

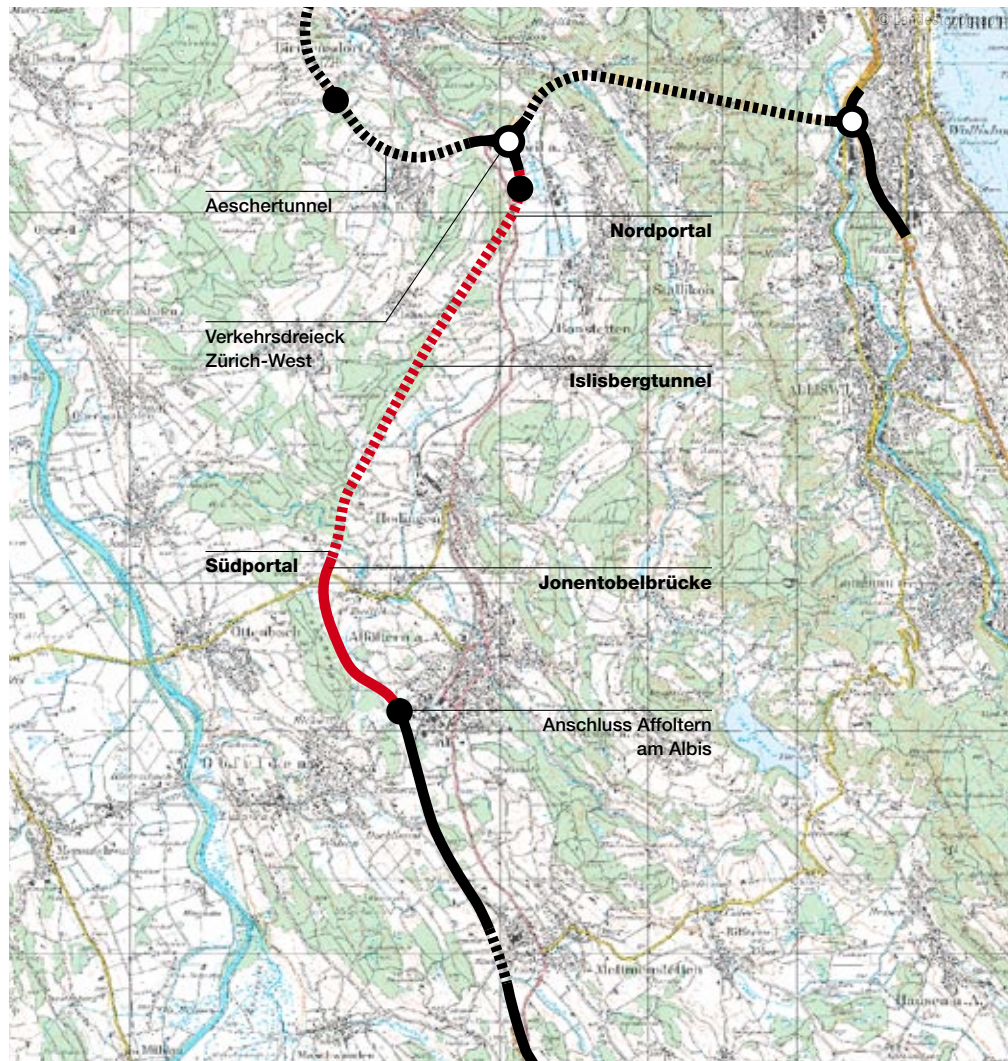
### Projektierung des Islisbergtunnels

Die zwei Röhren des 4,95 km langen Islisbergtunnels wurden mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) vorgetrieben. Die Vortriebsleistung des TBM-Vortriebes betrug 100 m pro Woche. Für 25 m Innenausbau (Abdichtung, Innengewölbe, Zwischendecke, Bankette mit Schlitzrinnen und Randsteinen) benötigte man einen Tag. Die Bauarbeiten konnten termingerecht abgeschlossen und die Kosten eingehalten werden.

Der 4,95 km lange Islisbergtunnel ist Bestandteil der A4 im Knonaueramt. Er besteht aus zwei Röhren mit je zwei Fahrstreifen (Bild 1). Bei beiden Portalen und in der Tunnelmitte sind Zentralen für die elektromechanischen Einrichtungen angeordnet.

