben) und geologisches Längenprofil (unten)  
Geological map (top) and geological longitudinal profile (bottom)

Der TBM-Vortrieb der zweiten Röhre des Ulriken Tunnels, mit einer Länge von 7,8 km und einem Bohrdurchmesser von 9,3 m, startete im Dezember 2015. Der bisher größte Bohrdurchmesser in Norwegen und der erste TBM-Vortrieb für einen norwegischen Bahntunnel stellen zwei Besonderheiten bei diesem Projekt dar [9].

## 2 Projektbeschreibung

### 2.1 Linienführung und Tunnelsystem

Die zweite Röhre des Ulriken Tunnels verläuft südlich der bereits bestehenden Röhre (**Bild 3**). Die zwei Portale befinden sich in Årna (Ostportal, **Bild 4a**) und Fløen (Bergen, Westportal, **Bild 4b**). Die Projektierungsgeschwindigkeit beträgt 160 km/h. Die vertikale Linienführung ist sattelförmig: Entlang der ersten 1,9 km im östlichen Bereich verläuft die neue Röhre mit einer Längssteigung von 8,8 ‰, danach wird die Strecke fallend Richtung Fløen mit einem Längsgefälle von 3,0 ‰ fortgeführt. Neben der bestehenden Röhre sind folgende Elemente Bestandteil des erweiterten Tunnelsystems (**Bild 3**): Eine 750 m lange doppelspurige Strecke im Bereich des Ostportals (Årna); ein Spurwechsel zwischen neuer und bestehender Röhre, ebenfalls im östlichen Teil des Tunnels; eine 7030 m lange, einspurige Strecke ab dem Westportal (Fløen) und 15 Querschläge, welche die zwei Röhren alle 500 m miteinander verbinden und technische Räume beherbergen.

### 2.2 Geologie und Hydrogeologie

Der geologische Grundriss und das geologische Längenprofil des Ulriken Tunnels sind in **Bild 5** dargestellt. Der Ulriken Tunnel



6 Sprengvortrieb  
Drill and blast excavation

Quelle/Credit: [15]

the 1980s. One of the first uses of a TBM in Norway was in 1972–1974 for a sewer tunnel (length: 4.3 km, bored diameter: 2.3 m) in Trondheim. Further projects followed, mostly for water but also transport tunnels – such as a road tunnel through Fløyfjellet (Bergen), with a length of 6.9 km and a bored diameter of 7.8 m, built in the years 1984–1986 [4]. One of the last uses of a TBM in Norway was to bore a water tunnel (length 10.0 km, bored diameter 3.5 m) for the Meråker hydropower project in 1991–1992 [5]. It was mainly the lack of suitable projects, but also

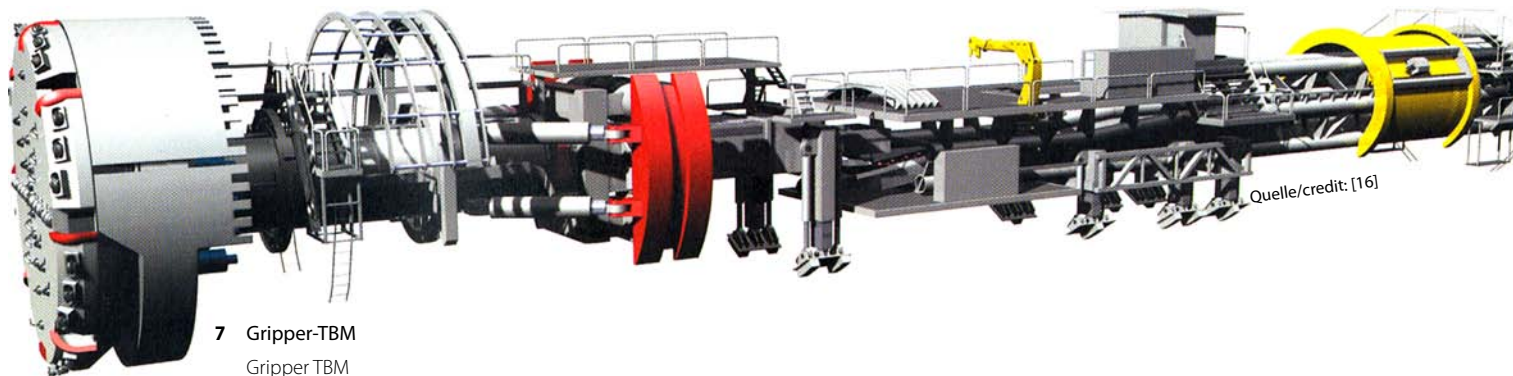
a lack of confidence in TBM technology, which led to a temporary stoppage of TBM use in Norway at the start of the 1990s after 20 years of sporadic but still regular applications.

TBM technology has recently started to regain interest in Norway. In 2012, a TBM-driven water tunnel (length: 12 km, bored diameter: 7.2 m) was awarded for the Nedre Røssåga hydropower project [6]. In the same year, Norwegian Railways decided that most of the Follobanen Tunnel (length: 19.7 km, bored diameter: 9.8 m) between Oslo main station and Ski should be excavated by TBMs [7] [8]. A TBM started to bore the second Ulriken Tunnel with a length of 7.8 km and a bored diameter of 9.3 m in December 2015. Two special features of this project are that this is the largest diameter yet bored and the first TBM-driven railway tunnel in Norway [9].

