

## Besondere Schalungstechnik am Jagdbergtunnel bei Jena

Der Tunnel Jagdberg bei Jena ist Teil einer Erweiterung der stark befahrenen Autobahn A4 in Thüringen. Im folgenden Beitrag wird im Besonderen auf die anspruchsvollen Arbeiten im Bereich der Schalungstechnik eingegangen.

In Thüringen wird ein Abschnitt der stark befahrenen Autobahn A 4 mit einem zweiröhrigen Autobahntunnel, dem Tunnel Jagdberg, erweitert. Der Auftraggeber DEGES, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, hatte hierzu die Arbeitsgemeinschaft Tunnelbau A 4, bestehend aus den Partnern Baresel und ALPINE BeMo Tunnelling, mit dem Bau beauftragt.

Den sechsspürigen Neubau werden bereits ab seiner Eröffnung in 2013 ca. 80.000 Fahrzeuge pro Tag nutzen. Die beiden Röhren haben eine Länge von jeweils ca. 3.100 m.

Für diesen Tunnel ist eine Genehmigung für Gefahrguttransporte unumgänglich. Aus diesem Grund wurde bereits im Entwurf ein im Tunnel mittig angebrachter Entrauchungsschacht mit einer Höhe von ca. 140 m angeordnet (Bild 1). Durch diesen wird im Brandfall der gesamte Rauch vertikal nach oben abgezogen. Durch entsprechende Jalousiewände kann der Rauchabzug getrennt für beide Röhren vorgenommen werden. Für die Sicherheit der Tunnelbenutzer sind gemäß RABT alle 550 m Nothaltebuchten und alle 275 m Querschläge angeordnet.

**Lars Preiss**, Site Manager, Tunnelbau A4 consortium, Baresel – Alpine BeMo Tunnelling, Bucha, Germany

**Ernst Flösser**, Head of Formwork Construction, Huber & Sohn GmbH & Co., Bachmehring, Germany

### Sonderschalungsbau

Im ursprünglichen Entwurf des Entrauchungsquerschlages war ein Querschlag mit hufeisenförmiger Geometrie vorgesehen (Bild 2), der über einen 90°-Anschluss scharfkantig in die Haupttunnelröhren und in den vertikalen Entrauchungsschacht führen sollte.

Um strömungstechnisch diesen Bereich zu optimieren, wurde vom Auftraggeber ent-

## Custom formwork technology for the Jagdberg Tunnel

The Jagdberg Tunnel, under construction near the city of Jena, is part of the project for widening of the heavily frequented A4 autobahn in Thuringia. This article focuses on the sophisticated formwork technology used.

A section of the heavily frequented A4 autobahn in Thuringia is undergoing widening via the new twin-bore Jagdberg Tunnel. The client, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES), entrusted this work to the Tunnelbau A4 consortium, consisting of Baresel and ALPINE BeMo Tunnelling.

Virtually immediately upon its opening to traffic in 2013, this new six-lane tunnel will be used

by around 80,000 vehicles every day. The two bores are each around 3,100 m in length.

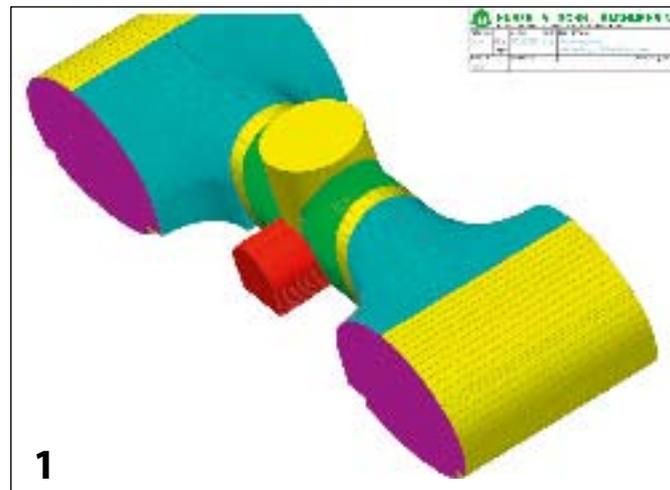
Approval for the passage of hazardous goods is vital for this tunnel project, and for this reason an approx. 140 m deep centrally located smoke-extraction shaft was included as early as the planning stage (Figure 1). In case of fire, the smoke and fumes generated will be drawn vertically upward via this shaft. Corresponding louver panels make it possible to extract smoke separately from the two bores. In accordance with the RABT code, emergency lay-bys are provided every 550 m, and transverse escape tunnels every 275 m, to assure the safety of tunnel users.

