

PERI VARIOKIT in the Tunnelling Sector: A Special Application in Formwork Construction

A key indicator regarding the efficiency of formwork systems is their suitability for special applications. More specifically, the cost-effectiveness depends largely on how much the work processes differentiate for different applications and how high the ratio of special components is relative to the standard components of the

system. In this context, PERI GmbH, Weissenhorn/Germany, has developed the VARIOKIT, an engineering construction kit that has a high degree of consistency across all types of applications – in terms of its assembly logic as well as the type and quantity of the basic components required.

PERI VARIOKIT im Bergbau: Eine Spezialanwendung im Schalungsbau

Ein wesentlicher Indikator für die Wirtschaftlichkeit von Schalungssystemen ist ihre Eignung in speziellen Anwendungen. Genauer gesagt: Die Wirtschaftlichkeit hängt maßgeblich davon ab, wie sehr sich die Arbeitsabläufe bei verschiedenen Anwendungen unterscheiden und wie hoch der Anteil der Sonderbauteile im Verhältnis

zu den Standardkomponenten des Systems ist. In diesem Zusammenhang hat die PERI GmbH, Weissenhorn, mit dem VARIOKIT einen Ingenieurbaukasten entwickelt, der über alle Einsatzarten hinweg eine hohe Konstanz aufweist – sowohl in seiner Montagelogik als auch in der Art und Menge der benötigten Basisbauteile.

1 High cost pressures in infrastructure construction

For the construction of reinforced concrete components, within the working sequence of shuttering, reinforcement, placing of concrete and striking, the time-financial effort required for forming operations is the highest. Thus, in building construction, e.g., the proportion of formwork costs in the total structural work costs is around 30% while regarding structural work labour costs, it can reach up to 50%. For construction companies, taking material and labour costs into consideration is particularly important: generally speaking, the ratio when forming is 15 to 85%. Due to the fierce competition, which is typical of major projects such as tunneling, the pressure placed on labour costs for the construction companies is once again significantly intensified. In order to limit this factor, it has therefore long been common practice in the construction industry that not only the equipment requirements for forming operations is outsourced, but also all relevant engineering services.

Against this background, it becomes clear why the focus of development is placed on technical solutions that lead to a reduction of the labour cost ratio in formwork construction. In order to achieve this optimization of customer economic efficiency, two technical objectives are required:

- a high proportion of (few) identical components so that assembly times are shortened and
- a simple and practicable assembly logic in order to increase work productivity per unit of time.

1 Hoher Kostendruck im Infrastrukturbau

Bei der Erstellung von Stahlbetonbauteilen ist innerhalb der Arbeitsabfolge von Einschalen, Bewehren, Betoneinbau und Ausschalen der zeitlich-finanzielle Aufwand für das Gewerk Schalen am höchsten. So liegt z.B. im Hochbau der Anteil der Schalungskosten an den Gesamtrohbaukosten bei ca. 30%, bei den Rohbaulohnkosten sind es sogar bis zu 50%. Für Bauunternehmen ist vor allem die Betrachtung der Material- und Lohnkosten wichtig: Beim Schalen bewegen sich diese in der Regel im Verhältnis von 15 zu 85%. Durch die hohe Wettbewerbsintensität, die für Großprojekte wie den Tunnelbau typisch ist, verschärft sich dieser Druck der Lohnkosten für die Bauunternehmen nochmals erheblich. Um diesen Faktor zu begrenzen, ist es deshalb in der Bauindustrie schon lange üblich, dass nicht nur der Gerätepark für das Gewerk Schalen ausgelagert wird, sondern auch alle zugehörigen Ingenieurdienstleistungen.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, weshalb der Entwicklungsschwerpunkt bei technischen Lösungen liegt, die zu einer Reduktion des Lohnkostenanteils im Schalungsbau führen. Um diese Optimierung der Kundenwirtschaftlichkeit zu erreichen, sind zwei technische Zielsetzungen nötig:

- ein hoher Anteil von (wenigen) Gleichteilen, um die Montagezeiten zu verkürzen und
- eine einfach lern- und umsetzbare Montagelogik, um die Arbeitsproduktivität pro Zeiteinheit zu steigern.