## 2 Project Description

### 2.1 Alignment and Tunnel System

The second tube of the Ulriken Tunnel runs south of the existing tube (**Fig. 3**). The two portals are located in Årna (east portal, **Fig. 4a**) and Fløen (Bergen, west portal, **Fig. 4b**). The design speed for the line is



verläuft vollständig im Fels. Das Gebirge besteht aus verschiedenen Hartgesteinen. Im Bereich des Ostportals (Årna) sind Granit, Syenit, Monzonit, Charnockit und Granulit vorhanden. Nachfolgend sind Anorthosit und granitischer Gneis anzutreffen. Der mittlere Bereich besteht aus Augengneis und gebändertem Gneis sowie Migmatit, migmatischem Gneis, Quarzit und Quarzschiefer. Im westlichen Teil sind Amphibolit, Gabbro, Grünstein, Glimmerschiefer und mylonitischer Gneis vorhanden.

Die Felsüberdeckung variiert zwischen minimal 5 und maximal 600 m. Die einaxiale Druckfestigkeit der Gesteine schwankt zwischen 80 und 250 MPa. Die Abrasivität wird vorwiegend als „hoch“ eingestuft, wobei der Cerchar Index gemäß Prognose bis zu 5.5 betragen kann. Das Trennflächensystem besteht aus einer bis vier Kluftscharen und der Schieferung. Die Hauptkluftschare und die Schieferung verlaufen parallel. Der Kluftabstand ist mehrheitlich größer als 2 m. Die erwarteten geologischen Bedingungen sind generell gut, auch wenn mehrere stark geklüftete Bereiche vorhanden sind. Für 50 % der Strecke werden „sehr gute“ bis „gute“ Verhältnisse prognostiziert (Bezeichnungen nach dem norwegischen Klassifizierungssystem). Für weitere 40 % sind „ausreichende“ Verhältnisse erwartet. Die restlichen 10 % werden als „schlecht“ bis „sehr schlecht“ klassifiziert. Das Gebirge ist generell trocken oder wenig wasserführend. Ein relevanter Wasseranfall ist nur in stark geklüfteten Bereichen zu erwarten.

### 2.3 Bauprogramm

Der Vortrieb erfolgt von Osten (Årna) nach Westen (Fløen) zuerst fallend (entlang der ersten 1,9 km) und danach steigend. Zu Beginn wurde für rund 1 km sprengtechnisch ausgebrochen (Bild 6). Die restlichen rund 6,8 km werden zurzeit mit einer Herrenknecht Gripper-TBM aufgeföhren (Bild 7). Die technischen Daten der TBM sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Die Wahl eines Sprengvortriebs für den ersten Teil des Bauvorhabens lässt sich hauptsächlich wie folgt begründen: Im Bereich des Ostportals (Årna) sind Querschnitte unterschiedlicher Geometrie auszurechnen (vgl. Abschnitt 2.1), während der Lieferzeit der TBM konnte bereits vorgetrieben werden, und mit dem Sprengvortrieb wurde die Montage- und Startstrecke der TBM vorbereitet.

Die Vorarbeiten für den Tunnelbau starteten im August 2014. Der Sprengvortrieb hatte im November 2014 begonnen und dauerte bis zum August 2015. Der TBM-Vortrieb begann mit der

160 km/h. The vertical alignment is saddle-shaped: along the first 1.9 km from the east, the new tube ascends at a gradient of 8.8 ‰, followed by a descent to Fløen at a gradient of 3.0 ‰.

In addition to the existing tunnel, the following components are part of the upgraded tunnel system (Fig. 3): a 750 m long twin track section at the east portal (Årna); a track crossover between the new and existing tube, also in the eastern part of the tunnel; a 7030 m long single-track section from the west portal (Fløen) and 15 cross passages, which connect the two tubes every 500 m and house technical equipment.

### 2.2 Geology and Hydrogeology

The geological map and the geological longitudinal profile of the Ulriken Tunnel are shown in Fig. 5. The Ulriken Tunnel runs completely through rock. The rock mass consists of various hard rocks. At the east portal (Årna) are granite, syenite, monzonite, charnockite and granulite, after which anorthosite and granitic gneiss are encountered. The middle part consists of Augen gneiss and banded gneiss as well as migmatite, migmatic gneiss, quartzite and quartzitic schist. In the western part are amphibolite, gabbro, greenstone, mica schist and mylonitic gneiss.

| Hersteller/Manufacturer                        | Herrenknecht |
|--|--------------|
| Bohrdurchmesser/Boring diameter                | 9.30 m       |
| Vorschubkraft/Total thrust force               | 27 MN        |
| Anpresskraft/Boring thrust force               | 20 MN        |
| Gripperkraft/Gripping force                    | 72 MN        |
| Drehmoment/Torque                              | 10 MNm       |
| Losbrechmoment/Breakout torque                 | 16 MNm       |
| Drehzahl/Rotation speed                        | 0–6.4 rpm    |
| Durchmesser Rollenmeißel/<br>Disc cutter size  | 19"          |
| Anzahl Rollenmeißel/<br>Number of disc cutters | 62           |
| Bohrhub/Stroke                                 | 2 m          |

Tabelle 1 Technische Daten der Gripper-TBM (Auswahl)

Table 1 Technical data of the gripper TBM (selection)

Andrehfeier am 4. Dezember 2015, und der Durchschlag der TBM soll planmäßig im Herbst 2017 erfolgen. Die Rohbauarbeiten werden voraussichtlich im April 2019 enden. Danach wird die Bahntechnik installiert, und die Inbetriebnahme der neuen Röhre ist schließlich für 2020 vorgesehen.