### Special formwork system

The planning for the transverse smoke-extraction gallery originally envisaged a transverse tunnel of horse-shoe configuration (Figure 2) leading via a 90° connection into the main tunnel bores at an acute angle and then joining the vertical smoke-extraction shaft.

In order to optimise the fluid dynamics of this sector, the client decided to substitute laminar curves for the transitional zones in the intersection. The curve

Photo: Huber & Sohn



Sonderschalungsbau der Extraklasse im Verschneidungsbereich der Haupttunnelröhren mit dem Entrauchungsschacht

Superlative custom formwork for the junction zone of the main tunnel bores with the smoke-extraction shaft

Photo: Knut Johnson



Gewölbeschalung, Ulme und Kappe, bereits betoniert, mit ausgeschalteter Stirnabstimmung

Arched formwork, side-zone and top, ready concreted, with stripped end formwork section

schieden, die Übergangsbereiche in der Verschneidung durch laminierte Ausrundungen zu ersetzen. Der Ausrundungsradius zwischen Schacht und Entrauchungsquerschlag (Bild 1, grüner Bereich) ist konstant mit 1,0 m geplant worden; die Ausrundung (Bild 1, blauer Bereich) zum Haupttunnel hin ist mit variablem Radius geplant, da hier zwei völlig verschiedene Geometrien aufeinander treffen.

Diese Festlegungen sollten sich zu einer außerordentlichen schalungstechnischen Herausforderung entwickeln. Hierfür wurde frühzeitig Huber & Sohn, Bachmehring, von der ausführenden Arge hinzu gezogen, welche aufgrund der Komplexität und deren Erfahrung den Zuschlag erhalten hatte.

### Baublauf

Aufgrund der komplizierten Konstruktion und verschiedener Randbedingungen (z.B. die Herstellung der selbsttragenden Bewehrung im gesamten Verschneidungsbereich), musste aus baubetrieblicher Sicht und aus Sicht der Schalungsherstellung ein bis ins Detail durchgeplantes Konzept erstellt werden.

Der gesamte Verschneidungsbereich befindet sich durch den Übergang zwischen Röt und Muschelkalk in einer ungünstigen geologischen Störungszone. Hierdurch ergaben sich, bedingt durch die schlechten gebirgsmechanischen Eigenschaften, extrem hohe Bewehrungsgehalte von lokal bis zu 400 kg/m<sup>3</sup>. Bei den vorhandenen Bauteildicken von

Photo: Wolfgang Sitter, rettise@t-online.de



Blick aus dem Entrauchungsquerschlag in Richtung Haupttunnel und gleichzeitig in den 130 m hohen Entrauchungsschacht

View from the transverse smoke-extraction gallery toward the main tunnel and into the 130 m deep smoke-extraction shaft simultaneously

radius between the shaft and the transverse smoke-extraction gallery (Figure 1, marked in green) will be a constant 1.0 m; the rounded transition (Figure 1, in blue) into the main tunnel will have a variable radius, since two totally different geometries converge here.

These requirements were to form the basis for an extraordinary formwork-technology challenge. For this purpose, Huber & Sohn, of Bachmehring, were consulted at an early stage by the consortium of contractors, which had been awarded the work on the basis of the complexity of the project and its own relevant experience.

### Working schedule

The complicated design and a range of diverse boundary con-

ditions (including the making of the self-supporting reinforcement throughout the intersection zone) necessitated, from an operational and formwork-production viewpoint, a concept thought out and planned in exceptional detail.

