

## Development of a Concreting System Based on the Climbing Formwork Concept for the Partial Filling of the Friedlicher Nachbar Shaft

The Friedlicher Nachbar shaft in Bochum is one of the 13 central water pumping stations operated by RAG Aktiengesellschaft, Essen/Germany. One of the unusual features of this installation is that the operation to convert to a well-type system has to be carried out without switching off the pumps in the auxiliary ventilation shaft as any such shutdown would result in an increase in the mine water levels. This would lead to a transfer of water into the adjoining water management zones, something that must be avoided at all costs.

Because of ongoing pumping operations the conventional method of partial backfilling using the casing pipe method could be used. What is more, the significant lack of vertical alignment in the shaft also ruled out the casing pipe system. This meant having to investigate the use of alternative technologies, a process that ultimately led to the concept of constructing a well pipe us-

ing a climbing formwork system. While this technique has proven itself many times over in the structural engineering sector it has never previously been used in the mining industry. The specifics of adapting to the special characteristics of a mine shaft environment were agreed at the planning stage between the formwork manufacturers, the concrete suppliers, the technical experts involved and the Arnsberg District Government. A full-scale concreting trial then confirmed the suitability of the formwork system, the specially developed concrete formula and the supporting stage construction. Various measurement systems were used to investigate the development of hydration heat in the concrete, the pressure build-up acting on the formwork system, the degree of adhesion to the shaft wall, the concrete distribution during the pour and the strength development of the concrete.

## Entwicklung eines Betoniersystems nach dem Funktionsprinzip der Kletterschalung zur Teilverfüllung des Schachts Friedlicher Nachbar

Der Schacht Friedlicher Nachbar in Bochum gehört zu den 13 zentralen Wasserhaltungsstandorten der RAG Aktiengesellschaft, Essen. Die Besonderheit an diesem Standort ist, dass der Umbau zum Brunnenbetrieb ohne Abschaltung der Pumpen im sonderbewetterten Schacht erfolgen muss, da das Abschalten ein Anstieg des Grubenwassers zur Folge hätte. Hieraus würden Wasserübertritte in die benachbarten Wasserprovinzen resultieren, die unter allen Umständen vermieden werden müssen.

Die übliche Vorgehensweise der Teilverfüllung mit Hüllrohrtechnik kann aufgrund des laufenden Pumpbetriebs nicht verwendet werden. Überdies wurde die Verwendung von Hüllrohren durch die enorme Schiefstellung des Schachts unmöglich. Die Entwicklung alternativer Technologien musste untersucht werden und führte schlussendlich zum Konzept der Herstellung einer

Brunnenröhre durch den Einsatz einer Kletterschalung. Dieses Verfahren hat sich zwar im Hochbau tausendfach bewährt, ist aber im Bergbau bislang nie eingesetzt worden. Die Anpassung an die Besonderheiten im Schacht wurde im Zuge der Planung zwischen dem Hersteller des Schalungssystems, den Betonlieferanten, den beteiligten Sachverständigen und der Bezirksregierung Arnsberg abgestimmt. Ein Betonerversuch im Maßstab 1:1 lieferte den Nachweis der Eignung des Schalungssystems, der entwickelten Betonrezeptur und der tragenden Bühnenkonstruktion. Dabei wurden über diverse Messsysteme die Hydrationswärmeentwicklung des Betons, die Druckentwicklung auf das Schalungssystem, das Haftungsverhalten auf die Schachtwand, die Verteilung des Betons bei der Verfüllung und die Festigkeitsentwicklung des Betons untersucht.