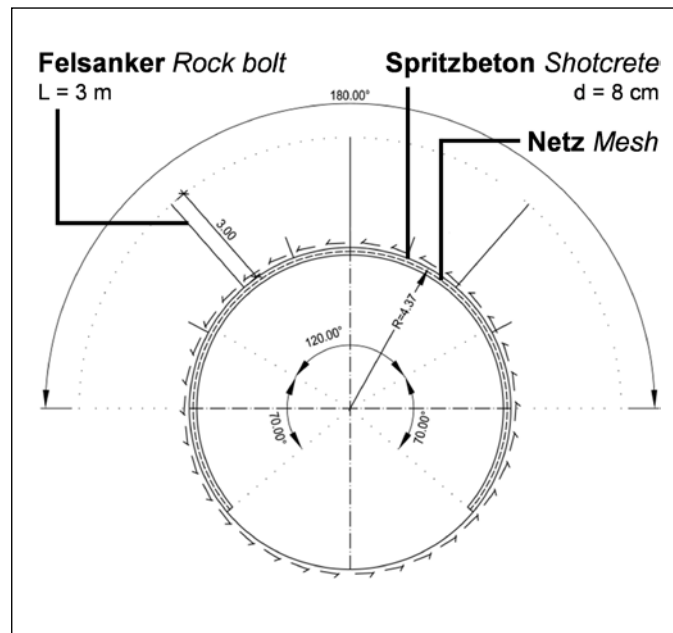
### 3 TBM-Projekt

#### 3.1 TBM

Aufgrund der deutlich geringeren Erschütterungen gegenüber dem Sprengvortrieb ist der TBM-Vortrieb für das geplante Bauvorhaben grundsätzlich günstig. Dieser Aspekt ist nicht nur für die Portalbereiche von Bedeutung (beide Portale befinden sich in bebautem Gebiet; siehe **Bild 4**), sondern auch generell aufgrund des geringen Abstands zwischen der neuen und der bestehenden Röhre, für welche ein Grenzwert für Erschütterungen von 15 mm/s definiert wurde. Da der TBM-Vortrieb praktisch erschütterungsfrei ist, kann mit dieser Vortriebsmethode auf die regelmäßigen, kurzen Betriebsunterbrechungen in der bestehenden Röhre verzichtet werden, die bei jeder Sprengung erforderlich gewesen wären. Ein weiterer Vorteil des TBM-Vortriebs gegenüber dem Sprengvortrieb ist der schonende Ausbruch. Dieser wirkt sich günstig auf die Stabilität des Hohlraums sowie auf den potentiellen Wasseranfall aus, da die Auflockerung des Gebirges rund um den Hohlraum kleiner ist.

Die Stabilität des Hohlraums wird während des TBM-Vortriebs mit den üblichen Sicherungsmitteln gewährleistet: Zum Einsatz kommen 3–4 m lange Felsanker in einem Raster von 1,5 m x 1,5 m oder 2 m x 2 m, Spritzbeton mit Stahlfaserarmierung in einer Dicke von 8–20 cm (als Alternative wurde auch einlagig oder zweilagig armerter Spritzbeton ausgeschrieben) und Stahlbögen (Profil: TH42 oder HEB140) in unterschiedlichen Kombinationen, je nach Sicherungskategorie. Insgesamt sind fünf Hauptsicherungsklassen definiert worden. **Bild 8** zeigt die Sicherungskategorie 2, die am meisten zur Anwendung kommen sollte. In der Sohle wird ein Sohlübbing eingebaut (**Bild 9**).

Auch wenn die Vortriebsarbeiten vollständig im Fels durchzuführen sind, ist das Vorhandensein von Lockergesteinen im Projektgebiet relevant aufgrund der potentiellen Oberflächensetzungen, die von einer Drainage des Gebirges respektive der Lockergesteine durch den Tunnelbau hervorgerufen werden könnten. Um unzulässige Setzungen und Setzungsdifferenzen an der Oberfläche zu vermeiden sowie im Allgemeinen die Oberflächengewässer zu schützen, wurden strikte Grenzwerte für den Wasseranfall



8 Sicherungskategorie 2 (Querschnitt)  
Support class 2 (cross-section)

The rock overburden varies between a minimum of 5 and maximum of 600 m. The unconfined compression strength fluctuates between 80 and 250 MPa. The abrasiveness is predominantly categorised as "high" (with a Cerchar Index of up to 5.5 according to the forecast). The jointing system consists of one to four joint sets and the foliation. The main joint set and the foliation run parallel, and the joints are spaced at more than 2 m. The expected geological conditions are generally good although there are many heavily jointed zones. "Very good" to "good" conditions (described according to the Norwegian classification system) are forecast for more than 50 % of the tunnel length, and

"adequate" conditions are forecast for another 40 %. The remaining 10 % is classified as "bad" to "very bad". The rock mass is generally dry or bears little water; relevant water ingress is only to be expected in heavily jointed zones.