Fig. 1. // Bild 1. VARIOKIT. Source/Quelle: PERI

2 VARIOKIT engineering construction kit – application and suitability

The VARIOKIT engineering construction kit from PERI GmbH, Weißenhorn/Germany, has been designed for a wide range of load combinations in the building construction and civil engineering sectors (Figure 1). All tunnel construction solutions are also based on this one system which can also be rented for specific projects. With only three core components – SRU Steel Waler, RCS Climbing Rail, and SLS Heavy-Duty Spindle – around 80% of all heavy-duty supporting structures can be realised using only a minimum of connecting and securing means. A further 15% of the applications can also be realised with other system components taken from the engineering construction kit. The remaining 5% require project-specific special components. This consistently simplified construction principle of the VARIOKIT engineering construction kit ensures high safety and speed benefits – during the assembly phase as well as during use on the construction site.

With its modular construction, the system is designed to operate in different configuration and different performance levels as required. From a cross-project perspective, the same components are used repeatedly which then have a common function when grouped together, e. g., the group of heavy-duty rollers, wall and slab formwork systems or the electrical and hydraulic components for lifting, lowering or moving. The highest configuration level of the VARIOKIT engineering construction kit in tunnel construction is a self-propelled, hydraulically supported tunnel formwork machine that automates all essential work steps using a very high level of precision. An additional system advantage of VARIOKIT is its ability to be combined with the PERI UP work, safety and shoring system. Both systems are based on the metric dimensional coordination of building construction with assembly and adjustment steps of 12.5, 25 and 50 cm and are, therefore, completely compatible with each other.

As a result, all types of supporting structures can be inexpensively realised and can also be quickly adapted to suit a wide range of building geometries thanks to this assembly flexibility.

3 VARIOKIT in tunnel construction

For Germany, as the central hub of European and worldwide freight transport with its extremely export-dependent economy, the density, quality and state of the transport infrastructure is es-

2 VARIOKIT Ingenieurbaukasten – Anwendung und Eignung

Der VARIOKIT Ingenieurbaukasten der PERI GmbH, Weißenhorn, ist ausgelegt für die unterschiedlichsten Lastkombinationen im konstruktiven Hoch- und Ingenieurbau (Bild 1). Auch alle Tunnelbaulösungen basieren auf diesem einen System, das projektbezogen auch mietbar ist. Mit nur drei Kernbauteilen – dem Stahlriegel SRU, der Kletterschiene RCS, der Schwerlastspindel SLS – können mit einem Minimum an Verbindungs- und Sicherungsmitteln ca. 80% aller Schwerlasttragwerke aufgebaut werden. Weitere 15% der Anwendungen sind ebenfalls mit weiteren Systembauteilen aus dem Baukasten realisierbar. Die restlichen 5% erfordern projektspezifische Sonderbauteile. Dieses konsequent vereinfachte Bauprinzip des VARIOKIT Ingenieurbaukastens ermöglicht hohe Sicherheits- und Geschwindigkeitsvorteile – sowohl im Aufbau als auch im Einsatz auf der Baustelle.

In seinem modularen Aufbau ist das System so ausgelegt, dass es nach Bedarf in verschiedenen Ausbau- und Leistungsstufen arbeiten kann. Projektübergreifend werden immer wieder die gleichen Bauteile verwendet, die in Gruppen zusammengefasst eine gemeinsame Funktion haben. Beispielsweise die Gruppe der Wälzwagen, der Wand- und Deckenschalungssysteme oder die elektrischen und hydraulischen Komponenten für das Heben, Senken oder Verfahren. Die höchste Ausbaustufe des VARIOKIT Ingenieurbaukastens im Tunnelbau ist eine eigenständig fahrende, hydraulisch unterstützte Tunnelschalmaschine, die alle wesentlichen Arbeitsschritte mit hoher Präzision automatisiert. Ein weiterer Systemvorteil von VARIOKIT liegt in der Kombinierbarkeit mit dem Arbeits-, Schutz- und Traggerüstsystem PERI UP. Beide Systeme beruhen auf der metrischen Maßordnung des Hochbaus mit einem Aufbau- und Verstellraster von 12,5 cm, 25 cm und 50 cm und sind deshalb untereinander vollständig kompatibel.

Dadurch lassen sich alle Arten von Tragwerken kostengünstig herstellen und können dank dieser Aufbauflexibilität auch schnell an unterschiedlichste Bauwerksgeometrien angepasst werden.