The entire junction area is located in a difficult geological fault zone at a point of transition from the Roethian to Muschelkalk. This resulted, due to the known poor rock mechanical properties, in extremely high reinforcement contents, of up to 400 kg/m<sup>3</sup> at some points. The element thicknesses, of > 1.0 m in some cases, combined with a reinforcement content which is extremely high for a tunnel structure, meant that adequate compaction of the concrete using external or formwork vi-



4 Kappenschalung des Entrauchungsquerschlages. Direkt auf der Kappenschalung sitzt der Schachtring mit 6,70 m Durchmesser. Gut zu sehen ist der abgerundete Übergang von Gewölbe zum Schachtring. Gebaut wurde zuerst die Tragkonstruktion mit Spanten. Anschließend wurde sie mit Brettschalung belegt, geschliffen und lackiert.

The top formwork for the transverse smoke-extraction gallery. The 6.70 m diameter shaft ring is mounted directly on this formwork. Also easily visible is the rounded transition from the vault to the shaft ring. The support structure was first constructed using ribbing, and was then lined with wooden shuttering, smoothed and painted.

teilweise > 1,0 m in Verbindung mit einem für Tunnelbauerwerke sehr hohen Bewehrungsgehalt ist eine Verdichtung des Betons durch Außen- bzw. Schalungsrüttler nicht zu gewährleisten.

Aus diesem Grund entschied sich die Arge mit Zustimmung des Auftraggebers für die Verwendung von selbstverdichtendem Beton (SV-Beton).

Die gesamte Sonderschalung musste somit auf die Frischbetonbelastung aus SV-Beton ausgelegt werden.

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurde folgender Ablauf festgelegt: Im ersten Arbeitsgang musste der Schachtfuß (Bild 3) hergestellt werden. Er besteht aus der Sohle, dem mittleren Abschnitt des Entrauchungsstollens mit dem Gewölbe einer Trafonische (Bild 1, roter Bereich) und dem Anschluß des Entrauchungsschachtes (6,70 m Durchmesser) (Bild 4). Von der Sohle bis zum oberen Ende am Schachtring hatte die Schalung eine gesamte Höhe von ca. 9,50 m.

Zu Beginn musste die Geo-

brators could not be assured. For this reason, the consortium decided, with the approval of the client, in favour of the use of self-compacting concrete (SCC).

It was therefore necessary to design the entire customised formwork system for the fresh concrete load generated by SCC.

The following procedure was agreed with the client: the first implementation phase would necessarily be the excavation of the shaft bottom (Figure 3); this consists of the base, the central section of the smoke-extraction gallery, complete with a vault for a transformer bay (Figure 1, red) and the connection to the smoke-extraction shaft (of 6.70 m diameter, see Figure 4). The total height of the formwork from the base up to the top end at shaft ring level was around 9.50 m.

It was necessary at the start

to define the geometry of the transverse gallery and, in particular, the execution of the curved transition between the vaulted roof of the transverse gallery and the shaft ring. The formwork manufacturer was then able to start preparing for the work, and to begin planning for production of the formwork elements.

A so-called „A-structure“ was selected for the formwork for the shaft basement, which was to be used only once. The formwork elements were produced in their full height, permitting their connection to one another at the roof end. The arched elements were braced against one another in the horizontal; either one or two bracing elements were used, depending on size and statics. Adhesive anchor bolts were installed in the existing base to counteract buoyancy forces. It



5 Gerade Ulmenseite des Haupttunnels mit Abstützböcken versehen beim Betonieren der Ulme

Straight side-zone of the main tunnel with support trestles, shown during concreting of this zone

metrie des Querschlages und vor allem die Ausführung der Ausrundung zwischen dem Gewölbe des Querschlages mit dem Schachtring festgelegt werden. Anschließend konnte der Schalungshersteller mit der Arbeitsvorbereitung beginnen und die Fertigungsplanung der Schalungselemente in Angriff nehmen.