#### 2.3 Construction Schedule

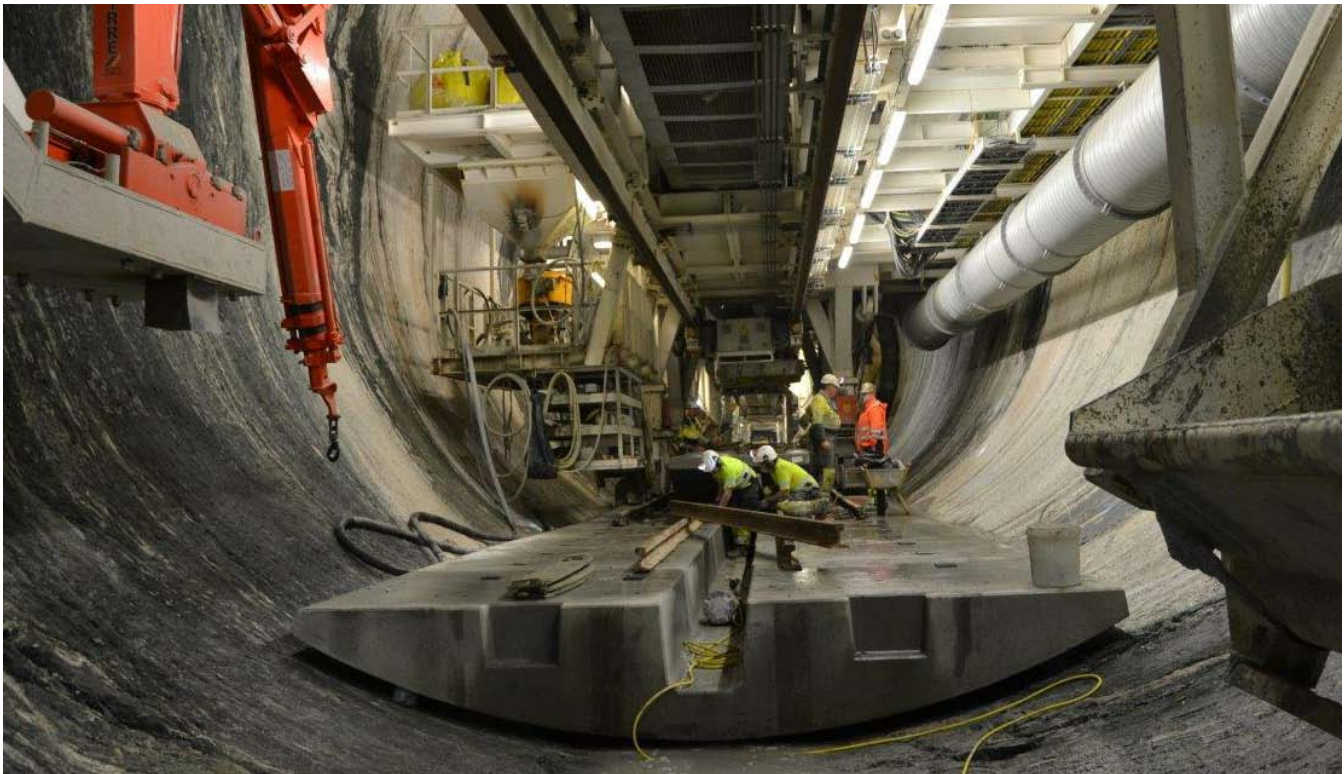
The tunnel is advanced from the east (Årna) to the west (Fløen), first descending (along the first 1.9 km) and then ascending. About 1 km already has been excavated by drill and blast (**Fig. 6**), and the remaining 6.8 km are currently being bored by a Herrenknecht gripper TBM (**Fig. 7**). Technical details of the TBM are listed in **Table 1**. The decision to excavate the first part of the tunnel by drill and blast is primarily based on the consideration that cross-sections have to be excavated with various geometries (see section 2.1) at the east portal (Årna). Furthermore, the tunnel could progress while the TBM was on order, and the drill and blast tunnel prepared the section for assembling and launching the TBM.

Preparatory works for tunnelling started in August 2014. Drill and blast excavation had started in November 2014 and lasted until August 2015. The start of the TBM was celebrated on December 4, 2015, and the breakthrough is scheduled for autumn 2017. Construction works should be completed by April 2019, followed by the installation of the rail technology. In 2020 the new tube is planned to be put into operation.

### 3 TBM Project

#### 3.1 TBM

Since it will cause much less vibration than drill and blast, the use of a TBM is generally favourable for the planned project. This aspect is not only significant at the portals (both are located in built-up areas; see **Fig. 4**) but also in general due to the close spacing of the



Quelle/Credit: [15]

9 Einbau eines Sohlübbings  
Installation of an invert segment

von 4–20 l/min/100 m sowohl für die Bau- als auch für die Betriebsphase definiert. Die zweite Röhre des Ulriken Tunnels wird sowohl während des Vortriebs als auch in der Betriebsphase nicht vollabgedichtet sein. Für die Reduktion des Wasseranfalls ist die Ausführung von vorausseilenden Abdichtungsinjektionen vorgesehen. Auf rund 15 % der Strecke beträgt der Grenzwert für den Wasseranfall 4 l/min/100 m (siehe **Bild 5**); dort sollen die vorausseilenden Abdichtungsinjektionen systematisch durchgeführt werden. In den anderen Bereichen werden diese nach Bedarf aufgrund der Ergebnisse der Vorauserkundungsbohrungen und des beobachteten Wasseranfalls angeordnet.

Die Gripper-TBM ist so ausgerüstet, dass der Einbau der geplanten Sicherungsmittel direkt hinter dem Bohrkopf möglich ist. Zudem ist auch der Einbau eines Spießschirms im Firstbereich in einem Sektor von rund 120 ° möglich (**Bild 10**). Für die Vorauserkundungsbohrungen ist eine maximale Bohrlänge von 50 m ab Vorderkante Ortsbrust vorgesehen. Die vorausseilenden Abdichtungsinjektionen werden einen 30 m langen Bereich vor der Ortsbrust rund um das ganze Profil (360 °) abdecken.

### 3.2 Normalprofil

Die Ausgangslage für die Entwicklung des Normalprofils für den TBM-Vortrieb stellte das Normalprofil für den Sprengvortrieb dar (**Bild 11a**). Dieses Normalprofil weist eine Höhe von 9,2 m und eine Breite von 9,1 m auf. Die resultierende Ausbruchfläche beträgt 76 m<sup>2</sup>. Das Normalprofil wurde für eine Schotterfahrbahn und für den Einsatz einer als Kettenwerk ausgeführten Fahrleitung

new and the existing tunnel tube, for which a vibration threshold of 15 mm/s has been specified. Since the TBM can work practically without vibration, this method of tunnelling does not require the regular short interruptions of services, which would be necessary for each blast.