Der Islisbergtunnel liegt mehrheitlich im Fels der Oberen Süsswassermolasse (Bild 2). Der Tunnelvortrieb im Fels erfolgte mechanisch mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM). Beide Röhren wurden nacheinander fallend von Norden aus nach Süden aufgeföhren.

1 | Übersicht Islisbergtunnel.  
Overview Islisberg tunnel.



### The Islisberg Tunnel Project

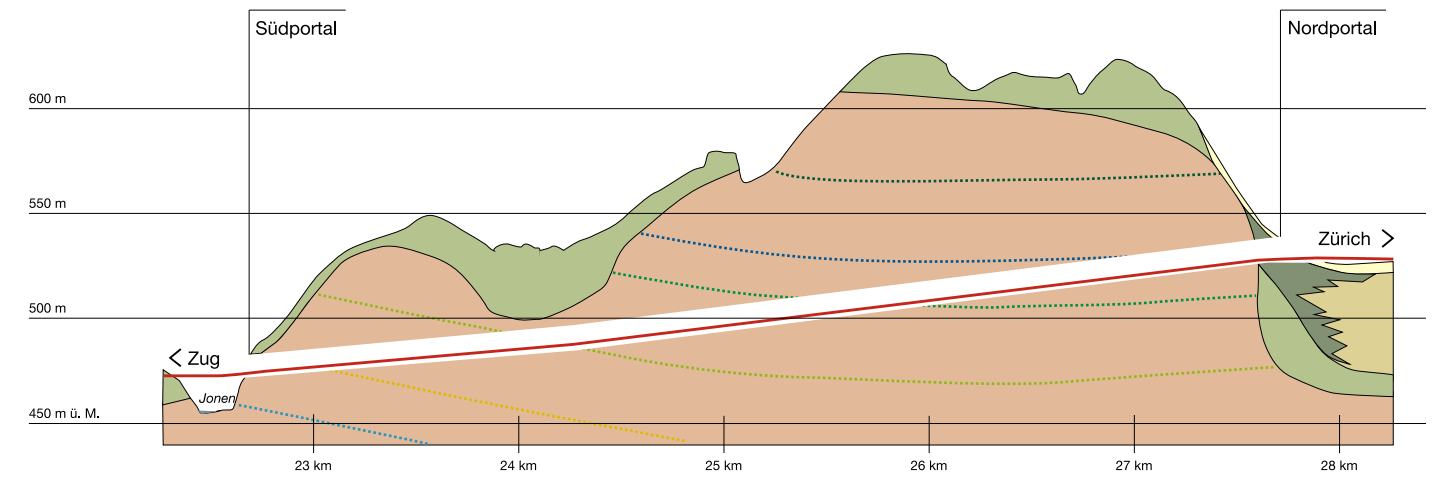
The two tubes of the 4.95 km long Islisberg tunnel were driven with a tunnel boring machine (TBM) at a weekly rate of 100 m. 25 m of finishing work (waterproofing, inner lining, intermediate floor, with a slotted channel walkway and kerbstones) required on average one day. The construction work could be completed on time within the cost budget.

The 4.95 km long Islisberg tunnel is part of the national highway A4 in the Knonau district (Fig. 1). It consists of two tubes each with two traffic lanes. The rooms housing the electromechanical equipment are located at both portals and in the middle of the tunnel.

The Islisberg tunnel lies primarily in rock of the upper freshwater molasse (Fig. 2). The tunnel drive in rock was carried out using a TBM. The tunnel tubes were driven consecutively from north to south, with a downward slope. At the north portal over a length of 35 m the east tube passes through soil. The top heading was excavated under a jet-grouted arch, while the bench was excavated using the TBM. At the south portal, due to the shallow rock cover and the highly weathered molasse, over a length of 36 m counter of the top heading was carried out with the roof protected by a pipe umbrella.