Bei nur einem Einsatz der Schalung des Schachtkellers wurden eine sogenannte „A-Konstruktion“ gewählt. Dabei werden die Schalungselemente auf die komplette Höhe hergestellt, so dass sie an der Firste miteinander verbunden werden können. Waagrecht werden die Gewölbeelemente gegeneinander ausgesteift; je nach Größe und statischer Erfordernis wurden ein bis zwei Aussteifungen eingesetzt. Gegen die Auftriebskräfte wurden Klebeanker in der vorhandenen Sohle eingebaut. Die Elemente, die in transportablen Breiten bis zu 3,00 m gefertigt wurden, mussten über die gesamte Länge mittels Schalungsanker miteinander verspannt werden. An dieser Verankerung wurden dann ebenfalls die beiden Stirnschalungen befestigt.

Zum Einbringen des Betons wurden ausreichend Betonierstützen eingebaut. Zur Kontrolle wurden weiterhin in den Schalungselementen Betonierfenster vorgesehen, die im Zuge der Betonage geschlossen wurden. Über sogenannte „Spione“ in der Firste wird die komplette Füllung der Schalung überwacht und ein Überdrücken der Schalung durch den Schließdruck vermieden.

Messungen während der Betonage haben ergeben, dass

sich ein Frischbetondruck bis über  $90 \text{ kN/m}^2$  aufgebaut hat. Die maximalen Verformungen der ausgesteiften Schalung wurden dennoch im Millimeterbereich gemessen.

Nachdem der mittlere Abschnitt des Entrauchungsquerschlages (Schachtkeller) fertiggestellt war, wurde umgehend mit der Herstellung der Sonderschalung im Haupttunnel begonnen.

Für diese beiden trompetenförmigen Aufweitungen wurde gemeinsam ein anderes Konzept entwickelt. Der größte Unterschied besteht darin, dass die Gewölbe nicht in einem Zuge hergestellt werden, sondern horizontal in Ulmen(Wand)- und Kappen(Decken)-Schalung getrennt werden. Für die Auflösung der Schalung sprachen folgende Argumente:

Das Einschalen über die gesamte Länge von annähernd 15 m und die gesamte Breite von über 16 m von der Außenkante des Haupttunnels bis zum Anschluss an den Entrauchungsquerschlag wäre vom Montageaufwand unverhältnismäßig groß geworden. Ein entscheidender Punkt war auch der Tatsache geschuldet, dass durch die Öffnung des Querschlages eine enorme einhäuptige Komponente gewirkt hätte, die nur mit riesigem technischen Aufwand beherrschbar gewesen wäre. Im Nachhinein ist diese Entscheidung absolut richtig gewesen.

Nach der sukzessiven Herstellung der verschiedenen Sonderschalungen wurde mit dem Einschalen der ca. 15 m langen und ca. 5 m hohen Ulmenschalung der Nordröhre begonnen (Bild 5). Die Ulmen-

Photo: Wolfgang Sitter, rettis@t-online.de



Übergang in den Entrauchungsquerschlag vom Haupttunnel aus

The transition into the transverse smoke-extraction gallery from the main tunnel

was necessary to brace the elements, which were produced in widths suitable for transportation (i.e., up to 3.00 m), with one another across their entire length by means of formwork ties. The two end formwork sections were then also fixed to this anchoring system.

An adequate number of nozzles were provided for installation of the concrete. Concreting windows were also made in the formwork elements to permit observation, and were successively closed as concreting progressed. The entire operation of filling the formwork was monitored, and the exertion of excessive pressure on the formwork by the

closing force avoided, by means of so-called „peepholes“ in the roof.

Measurements performed during concreting indicated fresh concrete pressures of up to  $90 \text{ kN/m}^2$  and above. The maximum measured deformations of the reinforced formwork nonetheless remained in the millimetre range.

Installation of the special formwork system in the main tunnel started immediately, once the centre section of the transverse smoke-extraction gallery (shaft basement) had been completed.