Another advantage of TBM tunnelling compared to drill and blast is the more accurate excavation profile. This is of advantage for the stability of the excavated cavity as well as for potential water ingress since the rock mass around the tunnel is loosened less.

The stability of the cavity during the TBM drive is ensured by the usual support measures: installation of rock bolts (length: 3–4 m, pattern: 1.5 m x 1.5 m or 2 m x 2 m), 8–20 cm thick steel fibre reinforced shotcrete (shotcrete reinforced with one or two layers of mesh has also been specified as an alternative) and steel arches (profile: TH42 or HEB140) in various combinations depending on the support class. Altogether five main support classes have been defined. **Fig. 8** shows support class 2, which is expected to be used most. On the tunnel invert an invert segment is installed (**Fig. 9**).

Even though tunnelling is completely in rock, the presence of soil in the project area is also significant due to the potential surface settlement, which could be caused by the drainage of the rock mass or soils during tunnelling. In order to avoid impermissible surface settlement and settlement differences and also for the general protection of bodies of water at ground level, strict thresholds are set for water ingress (4–20 l/min/100 m), both for the construction and the operation phase. The second tube of the Ulriken Tunnel will not be fully waterproofed, neither during construction nor in operation.

konzipiert. Der Ausbau im Endzustand ist einschalig nach der norwegischen Bauweise und teilabgedichtet.

Im Laufe der Erarbeitung des TBM-Projekts optimierte man das Normalprofil kontinuierlich, um das kleinstmögliche Normalprofil ausschreiben zu können. Das Ergebnis stellt **Bild 11b** dar. Der Bohrdurchmesser beträgt 8,7 m, was zu einer Ausbruchsfläche von 59 m<sup>2</sup> führt. Maßgebend für die Reduktion der Ausbruchsfläche gegenüber dem Sprengvortrieb um 17 m<sup>2</sup> (mehr als 20 % der ursprünglichen Ausbruchsfläche) waren, nebst zahlreichen geometrischen Optimierungen, die Anordnung einer festen Fahrbahn mit einer daraus resultierenden deutlichen Reduktion der erforderlichen gesamten Fahrbahnbreite sowie einer Stromschiene, was wiederum zu einer Verminderung der Höhe des erforderlichen Lichtraumprofils führte. Der Ausbau im Endzustand ist zweischalig und teilabgedichtet, mit einer Innenschale aus Ortbeton.

Das Normalprofil, das für die Ausführung gewählt wurde, ist im **Bild 11c** dargestellt und weist einen Bohrdurchmesser von 9,3 m auf. Die damit verbundene Vergrößerung der Ausbruchsfläche auf 68 m<sup>2</sup> ist auf zwei Entscheide der Bauherrschaft zurückzuführen. Zum einen hat man auf den Einsatz einer Stromschiene verzichtet. Die Fahrleitung wird, wie ursprünglich geplant, als

In order to reduce water ingress, the performance of waterproofing pre-grouting is provided. In sections where the threshold for water ingress is 4 l/min/100 m (about 15 % of the distance, **Fig. 5**), it is planned to perform systematic waterproofing pre-grouting. In other sections, this will be carried out as required from the results of probe drilling and observed water ingress.

The gripper TBM is equipped to enable the installation of support measures directly behind the cutterhead. It is also possible to install a 120 ° forepoling canopy in the crown (**Fig. 10**). Probe drilling is possible with a maximum length of 50 m ahead of the face. The pre-grouting will cover a zone 30 m long in front of the face around the entire profile (360 °).

### 3.2 Standard Profile

The starting point for the development of the standard profile for TBM tunnelling was the standard drill and blast profile (**Fig. 11a**). This standard profile has a height of 9.2 m and a width of 9.1 m, giving an excavated cross-sectional area of 76 m<sup>2</sup>. The standard profile was designed for a ballast track bed and the use of overhead power (as catenary). The final lining is installed as a single layer according to the Norwegian construction method and partially waterproofed.