### Standard profile

The two circular tunnel tubes with an excavated diameter of 11.85 m run in parallel and are spaced 25 m apart (Fig. 3). The primary lining consists of 30 cm thick and 2 m wide ring segments. The prefabricated service duct elements are 25–30 cm thick and of 2.5 m length. The service duct was backfilled by cement-stabilised spoil material. For waterproofing, a 2 mm thick PVC sheet with a non-woven textile laminate of 500 g/m<sup>2</sup> was selected (partial waterproofing). The inflowing groundwater seeps through the joints between the concrete segments into the side drainage channels of the service duct and every 75 m it is discharged into the groundwater drainage pipe that is concreted into the invert. By means of a slotted channel the highway wastewater is collected every 50 m, siphoned into the shafts and discharged into the collector pipe (Ø 400 mm) that is housed in the service duct. Maintenance work on the flushing pipes installed in the walkways can be carried out from the carriageway every 75 m.



Beim Nordportal liegt die Oströhre auf 35 m Länge im Lockergestein. Der Kalottenausbruch erfolgte hier unter einem Jettingewölbe. Die Strosse wurde mit der TBM abgebaut. Beim Südportal wurde wegen der geringen Felsüberdeckung und der stark verwitterten Molasse auf einer Länge von 36 m ein Kalottengegenvortrieb im Schutze eines Rohrschirmes erstellt.

The electromechanical supply of the traffic space and the air extraction duct is at 50 m interval from cable tubes connected to the service duct.

The 30 cm thick inner lining is in blocks 12.5 m long. The horizontal intermediate floor slab is 28 cm thick. It consists of self-compacting concrete placed in steps of 25 m, which corresponds to the length of two lining blocks.

### Normalprofil

Die beiden kreisförmigen Tunnelröhren mit Ausbruchdurchmesser von 11,85 m verlaufen parallel in einem Abstand von 25 m (Bild 3). Die Aussenschale besteht aus einem 30 cm starken und 2 m breiten Tübbingring. Die vorfabrizierten Werkleitungskanalelemente sind 25–30 cm stark, die Länge beträgt 2,5 m. Der Werkleitungskanal wurde seitlich mit stabilisiertem Ausbruchmaterial hinterfüllt. Als Abdichtung wurde eine 2 mm starke PVC-Folie mit einem aufkaschierten Vlies von 500 g/m<sup>2</sup> gewählt (Teilabdichtung). Das anfallende Bergwasser fließt durch die Tübbingfugen in die seitlichen Rinnen des Werkleitungskanals und wird alle 75 m in die Bergwasserleitung, die in der Sohle einbetoniert ist, eingeleitet. Mit einer Schlitzrinne

### Tunnel safety and ventilation system

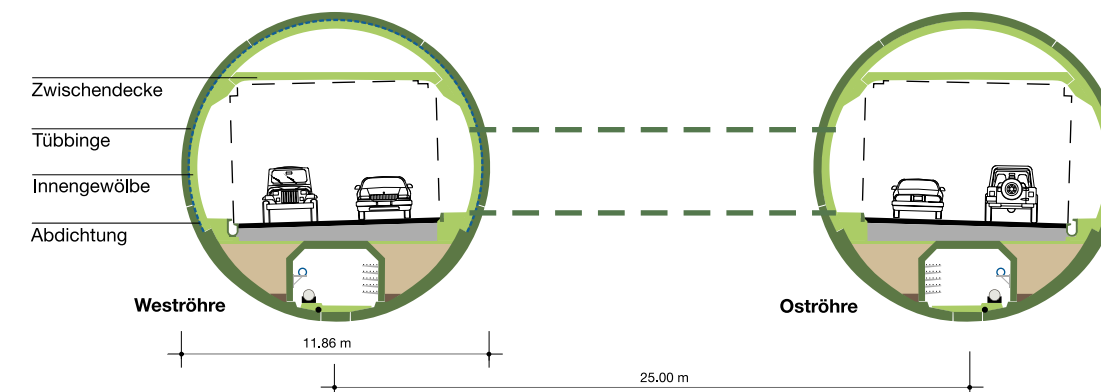
A pedestrian cross passage between the tunnel tubes is provided every 300 m, which serves as an escape route in the case of fire (Fig. 4). Every third cross passage can take vehicles for the emergency services. In the middle of the tunnel in both tubes there are passing bays. The SOS recesses are located every 150 m on the outer side of the carriageway. In the intermediate floor, which separates the traffic space from the exhaust air duct, smoke suction louvres are provided every 100 m. In the normal operating state the tunnel is ventilated along its axis. In the case of fire the three louvres nearest to the fire are opened and the fire gases are sucked out. This is accomplished using