## Schacht 2 Friedlicher Nachbar

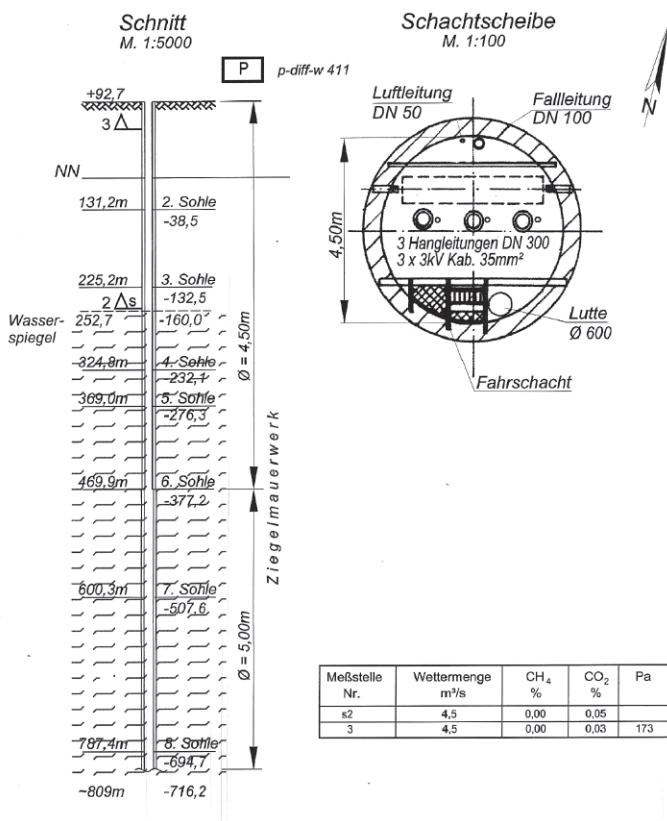


Fig. 1. Shaft cross section and profile view.

Bild 1. Schachtschnitt- und -scheibe. Source/Quelle: RAG

## 1 Introduction

In view of the fact that the conventional casing pipe method cannot be employed for converting to a well-type operating regime at the RAG-operated Friedlicher Nachbar shaft 2 in Bochum/Germany, this being due to the need to maintain pumping operations, it was subsequently decided that a climbing formwork system could be used as an effective alternative (1).

The concept that was to be applied, which is based on the formwork construction technique that is standard practice in the field of structural engineering, had to be modified for use in a mining shaft environment. Working closely with specialists in the field it was decided that the newly developed technology should be tested in a large-scale trial before it was finally used in a real shaft environment.

## 2 Local conditions and technical features

The shaft in question is 809 m in depth and has a diameter of 4.5 m. The following fittings and installations are present (Figure 1):

- North of the central axis (running east to west): three freely suspended DN 300 strain-resistant socket-type riser pipes with submersible pumps attached ( $d = 660$  mm).
- Southern shaft zone: ladder shaft mounted on buntons.
- South-east wall: DN 600 ducting.
- Northern shaft zone: bunton system running east to west; DN 100 water fall pipe; DN 50 compressed-air pipe.
- Twist-resistant scaffold at 220.5 m level.
- Inspection scaffold at the 3.0 m level.

## 1 Einleitung

Da die übliche Vorgehensweise mit Hüllrohrtechnik beim Umbau zum Brunnenbetrieb am Bochumer Schachtstandort Friedlicher Nachbar Schacht 2 der RAG Aktiengesellschaft, Essen, nicht angewendet werden kann, weil der Pumpbetrieb aufrechterhalten bleiben muss, kommt die alternative Herstellung einer Brunnenröhre durch eine Kletterschalung zum Einsatz (1).

Dieses Konzept basiert auf einer aus dem Hochbau üblichen Schalentechnik, die für den Einsatz im Schacht modifiziert werden musste. In enger Zusammenarbeit mit Sachverständigen entschied man, diese neu entwickelte Technik vor dem ersten Einsatz im Schacht in einem Großversuch zu erproben.