## Putting everything together perfectly.

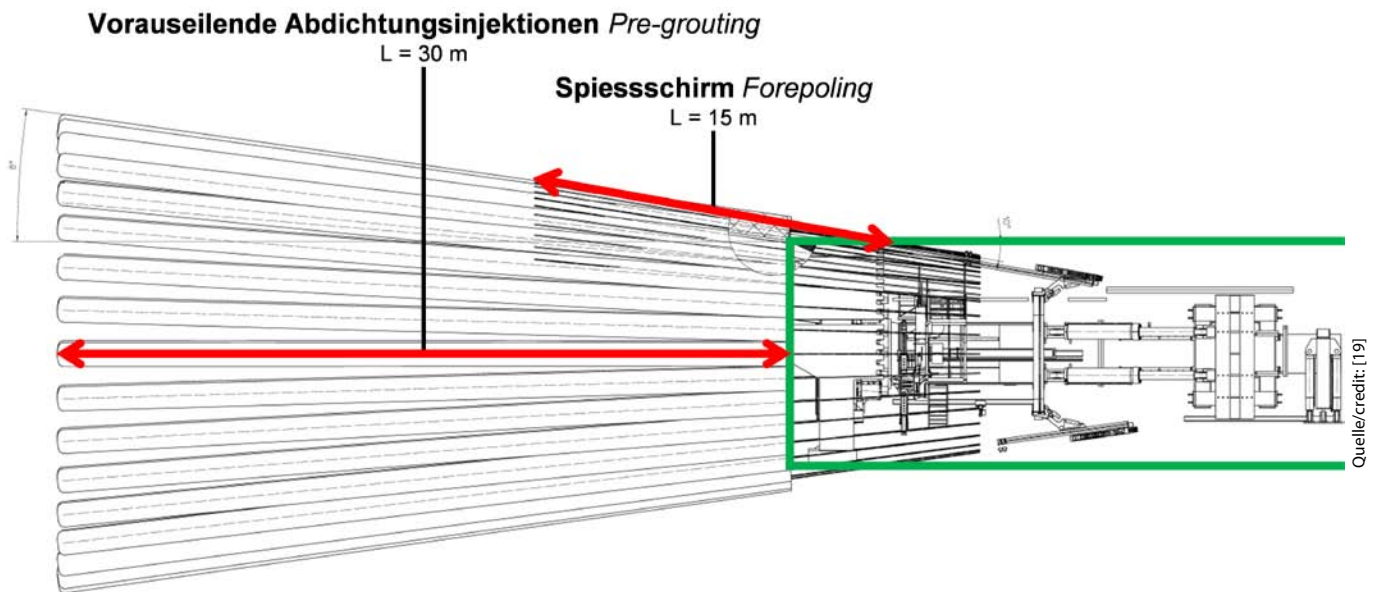


**Guided by VMT.** In the right place at the right time: segments made to measure. With **SDS** from VMT, the leading system solution for quality and logistics in segment manufacture, you'll save time, staff and storage space. **SDS** enables you to compile comprehensive documentation and to plan ahead effectively for segment production, transport and installation on site.

Watch SDS product film: [sds.vmt-gmbh.de](https://sds.vmt-gmbh.de)

**VMT**





10 Vorauseilende Abdichtungsinjektionen während des TBM-Vortriebs (Längsschnitt)  
Pre-grouting during the TBM drive (longitudinal section)

Kettenwerk ausgeführt, da die Lösung mit Stromschiene für die Projektierungsgeschwindigkeit der zweiten Röhre des Ulriken Tunnels von 160 km/h in Norwegen noch nicht bewilligt ist. Zum anderen wird der Ausbau, ebenfalls wie ursprünglich geplant, nach der norwegischen Bauweise (**Bild 12a**) und nicht zweischalig mit Innenschale aus Ortbeton (**Bild 12b**) ausgeführt – trotz der klaren Vorteile, welche die zweite Lösung hat (insbesondere in Bezug auf statische Wirkung und Dauerhaftigkeit [24]).

### 3.3 Ausbruchsmaterial

Eine Herausforderung stellte auch das Ausbruchsmaterial dar. Es ist allgemein bekannt, dass das Ausbruchsmaterial eines TBM-Vortriebs bei denselben geologischen Bedingungen mehr Feinanteile als dasjenige eines Sprengvortriebs enthält. Zudem ist die Form der Felsstücke mehr lamellenartig. Diese beiden Unterschiede verschlechtern die Ausgangslage für die Weiterverwendung respektive für den Weiterverkauf des Ausbruchsmaterials in Norwegen, wo Betonzuschläge verhältnismäßig kostengünstig zu erhalten sind. Das Ausbruchsmaterial wird in diesem Fall von der Stadt Bergen abgenommen und in einer ersten Phase in einer Zwischendeponie gelagert. Es soll später zur Abdeckung von kontaminierten Fjordbecken verwendet werden.

### 3.4 Erste Erfahrungen

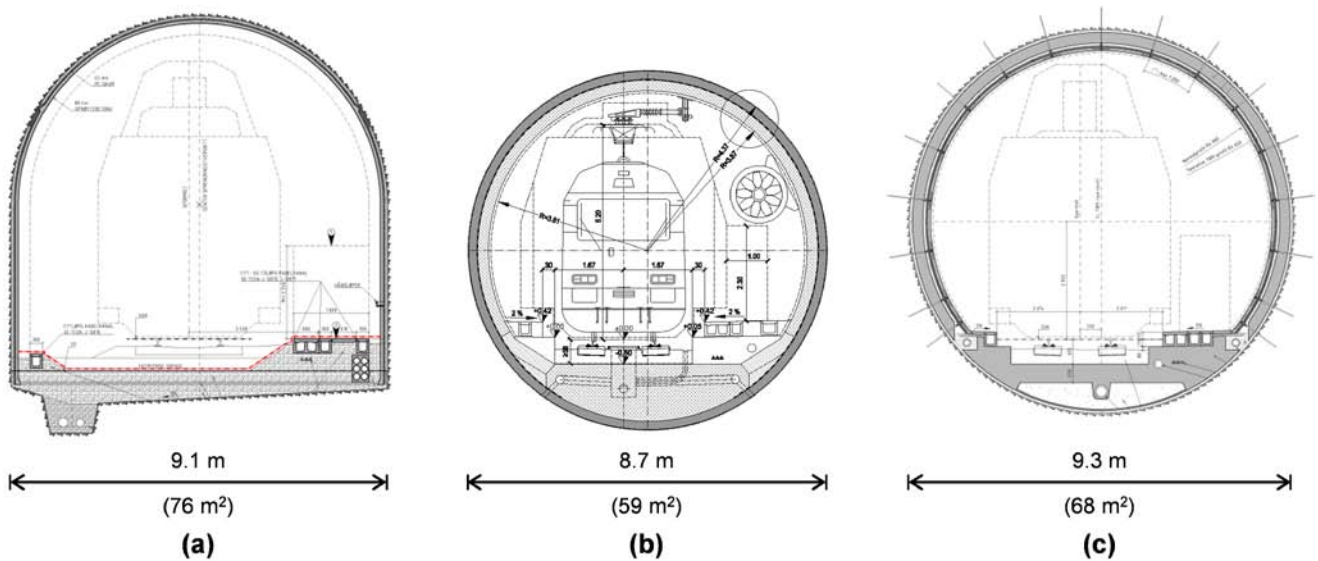
Die ersten Erfahrungen mit dem TBM-Vortrieb sind positiv. Der Vortrieb erfolgte bisher in hartem, stabilem Fels (**Bild 13**). Nach der üblichen „Lernphase“ am Anfang des Vortriebs mit geringer Ausnutzung der TBM konnten anschließend bereits gute Vortriebsleistungen erreicht werden: Die zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrages beste Vortriebsleistung beträgt 23,5 m/AT respektive 80 m/Woche; die Bohrgeschwindigkeit liegt zwischen 1,2 und 2,5 m/h [25].