### 2 | Geologisches Längenprofil.

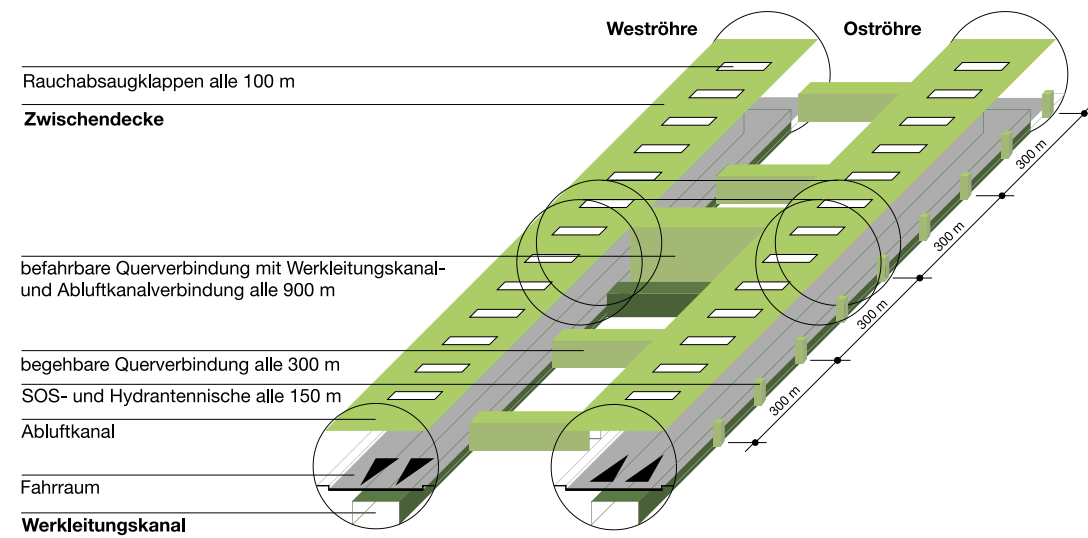
Geological profile along

- Moräne
- Obere Süsswassermolasse
- verschwemmte Moräne
- Seeablagerungen
- Gehängelehm

- Süsswasserkalk LN Albis
- Leimbacher Bentonit-Horizont
- Süsswasserkalk LN Rütshlibach
- Süsswasserkalk LN Entlisberg
- Süsswasserkalk LN Höckler
- Künschter Benoit-Horizont



3 | Normalprofil Islisbergtunnel.  
Standard cross section of Islisberg tunnel.