3 VARIOKIT im Tunnelbau

Für Deutschland als zentrale Drehscheibe des europäischen und weltweiten Güterverkehrs mit seiner extrem exportabhängigen Volkswirtschaft ist die Dichte, Qualität und der Zustand der Verkehrsinfrastruktur essentiell. So sind im Jahr 2016 in Deutschland 659,9 Mrd. Tonnenkilometer an Fracht per Schiff, Bahn und Lkw transportiert worden. Innerhalb dieser Verkehrsnetze für Lkw und Bahn nehmen Tunnel und Brücken eine Schlüsselposition ein, sowohl in ihrer Funktion als durch- und überquerende Bauwerke als auch in der Komplexität ihres ingenieurtechnischen Anspruchs.

Je nach geologischen Verhältnissen und der geplanten Nutzung werden unterschiedliche Tragwerksquerschnitte eingesetzt. Die einfache Form des Rechtecks bietet die wirtschaftlichsten Herstellungsoptionen. Abhängig von den Rahmenbedingungen können aber auch runde, elliptische oder Sonderquerschnitte spezifische Vorteile bieten. Hauptkriterien bei der Auswahl der Bauweise und Tragwerksform sind die Tunnelquerschnitte und deren Längen. Hinzu kommen objektbedingte Krümmungen und Neigungen im Tunnelverlauf, ebenso wie variierende Geometrien in der lichten Breite und Höhe. Diese Änderungen des Regelquerschnitts sind notwendig für die Integration von Park- und Nothal-

stantial. In 2016, 659.9 bn tonne-kilometres of freight were transported by ship, rail and truck in Germany. Within these transport networks for trucks and rail, tunnels and bridges occupy a key position, both in their function as structures for facilitating the passing through and crossing of broad spectrum of geographical features as well as in the complexity of their engineering requirements.

Depending on the geological conditions and the planned use, different supporting structure cross-sections are used. The simple shape of a rectangle provides the most cost-effective construction options. Depending upon the framework conditions, circular, elliptical or special cross-sections can also provide specific advantages. The main criteria regarding the choice of the construction method and supporting structure form are tunnel cross-sections and their respective lengths. In addition, project-related curvatures and inclinations along the course of the tunnel as well as varying geometries in the clear width and height. These changes in the standard cross-section are necessary for the integration of parking and emergency stopping bays, escape and access galleries, or structures that connect adjacent tunnel tubes or lead to the surface.

Structurally, the VARIOKIT engineering construction kit is suitable for all types of tunnel construction:

- cut-and-cover method,
- mining construction,
- cover building method and
- special or supplementary construction methods

4 VARIOKIT special applications in tunnelling operations

The economic efficiency and variability of the engineering kit are highlighted in the three reference projects described below. In terms of their cross-sections, all three references are arched tubes whereby their differences can be found in the functional objectives.

4.1 Reference project: Railway Bridge – Mühlgraben/ Germany

This formwork project featured a raised arched bridge whose tunnel-shaped substructure was realised as part of a bridge refurbishment undertaking. For this, the new reinforced concrete construction had a friction-locked configuration for carrying the carriageway slab (Figures 2, 3). The renovation work was carried



Fig. 2. Reference project: railway bridge – Mühlgraben/Germany.
Bild 2. Referenzprojekt Eisenbahnüberführung Mühlgraben, Deutschland. Photo/Foto: PERI

tebuchten, Flucht- und Zugangsstollen oder von Bauwerken, die benachbarte Tunnelröhren verbinden oder zur Oberfläche führen.

Baukonstruktiv ist der VARIOKIT Ingenieurbaukasten für alle Tunnelbauweisen geeignet:

- die offene Bauweise,
- die bergmännische Bauweise,
- die Deckelbauweise und
- die Sonder- bzw. Ergänzungsbauweisen.

4 VARIOKIT Spezialanwendungen im Bergbau

Die Wirtschaftlichkeit und Variabilität des Ingenieurbaukastens zeigt sich in den nachfolgend beschriebenen drei Referenzprojekten. Alle drei Referenzen sind von ihrem Querschnitt her Gewölberöhren, ihre Unterschiede liegen in den funktionalen Zielsetzungen.