In the course of design work for the TBM alternative, the standard profile was continually optimised in order to specify the smallest possible standard profile in the tenders. The final result is shown in **Fig. 11b**. The bored diameter is 8.7 m, giving an excavated cross-sectional area of 59 m<sup>2</sup>. The reduction of area compared to drill and blast by 17 m<sup>2</sup> (more than 20 % of the original excavated area) was due, in addition to numerous geometrical optimisations, to the provision of ballastless track (with a considerable reduction of the width of the track) and conductor rail (with a considerable reduction of the required height of the structure gauge). The lining in the completed state consists of two layers with an inner lining of in-situ concrete, and is partially waterproofed.

The standard profile selected for construction is shown in **Fig. 11c** and has a bored diameter of 9.3 m. The associated enlargement of the excavated area to 68 m<sup>2</sup> is the result of two decisions by the client. Firstly, it was decided not to use a conductor rail. The overhead will, as originally planned, use a catenary since the solution with a conductor rail is not approved in Norway for the 160 km/h design speed of the second tube of the Ulriken Tunnel. In addition the lining, also as originally planned, will be designed with the Norwegian method of construction (**Fig. 12a**) and not as two layers with an in-situ concrete inner lining (**Fig. 12b**) – despite the clear advantage of the latter solution (particularly regarding the structural effect and durability [24]).

### 3.3 Excavated Material

The excavated material also poses a challenge. It is generally known that muck from a TBM contains more fines than that from a drill and blast under the same geological conditions. The form of the rock fragments is also more plate-shaped. These two differences worsen the starting conditions for recycling or resale of the excavated material in Norway, where concrete aggregates can be purchased relatively



Quelle/credit: (a) [20], (b) [21], (c) [22]

11 Normalprofile: (a) Sprengvortrieb; (b) TBM-Vortrieb (mit Stromschiene und Inneschale); (c) TBM-Vortrieb (mit Kettenwerk und norwegischem Ausbau)  
Standard profile: (a) Drill and blast; (b) TBM (with conductor rail and inner lining); (c) TBM (with catenary and Norwegian lining)

**BGL** 2015  
BAUGERÄTELISTE

NEU

NEUAUFLAGE 2015

**Jetzt neu**

Die BGL Baugeräteliste mit den Mittleren Neuwerten 2014 – als Buch, Online-Version und csv-Daten

**BGL 2015 Online**

immer auf dem neuesten Stand  
EUR 299,00 p.a.

**Bestellen bei Profil-Buchhandlung im Bauverlag**

Bauverlag BV GmbH  
Avenwedder Straße 55  
33311 Gütersloh

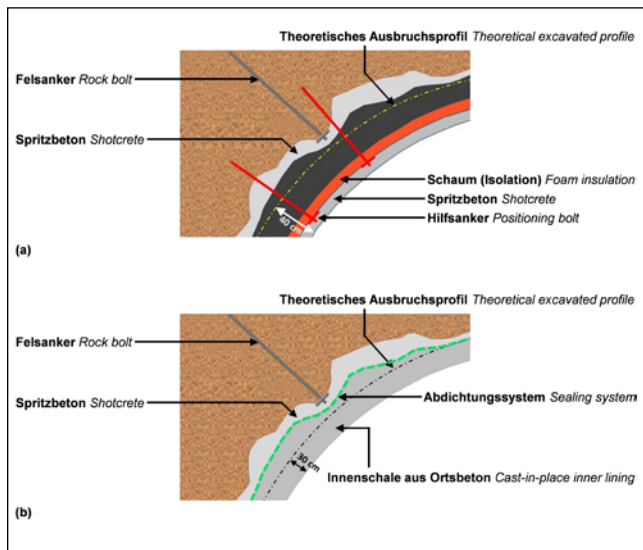
Tel.: 05241 80 88957  
profil@bauverlag.de  
www.profil-buchhandlung.de/bgl

JETZT BESTELLEN!

**PROFIL**  
BUCHHANDLUNG IM BAUVERLAG

**DIE DEUTSCHE  
BAUINDUSTRIE**  
BAUEN UND SERVICES

**bau|||verlag**  
Wir geben Ideen Raum




Quelle/Credit: (a) [23], (b) [24]

12 (a) Norwegischer Ausbau; (b) Zweischaliger Ausbau mit Innenschale aus Ortsbeton

(a) Norwegian lining; (b) Two-layer lining with inner lining of in-situ concrete

#### 4 Schlussbemerkungen

Das Projekt „Zweite Röhre Ulriken Tunnel“ stellt einen Meilenstein des norwegischen Tunnelbaus dar: Zum ersten Mal wird eine TBM für den Vortrieb eines Bahntunnels eingesetzt; mit 9,3 m weist die gewählte Gripper-TBM den bisher größten Bohrdurchmesser in Norwegen auf. Der laufende TBM-Vortrieb wird voraussichtlich bis im Herbst 2017 dauern und wird mit anderen Projekten dazu beitragen, die TBM-Technologie nach Norwegen zurückzubringen nachdem es Anfang der 1990er-Jahre zu einer vorübergehenden Unterbrechung der TBM-Einsätze in diesem Land kam.