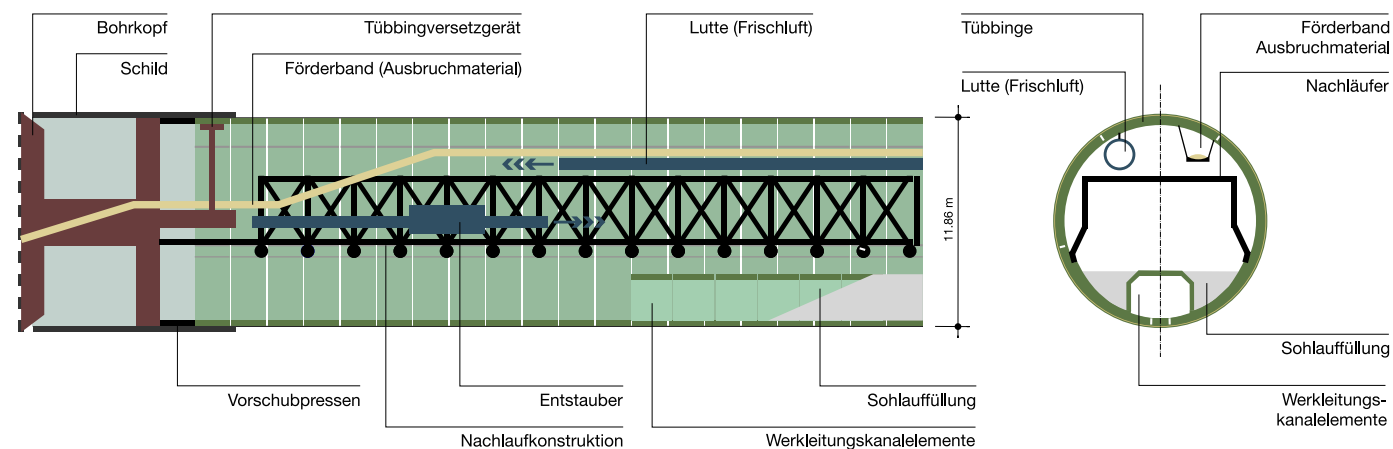


**4 | Tunnelsicherheit, schematische Darstellung.**  
Tunnel safety, schematic representation.

wird das Fahrwasser gefasst, alle 50 m in den Schächten siphoniert und in die Sammelleitung ( $\varnothing$  400 mm), die sich im Werkleitungskanal befindet, eingeleitet. Von der Fahrbahn aus kann diese alle 75 m durch im Bankett eingebaute Spülleitungen unterhalten werden. Die elektromechanische Versorgung des Fahrerhauses und des Abluftkanals erfolgt alle 50 m über Kabelrundschräge aus dem Werkleitungskanal.

Das 30 cm starke Innengewölbe weist eine Blocklänge von 12,5 m auf. Die horizontale Zwischendecke weist eine Stärke von 28 cm auf. Sie wurde mit sogenanntem «SCC-Beton» (Self Compacting Concrete) in Etappen von 25 m erstellt, was der Länge von zwei Gewölbeblöcken entspricht.

**5 | Schematische Darstellung der Tunnelbohrmaschine (TBM).**  
Schematic representation of tunnel boring machine (TBM).



two ventilators, which are installed in the ventilation control rooms at the portals. To ensure a minimal air speed in the traffic space jet fans are provided in the cut-and-cover portal sections and at the middle of the tunnel. The supply and removal pipes are located in the accessible service duct below the carriageway. Access to the two service ducts is via the control rooms and via the vehicle cross passages. The operating and safety equipment includes the traffic guidance system, traffic control, devices to measure pollution levels and poor visibility, fire detectors, signalisation, emergency telephone, live traffic cameras for real-time television pictures and radio equipment.

**TBM drive and construction procedure**

By rotating the cutter head equipped with 70 roller bits ( $\varnothing$  17 inch), the rock was loosened and removed using shovels to the conveyor belt (Fig. 5). The spoil material was conveyed a maximum distance of 5 km through the tunnel directly to the material han-

mitte sind in beiden Röhren Ausstellbuchten angeordnet. Die SOS-Nischen befinden sich alle 150 m auf der Fahrbahnaussenseite. In der den Fahrraum vom Abluftkanal trennenden Zwischendecke sind alle 100 m Rauchabsaugklappen angeordnet. Im normalen Betriebszustand wird der Tunnel längs gelüftet. Im Brandfall werden die drei zum Brandort nächstgelegenen Klappen geöffnet und Brandgasse abgesaugt. Dies geschieht mit zwei Ventilatoren, die in den Lüftungszentralen bei den Portalen installiert sind. Zur Gewährleistung einer minimalen Luftgeschwindigkeit im Fahrraum sind in den Tagbaustrecken und in Tunnelmitte Strahlventilatoren angeordnet. Die Ver- und Entsorgungsleitungen befinden sich im begehbaren Werkleitungskanal unter der Fahrbahn. Der Zugang zu den beiden Werkleitungskanälen erfolgt über die Zentralen und über die befahrbaren Querschläge. Die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung umfasst das Verkehrsleitsystem, die Verkehrssteuerung, die Messung des Schadstoffgehaltes und der Sichttrübung, die Branddetektion, die Signalisation, Notruftelefon, Verkehrsfernsehen und Funkanlagen.