A new concept was jointly developed for these two trum-

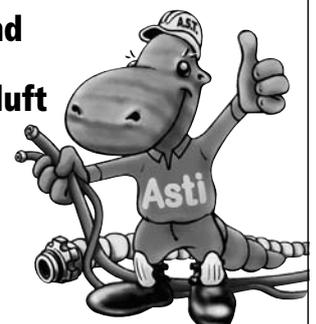
## A.S.T. Bochum

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik

**Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik für Beton, Wasser und Pressluft**

**A.S.T. Bochum GmbH**  
Kolkmannskamp 8  
D-44879 Bochum

fon: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 10  
fax: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 20  
e-mail: info@astbochum.de





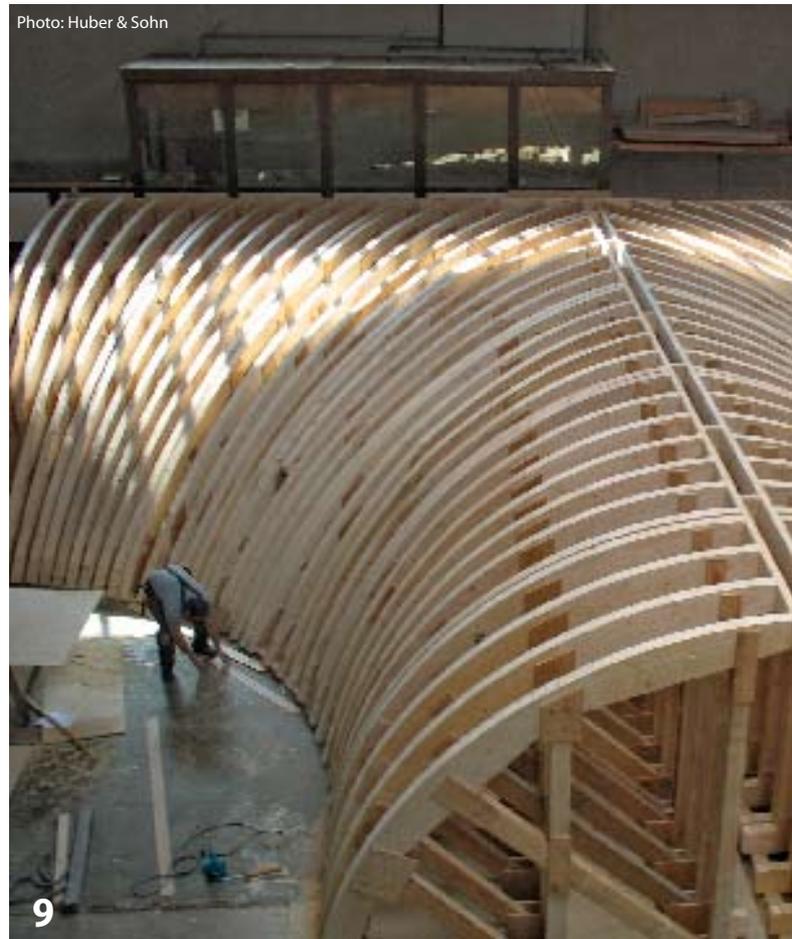
Belegen mit der Brettschalung am Rand im einfach gekrümmten Bereich

Lining with wooden shuttering on the boundary in the single-curvature zone

schalung, belegt mit einer alkus GM 6 Vorsatzschalung, wurde mit Stützböcken gehalten. Diese waren mit 26 mm dicken Ankern in den Banketten rückverankert. Da es sich um ein Sohlgewölbe handelte, mussten die Abstützböcke am hinteren Aufstellpunkt mit einer separaten, ca. 1,00 m hohen Stahlkonstruktion unterbaut werden.

Das Ein- und Ausschalen gestaltete sich problemlos – auch das Betonieren mit SV-Beton bereitete keinerlei Schwierigkeiten. Das Ergebnis in der Betonoberfläche war, wie auch beim Schachtkeller, sehr zufriedenstellend.