4.1 Referenzprojekt Eisenbahnüberführung Mühlgraben/ Deutschland

Bei diesem Schalungsprojekt handelte es sich um eine aufgeständerte Bogenbrücke, deren tunnelförmige Unterkonstruktion im Rahmen einer Brückensanierung erstellt wurde. Die neue Stahlbetonkonstruktion wurde dafür kraftschlüssig für die überquerende Fahrbahnplatte ausgebildet (Bilder 2, 3). Die Sanierung in aufgelöster Tunnelbauweise erfolgte in zwei Takten mit jeweils knapp 15 m Länge. Der 8 m hohe und 14 m breite Gewölbequer-

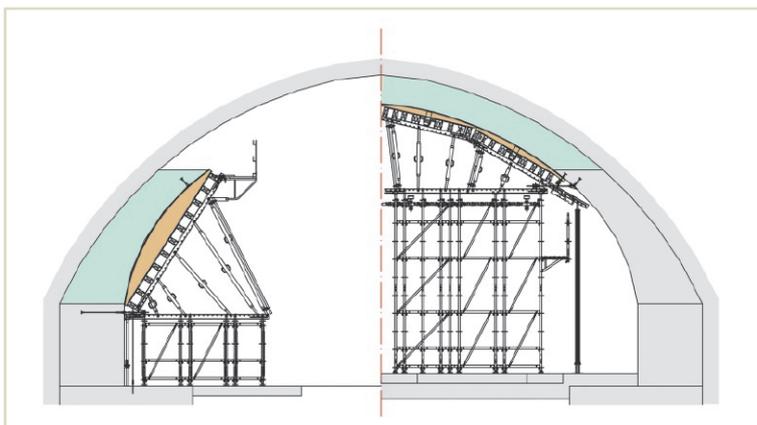


Fig. 3. For the single-sided forming operations with correspondingly high formwork pressures, the tunnel formwork was back-anchored in the previously completed section. Widening the PERI UP shoring construction also served to carry out the execution of the complex reinforcement work.
Bild 3. Für das einhäuptige Schalen mit den entsprechend hohen Schalungsdrücken wurde die Tunnel Schalung im jeweils zuvor fertiggestellten Abschnitt rückverankert. Die Erweiterung der PERI UP Traggerüstkonstruktion diente zudem zur Ausführung der aufwändigen Bewehrungsarbeiten. Source/Quelle: PERI



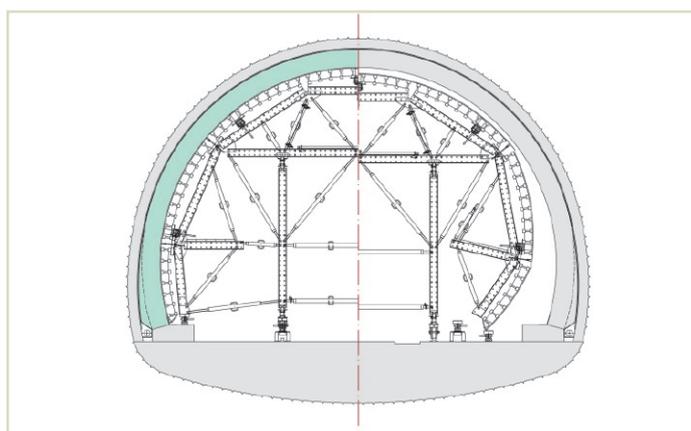
Fig. 4. Reference project: Pfänder Tunnel – Bregenz/Austria.

Bild 4. Referenzprojekt Pfändertunnel – Bregenz/Österreich. Photo/Foto: PERI

out using the separate casting method in two cycles, each with a length of almost 15 m. The 8 m high and 14 m wide arched cross-section was constructed in three separate sections. The 80 to 150 cm thick arched wall was concreted with pre-assembled elements taken from the VARIO GT 24 Girder Formwork system in combination with VARIOKIT system components and PERI UP shoring. The formwork for the arched slab was designed to allow it to be moved.