**TBM-Vortrieb und Bauablauf**

Durch das Drehen des mit 70 Rollenmeisseln ( $\varnothing$  17 Zoll) bestückten Bohrkopfes, wurde der Fels gelöst und via Räumerschaufeln zum Förderband entleert

**6 | Montage Schneidrad.**  
Mounting of cutting head.



**7 | Tübbingeinbau.**  
Installation of tunnel ring segments.



**8 | Unten: Einbau Werkleitungskanal.**  
Below: Construction of service duct.





**9 | Als Abdichtung wurde eine PVC-Folie mit einem aufkaschierten Vlies verwendet.**  
For waterproofing a PVC sheet with a non-woven textile laminate was selected.

(Bild 5). Das Ausbruchmaterial wurde mittels Bändern über eine maximale Distanz von 5 km durch den Tunnel direkt zur Bahnverladeanlage Filderer transportiert. Nach jeweils 2 m Vortrieb wurden die fünf 30 cm starken Tübbingelemente im Schutz des Schildes versetzt (Bild 7). Die Tübbinge und Werkleitungskanalelemente wurden im Werk des Unternehmers vorfabriziert, gelagert und mit der Bahn «just in time» zur Bahnverlade-

ding plant Filderer for rail transport. After each 2 m advance the five 30 cm thick tunnel lining segments were put in place, protected by the shield (Fig. 7). The segments and the service duct elements were prefabricated in the contractor's factory, stored and transported by rail "just in time" to the material handling plant Filderer. There they were transferred from the railway wagon to special rubber-tyre vehicles and



**10 | Das Innengewölbe war ein Bestandteil der Innenausbauarbeiten.**  
The inner lining was part of the interior finishing.

anlage Filderer transportiert. Dort wurden sie vom Bahnwagen auf spezielle Pneufahrzeuge umgeladen und zur Einbaustelle gebracht (Bild 8). Parallel zu den Vortriebsarbeiten wurden hinter der TBM die begehbare und befahrbare Querschläge, die Zentrale «Mitte», die Ausstellbuchten und die SOS-Nischen sprengtechnisch oder mechanisch mittels Teilschnittmaschine aus- gebrochen.

Der Innenausbau der Weströhre erfolgte parallel zum Vortrieb der Oströhre. Die Innenausbauarbeiten bestanden aus der Abdichtung (Bild 9, 10), dem Innengewölbe, der Zwischendecke (Bild 11) und den Strassenbauarbeiten (Leitungen, Koffer, Belag und Randabschlüsse).