Nach diesem relativ einfachen Einsatz wurden die beiden Umlenschalungen nebst Ausrundungen zum Entrauchungsquerschlag hin hergestellt (Bild 6). Diese Oberflächen sind zweifach gekrümmt und können daher nicht mit einer herkömmlichen Schalungsplatte hergestellt werden. Bereits in der Unterkonstruktion ist der Aufwand für die Planung und Herstellung der Schalung um ein Vielfaches höher. Die Schalung muss von der Geometrie des Haupttunnels stufenlos in die Geometrie des Entrauchungsquerschlages übergehen und – als wäre das nicht schon anspruchsvoll genug



Herstellung der Kappenschalung vom Haupttunnel zum Entrauchungsquerschlag mit der Unterkonstruktion aus Kantholzböcken

Fabrication of the top shuttering from the main tunnel to the transverse smoke-extraction gallery, showing the square-timber trestle substructure

pet-shaped flares. The greatest difference was the fact that the vaults were not created in a single operation, but were, instead, divided horizontally into the side zones (wall) and crown (roof) formwork. The following factors spoke in favour of separate formwork here:

Formwork across the entire length of almost 15 m and the entire width of over 16 m from the outer edge of the main tunnel to the junction with the transverse smoke-extraction gallery would have necessitated excessive fitting and installation work. Another critical point was the fact that an enormous single-face concreted compo-

nent would have resulted, via the opening of the transverse gallery, and could have been mastered only with enormous technical input. This decision proved, in retrospect, to have been absolutely correct.

After successive fabrication of the various customised formwork arrangements, work began on the formwork shuttering for the approx. 15 m long and approx. 5 m high side-zone of the north bore (Figure 5). The side-zone formwork, lined with alkus GM 6 formwork facing, was held in place by means of support trestles, which were themselves re-anchored using rock bolts of 26 mm thickness in



– dieser Übergang erfolgt auch noch in einem Radius. Etwa in Höhe der Kämpferlinie beträgt dieser planerisch 4,50 m; darüber und darunter musste der Radius ermittelt werden.

Durch diese anspruchsvolle Geometrie wurde der Unterbau mit einer waagrecht verlaufenden Bockkonstruktion gewählt. Um die teilweise starken Krümmungen und Verziehungen möglichst genau herzustellen, wurde als Schalhaut eine zweifache Brettschalung mit 20 mm Dicke gewählt. Zweifach deshalb, da mit einer einfachen Brettschalung die Radien nicht zu realisieren sind: Die Bretter würden brechen. Ein weiterer Vorteil einer doppelten Schalhaut ist die Überlappung der Brettstöße: Die Schalung wird dicht. Das spielt natürlich

bei einem SV-Beton eine entscheidende Rolle. Eine Falz, z.B. Nut- und Feder, war nicht möglich, da die Bretter wie bei der Herstellung eines Fasses tailliert zugeschnitten wurden. Zum Abschluß wurden die Oberflächen noch gespachtelt, geschliffen und lackiert.

Beim Einschalen der beiden Rundungen war eine detaillierte Vorplanung des Schalungsherstellers notwendig, da die Schalung erneut mit Abstützböcken befestigt werden musste und die Böcke nicht gegenseitig kollidieren, wenn sie im Bereich des Entrauchungsquerschlages zusammentreffen.

Auch diese beiden Abschnitte der Ulmenschalungen wurden problemlos mit SV-Beton betoniert und nach dem Ausschalen waren alle Beteiligten mit dem Ergebnis sehr zufrieden.

Letzten Endes wurde die Kappenschalung des Haupttunnels nebst Verschneidung hergestellt (Bild 7, 8). Die Schalung musste über die gesamte Länge des Haupttunnels mit

the benches. It was necessary to underpin the trestles by means of a separate steel structure of around 1.00 m in height at the rear support point, since this work was being conducted on an invert arch floor.

Assembly and removal of the formwork were completed without difficulty, as was concreting using SCC. As in the case of the shaft basement, the resultant concrete surface was extremely satisfactory.