Es ist auch erwähnenswert, dass zwei Großprojekte in Norwegen, die den Einsatz von TBM vorsehen – nämlich die in diesem Beitrag beschriebene zweite Röhre des Ulriken Tunnels und der Follobanen Tunnel [7] [8] – maßgebend von schweizerischen Ingenieurbüros geprägt wurden. 



Quelle/Credit: [15]

13 Der TBM-Vortrieb im Ulriken Tunnel erfolgte bislang in hartem, stabilem Fels

TBM drive in the Ulriken Tunnel: So far the excavation has taken place in hard, stable rock


cheaply. The excavated material in this case will be accepted by the City of Bergen for intermediate storage and used later to cover contaminated fjord basins.

#### 3.4 Initial Findings

The initial findings with the TBM drive are positive. So far the excavation has taken place in hard, stable rock (**Fig. 13**). Following the customary “learning phase” at the start of the drive with low TBM utilization, good driving performances have been achieved: when this report was penned, the best rate of advance amounted to 23.5 m/day or 80 m/week; the boring rate ranged from 1.2 to 2.5 m/h [25].

#### 4 Final Comments

The second tube of the Ulriken Tunnel project represents a milestone in Norwegian tunnelling. For the first time a TBM is being used to bore a railway tunnel, and with a diameter of 9.3 m the gripper TBM will have the largest diameter ever bored in Norway. The TBM drive is scheduled to be finished in autumn 2017 and together with other projects will contribute to bringing TBM technology back to Norway after the temporary interruption of TBM applications in the country at the start of the 1990s.

It is also worth mentioning that two major projects in Norway, which will use TBMs – the second tube of the Ulriken Tunnel described in this paper and the Follobanen Tunnel [7] [8] – have been greatly influenced by Swiss consultants. 

**Literatur & Quellen/References & Credits**

- [1] Wikipedia (2015): Strecke der Bergensbanen; <http://de.wikipedia.org/wiki/Bergensbanen>
- [2] Google Maps (2015): Ulriken Tunnel; <https://maps.google.com>
- [3] Holen, H. (2002): TBM vs. drill & blast tunnelling; Norwegian TBM tunnelling, Norwegian Tunnelling Society, Publication no. 11, 95–98
- [4] Hansen, A. M. (2002): The history of TBM tunnelling in Norway; Norwegian TBM tunnelling, Norwegian Tunnelling Society, Publication no. 11, 11–19
- [5] Dammyr, Ø. B. (2011): The use of TBM in future Norwegian infrastructure projects; PhD project, preliminary description
- [6] Wallis, S. (2013): Hydro brings TBMs back to Norway; Tunneltalk – Direct by design, [tunneltalk.com](http://tunneltalk.com) (26.09.2013)
- [7] Jernbaneverket (2012): The Follo Line Project; International Presentation Conference, Oslo
- [8] Gollegger, J.; Ramoni, M.; Soll, A. (2013): Follo Line Project, Oslo/N – drill & blast versus TBM; Swiss Tunnel Congress, FGU-Fachtagung für Untertagbau, Genf, 134–139, FGU Fachgruppe für Untertagbau Esslingen
- [9] Anonymus (2014): Skanska und Strabag bauen neuen Ulriken-Tunnel mit TBM; Skand.Baunews – Nachrichten aus der skandinavischen Bauindustrie (28.04.2014)
- [10] Projektdokument: Plan UUT-00-B-12000, Rev. 01 (28.11.2012)
- [11] Projektdokument: Plan UUT-00-B-12001, Rev. 01 (28.11.2012)
- [12] Jernbaneverket (2012): Strekningen Bergen – Årna; Jernbaneverket Informer (Dezember 2012)
- [13] Projektdokument: Plan UUT-00-V-12000, Rev. 01 (28.11.2012)
- [14] Projektdokument: Plan UUT-00-V-12008, Rev. 00 (27.05.2013)
- [15] Arbeitsgemeinschaft „Skanska Norge AS + Strabag AG“, Bergen
- [16] Herrenknecht AG, Schwanau
- [17] Projektdokument: Technical specifications and layout information TBM S-935 (28.10.2014)
- [18] Projektdokument: Plan UUT-00-V-12381, Rev. 01B (21.10.2013)
- [19] Projektdokument (Herrenknecht AG, Schwanau): Plan 4328-A-019-90, Rev. 0 (08.09.2014)
- [20] Projektdokument: Plan UUT-00-F-12103, Rev. 01 (28.11.2012)
- [21] Projektdokument: Plan UUT-00-F-12303, Rev. 00B (21.10.2013)
- [22] Projektdokument: Plan UUT-00-F-12308, Rev. 00 (06.10.2014)
- [23] Reynolds, P. (2007): Finding fault at Hanekleiv; Tunnels and Tunnelling International (March 2007), 14–16
- [24] Ramoni, M.; Matter, J. (2013): Inner lining in traffic tunnels; Extreme crossings and new technologies, 6<sup>th</sup> Symposium on strait crossings, Bergen, 142–152, Statens Vegvesen Oslo & Tekna Oslo
- [25] Angaben: Arbeitsgemeinschaft „Skanska Norge AS + Strabag AG“, Bergen



Als Pioniere in der Abdichtungstechnik entwickeln wir Produkte für die höchsten und trockensten Ansprüche Ihrer Tunnelprojekte – denn Trockenheit heisst auch Sicherheit! Lösungsorientierte und massgeschneiderte Abdichtungskonzepte sichern den Erfolg!