**Statische Bemessung**

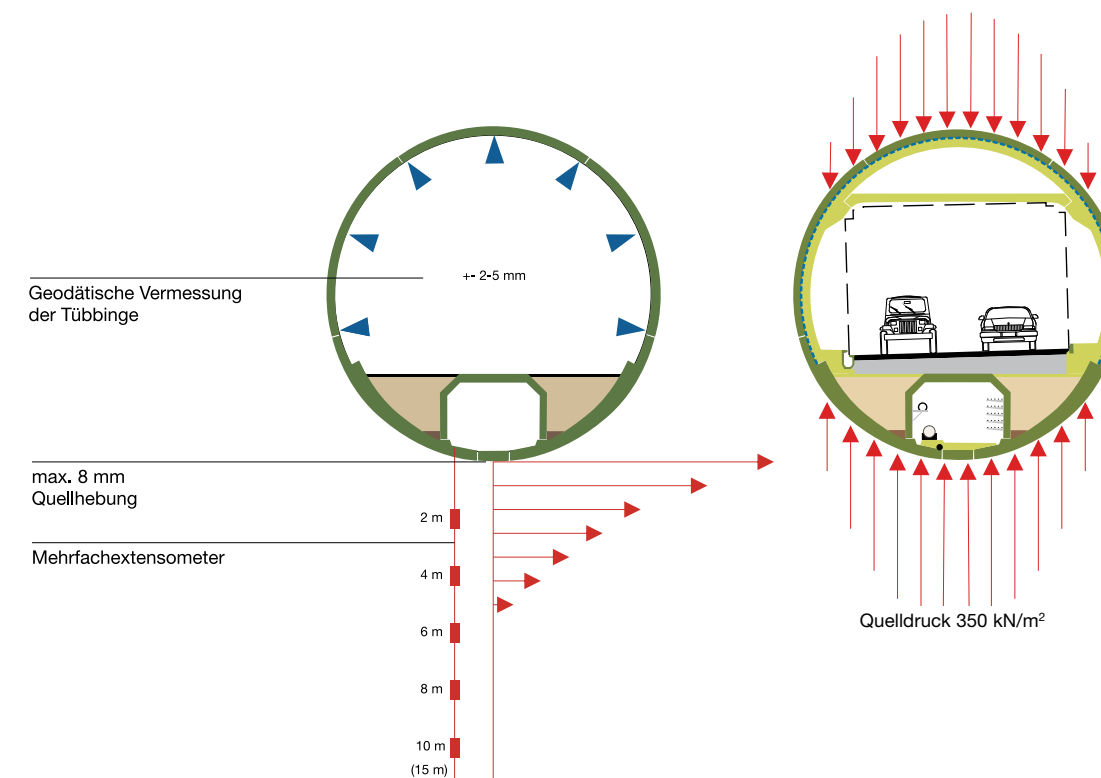
Die Felssicherung wird durch den fünfteiligen Tübbingring mit dem Schlussstein sichergestellt. Die Tübbinge sind 30 cm stark, 2 m breit und mit ca. 80 kg/m<sup>3</sup> Stahl bewehrt. Der Tübbingring wurde auf einen Auflockerungsdruck von 200 kN/m<sup>2</sup> und einen Queldruck von 350 kN/m<sup>2</sup> bemessen (Bild 12). Im Weiteren wurden die Tübbinge auf die verschiedenen Handlings- und Transportfälle sowie auf die maximale Vortriebskraft (Presskraft Schild) bemessen.

Die Zwischendecke wurde als einfache in Quer- richtung tragende Decke dimensioniert. Als Einwirkun-

brought to the construction site (Fig. 8). Parallel to the work on the tunnel, behind the TBM, cross passages (for pedestrians or vehicles), the control room "Middle", the passing bays and the SOS recesses were excavated either with the drill-and-blast method or mechanically using a road header.

The internal finishing work on the west tube was carried out parallel to the tunnel drive for the east tube. It consisted of waterproofing (Fig. 9, 10), constructing the inner lining, intermediate floor (Fig. 11) and the

**11 | Betonieren der Zwischendecke.**  
Concreting the intermediate floor.



**12 | Links: Überwachung des Tragringes (Tübbingring).**  
Left: Monitoring of the tunnel ring (concrete segments).

**Rechts: Beanspruchung Tübbingring.**  
Right: Loads on the ring segments.

13 | Südportal  
South portal



gen sind Nutzlasten, Luftsog der Brandlüftung, Explosion und Druckschläge von Lastwagen berücksichtigt. Die Auflagernocken sind bewehrt. Als Auflagerung der Zwischendecke ist auf dem Auflagernocken ein Gleitlager eingebaut. Um langfristige Gewölbeverformungen ohne Zwängungen aufzunehmen, wurde zwischen In-

**Kosten pro Tunnelmeter.**  
Costs per metre of tunnel.

21%	TBM-Vortrieb konv. Ausbruch Excavation (TBM, conventional)	CHF 5800
12%	Bahnabtransport Transport by rail	CHF 3200
26%	Tübbinge Ausbruchsicherung Primary lining	CHF 7000
9%	Werkleitungs kanal mit Auffüllung Service duct	CHF 2400
4%	Abdichtung Waterproofing	CHF 1000
13%	Innengewölbe Inner lining	CHF 3500
7%	Zwischendecke Intermediate floor	CHF 1800
8%	Innenausbau Internal finishing	CHF 2300
100%	<b>Total</b>	<b>CHF 27000</b>

highway construction (pipes, road bed, road surfacing slotted channels and kerbstones).