4.2 Reference project: Pfänder Tunnel – Bregenz/Austria

Another example of the cost-effectiveness of the VARIOKIT engineering construction kit is the realisation of a cross-passage for evacuating people in the event of fire. The 6.6 km long Pfänder Tunnel connected the Austrian A 14 motorway with the German A 96 motorway by means of two time-delayed tunnel tubes. PERI developed a cost-effective formwork solution (Figures 4, 5) for this 43.1 m long drivable cross-passage whereby the seven dimensionally accurate sub-segments were delivered pre-fabricated to the jobsite. After only ten days, construction of the seven concreting segments with standard lengths of 5.9 m was started. Due to the simple assembly procedure and operating logic, a three-day cycle was reached after a short familiarisation period. In spite of the filigree construction, the formwork carriage had the highest level of dimensional stability, a key reason for the excellent concreting results.



schnitt wurde aufgelöst in drei Abschnitten hergestellt. Die 80 bis 150 cm starke Gewölbewand wurde mit vormontierten Elementen der Trägerschalung VARIO GT 24 betoniert, in Kombination mit den VARIOKIT Systembauteilen und dem PERI UP Traggerüst. Die Schalung für das Deckengewölbe wurde verfahrbar ausgebildet.

4.2 Referenzprojekt Pfändertunnel Bregenz/Österreich

Ein weiteres Beispiel für die Wirtschaftlichkeit des Ingenieurbaukastens VARIOKIT ist die Erstellung eines Querschlags zur Evakuierung von Menschen im Brandfall. Der 6,6 km lange Pfändertunnel verbindet mit zwei zeitversetzt gebauten Tunnelröhren die österreichische A14 mit der deutschen Autobahn A96. Für diesen 43,10 m langen, befahrbaren Querschlag entwickelte PERI eine kostengünstige Schalungslösung (Bilder 4, 5), bei der die insgesamt sieben Teilsegmente maßgenau vorgefertigt an der Baustelle angeliefert wurden. Bereits nach zehn Tagen konnte mit der Erstellung der sieben Betonierblöcke mit einer Regellänge von 5,90 m begonnen werden. Durch die einfache Montage- und Einsatzlogik wurde bereits nach einer kurzen Einarbeitungszeit ein Dreitagestakt erreicht. Trotz der filigranen Konstruktion besaß der Schalwagen höchste Formstabilität, ein wesentlicher Grund für die sehr guten Betonierergergebnisse.

4.3 Referenzprojekt Hallandsas-Tunnel – Schweden

Der zweiröhrige, 8,7 km lange Tunnel galt lange Zeit als eines der weltweit schwierigsten Bauprojekte (Bild 6). So musste, bedingt

Fig. 5. Due to the short tunnel length, PERI decided in favour of a mechanical formwork carriage solution. Thereby the highest priority was placed on generously-sized working levels – for easy and simple operability and a high level of work safety. Shuttering and striking took place by means of spindles while the formwork carriage was moved on crane rails using flanged wheels

Bild 5. Bedingt durch die geringe Tunnellänge entschied sich PERI für eine mechanische Schalwagenlösung. Dabei wurde höchste Priorität auf großzügige Arbeitsebenen gelegt – für eine einfache Bedienbarkeit und hohe Arbeitssicherheit. Ein- und ausgeschalt wurde mit Spindeln, verfahren ließ sich der Schalwagen mit Spurkränzrädern auf Kranschielen. Source/Quelle: PERI



Fig. 6. Reference project: Hallandsås Tunnel – Sweden.
Bild 6. Referenzprojekt Hallandsås-Tunnel – Schweden. Photo/Foto: PERI

4.3 Reference Project: Hallandsås Tunnel – Sweden

The twin-tube, 8.7 km long tunnel was long considered one of the world's most difficult construction projects (Figure 6). Due to water leakage and environmental problems, the project was discontinued for a number of years. When construction work was resumed, it was not necessary to use a closed tunnel boring machine for certain sections of the tunnel. Due to these critical passageways, the VARIOKIT tunnel formwork carriage was designed to perform a dual function. On the one hand, the pre-lining for the realisation of the reinforcement and support for the conventional tunnel drive (Figure 7); on the other, the final-lining for the construction of the reinforced concrete inner shell (Figure 8). The diameters varied between 10.08 and 8.84 m for section lengths of 6.0 m respectively.

Multiple utilisation reduced on-site material requirements, and there was also no time-consuming assembly and dismantling work required in the tunnel. In combination with the use of the rentable system components, the VARIOKIT solution was therefore extremely cost-effective. Two formwork carriage constructions with hydraulically controlled shuttering and striking operations were developed here. The bottom slab formwork was mounted on a support frame whereby its launching beam bridged two section lengths and was free to move independently of the formwork. With the help of the second formwork carriage, the side and arched slabs were formed and concreted together. Moving procedures were carried out by means of heavy-duty rollers on an integrated travelling frame.