Following this relatively simple deployment, the two side-zone formwork systems, complete with curves, were re-erected closer to the transverse smoke-extraction gallery (Figure 6). The surfaces here feature double curvatures, and could therefore not be produced using a conventional formwork panel. Even the planning and production work on the formwork for the substructure was greater by a multiple. The formwork is required here to perform a smooth transition from the geometry of the main tunnel to that of the transverse smoke-extraction gal-

lery and - as if this task were not already sufficiently demanding - a transition on a radius which, at around abutment line height was, on paper, 4.50 m; above and below this level, it was necessary to determine the radius empirically.

Due to this exacting geometrical situation, a substructure utilising a horizontal trestle construction was selected. A double, 20 mm thick, wooden panel was chosen as the formwork facing, in order to permit the creation of the in some cases pronounced curvatures and convolutions as accurately as possible. „Double“, because the radii in question could not have been implemented using a single wooden panel - the boards would have failed. A further advantage of a double formwork facing is provided by the overlapping of the board joints, which keeps the formwork tight, a factor which naturally plays a decisive role in the context of SCC. The option of a rabbet technique, such as tongue and groove, for exam-



Photo: Huber & Sohn

10 Baustellenmontage der Kappenschalung  
On-site assembly of the top formwork

Photo: Huber &amp; Sohn



Baustellenmontage der Kappenschalung

On-site assembly of the top formwork

ca. 15 m und einer Breite von ca. 20 m in einem Stück hergestellt werden. Für diesen Einsatz war erneut ein genauer Ablaufplan zu erstellen, da die hohe Anzahl von Elementen (Bild 9) in einer genau festgelegten Reihenfolge eingebaut werden mussten (Bild 10, 11). Durch die enorme Größe der verwundenen Elemente im Übergang vom Haupttunnel zum Entrauchungsquerschlag war die Einhaltung der Ablaufplanung unumgänglich. Während der Montagearbeiten musste dafür Sorge getragen werden, dass die Schalung für den regulären Baustellenverkehr durchfahrbar bleibt (Bild 12). Die Baustelle musste diesen Abschnitt zu einem festgelegten Termin mit der gesamten Schalwagenkolonne passieren. Dadurch war die gesamte Herstellung des Verschneidungsbereiches sehr terminkritisch.

Aber auch der letzte Abschnitt der Nordröhre wurde termintlich und technisch zur vollsten Zufriedenheit der Arge und des Auftraggebers hergestellt.

Anfang 2011 wird Huber & Sohn zusammen mit der Arge Tunnelbau A4 die zweite Seite in Angriff nehmen. 

le, was not available, since the boards were cut with a „waist“ geometry, similar to the staves of a barrel. The surfaces were then finished by means of grouting, smoothing and painting.

Detailed advance planning by the formwork manufacturer was necessary for the formwork

for the two curvatures, since restraint of the formwork using support trestles was again required, and collision of the trestles with one another upon their convergence in the vicinity of the transverse smoke-extraction gallery had to be avoided.

These two sectors of the side-zone formwork systems were also concreted without difficulty using SCC, with results with which all parties, after stripping of the formwork, were extremely satisfied.

Finally, the top formwork for the main tunnel, complete with the intersection, was made (Figures 7 and 8). This formwork had to be erected in one piece for the entire length of main tunnel, i.e., some 15 m, with a width of around 20 m. This deployment also demanded detailed scheduling, since the large number of elements (Figure 9) were to be installed in a precisely defined order (Figures 10 and 11). Adherence to the planned schedule was vital, in view of the enormous size of the intertwined elements at the junction of the main tunnel and the transverse smoke-extraction gallery. It also had to be ensured during the installation work that normal site traffic could pass through the formwork (Figure 12). The work-site was scheduled to transit this sector with the complete string of formwork carriages at a fixed time and date, and all work on the intersection zone was therefore timed to meet an extremely critical deadline. The final section of the north bore was also completed on time and to the total technical satisfaction of both the consortium and the client.

Huber & Sohn and the Tunnelbau A4 consortium will begin work on the second side in early 2011. 

Photo: Huber &amp; Sohn



Die Durchfahrbarkeit während der Montage der Kappenschalung musste stets gewährleistet sein

Freedom of passage for site traffic had to be maintained throughout installation of the top formwork