**Statical design**

The rock is stabilised by the five-part segment primary lining together with the keystone element. The ring segments are 30 cm thick, 2 m wide and reinforced with approx. 80 kg/m<sup>3</sup> of steel. The rings are dimensioned for a loosening rock pressure of 200 kN/m<sup>2</sup> and a swelling pressure of 350 kN/m<sup>2</sup> (Fig. 12). The segments were also dimensioned for various handling and transport load cases as well as for the maximum driving force (force exerted by shield).

The intermediate floor was dimensioned as a slab simply supported in the transverse direction. The actions include live loads, air suction caused by the fire ventilation, explosion and pressure blows by pass-in lorries. The bearing lobes are reinforced. To support the intermediate floor a friction bearing is added to the lobes. To resist long-term arch deformations without constraint forces, a 25 mm thick collapsible zone was inserted between the inner lining and the intermediate floor. To ensure airtightness when sucking out smoke, an elastic sealing compound was installed in the concrete at all working joints (every 25 m). The variation of bending deflection and shrinkage behaviour of the slab were monitored during construction using measuring devices.

The prefabricated service duct elements are 2.5 m long and 3.7 m wide, the wall thickness is 25 cm and the slab thickness is 30 cm. The elements were dimensioned for lateral earth pressure, surface loading and traffic loads.

	2003	2004	2005	2006	2007
	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D
<b>Installationen Installations</b>					
<b>Weströhre West tube</b>					
<b>Oströhre East tube</b>					
<b>Zentrale Nord Control room north</b>					
<b>Zentrale Mitte Control room middle</b>					
<b>Zentrale Süd Control room south</b>					

nengewölbe und Zwischendecke eine 25 mm starke Knautschzone ausgebildet. Um die Luftdichtigkeit zur Rauchabsaugung zu gewährleisten wurde bei den Arbeitsfugen (alle 25 m) ein Körperfugenband einbetoniert. Der Verlauf der Durchbiegung und das Schwindverhalten der Decke wurden während dem Bau messtechnisch überwacht.

Die vorfabrizierten Werkleitungs kanälelemente sind 2,5 m lang und 3,7 m breit, die Wandstärke beträgt 25 cm und die Deckenstärke 30 cm. Die Elemente wurden auf den seitlichen Erddruck, die Überschüttung und auf die Verkehrslasten dimensioniert.

**Überwachung**

Zur Überwachung der versetzten Tübbingringe wurden in mehreren Messquerschnitten geodätische Messpunkte installiert und die absolute Verschiebung gemessen. Zur Überwachung des Quelldruckes wurden Sechsfach-Extensometer in der Sohle eingebaut. Das Innengewölbe und die Zwischendecke werden ebenfalls langfristig mittels geodätischer Vermessung beobachtet.

**Kosten**

Die Kosten pro Meter Tunnel inklusiv Querverbindungen, Ausstellbuchten, Nischen und Innenausbau wie Randabschlüsse, Belag, Wandanstrich, Türen, aber ohne die elektromechanischen Einrichtungen betragen 27 000 CHF (Tabelle links). Die Bauzeit für die Rohbauarbeiten betrug ca. 4,5 Jahre (Tabelle oben). Die TBM-Vortriebsleistung betrug 20 m, die des Innenausbau 25 m pro Tag.

**Kurt Boppert** dipl. Bauingenieur HTL  
Dr. Vollenweider AG, Rapperswil  
**Ueli Letsch** dipl. Bauingenieur ETH  
Pöyry Infra AG, Zürich

**Monitoring**

To monitor the ring segments geodetic measuring points were installed in several cross sections and the absolute displacement was measured. To monitor the swelling pressure six-fold extensometers were installed in the invert. The inner lining and the intermediate floor are also monitored long-term using geodetic measurements.

**Costs**

The costs per metre of tunnel including cross passages, service bays, recesses and inner finishing like kerbstones, road surfacing, painting the walls, doors, but excluding the electromechanical equipment are approx. 27,000 CHF (table to the left).

The construction time for the basic structure was 4,5 years (table above). The TBM drive performance was 20 m per day, while that of the internal finishing work was 25 m per day.

**Baublauf Islisbergtunnel.**  
Construction process Islisberg tunnel.

- Installationen (TBM-Montage) Installations
- Vortrieb Excavation
- Innenausbau Internal finishing