Author / Autor

Dipl.-Ing. Hary Maucher, Project Manager, Technical Office Germany and Central Europe, Competence Center Infrastructure, PERI GmbH, Weissenhorn/Germany

durch Wassereinbrüche und ökologische Probleme, das Projekt jahrelang eingestellt werden. Bei der Wiederaufnahme der Bau-tätigkeit musste bei bestimmten Tunnelabschnitten vom Einsatz einer geschlossenen Tunnelbohrmaschine abgesehen werden. Wegen dieser kritischen Passagen wurde der VARIOKIT Tunnel-schalwagen so konzipiert, dass er eine Doppelfunktion ausfüh-ren konnte. Zum einen für das Pre-Lining zur Erstellung der Aus-bruchssicherung für den konventionellen Tunnelvortrieb (Bild 7), zum anderen für das Final-Lining zur Erstellung der Stahlbeton-Innenschale (Bild 8). Die Durchmesser variierten hierbei zwischen 10,08 und 8,84 m bei Abschnittslängen von jeweils 6,00 m.

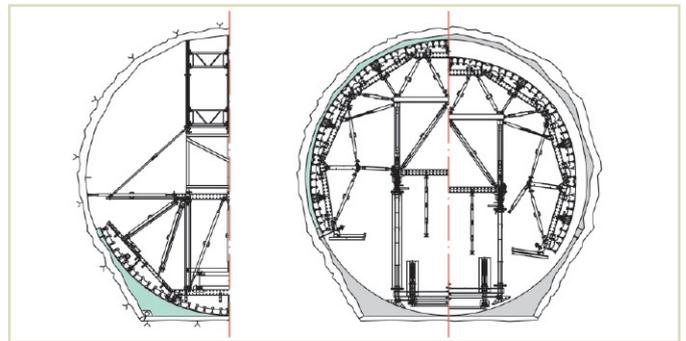


Fig. 7. Pre-lining: The bottom slab and arched formwork in use as reinforcement and support protection for concreting the outer diameter of 10.08 m. // Bild 7. Pre-Lining: Die Sohl- und Gewölbeschulung im Einsatz als Ausbruchssicherung zum Betonieren des äußeren Durchmessers von 10,08 m. Source/Quelle: PERI

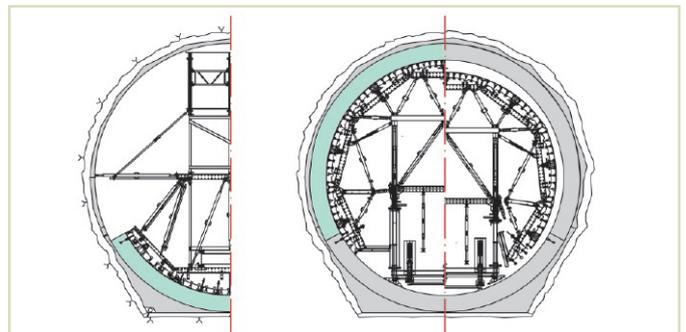


Fig. 8. Final-lining: The bottom slab and arched formwork in use for the realisation of the 60 cm thick reinforced concrete inner shell. Double utilisation of the same formwork carriage without any time-consuming modification work. // Bild 8. Final-Lining: Die Sohl- und Gewölbeschulung im Einsatz für die Erstellung der 60 cm starken Stahlbeton-Innenschale. Doppelter Einsatz derselben Schalwagen, ohne aufwändige Umbauarbeiten. Source/Quelle: PERI

Die Mehrfachnutzung reduzierte die Materialvorhaltung, zu-dem entfielen aufwändige Montage- und Demontearbeiten im Tunnel. In Verbindung mit der Verwendung der mietbaren Sys-tembauteile war die VARIOKIT-Lösung somit äußerst wirtschaftlich. Entwickelt wurden hier zwei Schalwagenkonstruktionen mit hydraulisch steuerbaren Ein- und Ausschalvorgängen. Die Sohl-schalung war an einem Tragrahmen montiert, dessen Vorschub-träger zwei Abschnittslängen überbrückte und sich unabhängig von der Schalung frei verfahren ließ. Mithilfe des zweiten Schal-wagens wurden Seiten- und Deckengewölbe zusammen geschalt und betoniert. Verfahren wurde über Wälzwagen auf einem inte-grierten Verfahrrahmen.