## 2 Örtliche und technische Rahmenbedingungen

Der Schacht hat eine Teufe von 809 m und einen Durchmesser von 4,5 m. Folgende Einbauten sind vorhanden (Bild 1):

- Nördlich der Mittelachse (Ost-West-Richtung): drei frei-hängend verlagerte ZSM-Steigleitungen (ZSM – zugfeste Steckmuffe) DN 300 mit angehängten Tauchmotorpumpen ( $d = 660$  mm).
- Südlicher Schachtbereich: an Einstrichen verlagerter Fahrschacht.
- Südöstlicher Stoß: Lutte DN 600.
- Nördlicher Schachtbereich: in Ost-West-Richtung verlaufender Einstrich; Fallwasserleitung DN 100; Druckluftleitung DN 50.
- Drallschellenbühne bei 220,5 m Teufe.
- Revisionsbühne bei 3,0 m Teufe.

Zur Beurteilung der Schachtschiefstellung wurde im Rahmen der Umbauplanung im April 2014 durch die DMT GmbH & Co. KG eine Schiefslagmessung mittels Laserscanner durchgeführt (Bilder 2, 3). Im Ergebnis wurde eine Schachtschiefstellung von 0,9 m in Nord-Süd- und 0,3 m in West-Ost-Richtung ermittelt. Dies hat einen erheblichen Einfluss auf die mögliche Pumpenanordnung.

Die Messung konnte nur bis 221,6 m Teufe durchgeführt werden, da für tiefere Messungen zunächst Einbauten geraubt werden müssen bzw. der Wasserspiegel abgesenkt werden muss. Die vorliegende Messung ist jedoch voraussichtlich für die weitere Planung der Pumpenanordnung zunächst völlig ausreichend. Eine gravierende Erhöhung der Schachtschiefstellung zur Teufe ist nicht zu erwarten.

Der Korb, der im Schacht Friedlicher Nachbar vorhandenen Befahrungsanlage ist am östlichen und westlichen Stoß durch Spurlatten geführt. Diese sind an Konsolen verlagert. Der einetageige Förderkorb hat eine Nutzlast von 0,44 t und fährt mit einer maximalen Geschwindigkeit von 0,3 m/s.

## 3 Pumpenanordnung

Für die Planung möglicher Anordnungen der Tauchmotorpumpen ist die Schachtschiefstellung das entscheidende Kriterium. Deshalb wurde das Ingenieurbüro ZPP Ingenieure AG, Bochum, mit einer Machbarkeitsstudie beauftragt, die auch die Einsatzmöglichkeit einer Kletterschalung untersuchen sollte. In Bild 4 ist die Ist-Situation (1.) unter Einbeziehung der Schachtschiefstellung dargestellt. Die beiden weiteren Darstellungen (2. und 3.) zeigen die möglichen Varianten der Pumpenanordnung. Der Schachtquerschnitt ist dabei idealisiert abgebildet (schwarz: Niveau Rasenhängebank (RHB), rot: Niveau Widerlager).

As part of the conversion planning work the DMT GmbH & Co. KG, carried out tilt measurements by laser scanner in April 2014 in order to assess the vertical misalignment (Figures 2, 3). These found that the shaft exhibited a misalignment of 0.9 m running north to south and of 0.3 m running west to east. This would have a massive influence on the possible pump configuration.

These measurements could only be taken to a depth of 221.6 m as any work below this level would first have required the removal of the shaft fittings and possibly the lowering of the water level. However the measurements that were possible were considered as perfectly adequate for any subsequent planning of the pump configuration. The degree of misalignment was not expected to increase dramatically further down the shaft column.

The cage fitted to the existing inspection system in the Friedlicher Nachbar shaft runs on shaft guides attached to the east and west side wall. These guides are mounted on a series of brackets. The single-deck cage has a payload capacity of 0.44 t and travels at a maximum speed of 0.3 m/s.

### 3 Pump configuration

The tilt of the shaft was the decisive factor when it came to planning possible layouts for the submersible pumps. For this reason Bochum-based consulting engineers ZPP Ingenieure AG, Bochum/Germany, were commissioned to carry out a feasibility study that was also to examine the possible application of a climbing formwork system. The existing situation in the shaft (1.) is shown in Figure 4 in conjunction with the shaft tilt. The other two depictions (2 and 3.) show the possible variants for the pump layout. Here the shaft cross section has been presented in an idealised form (black profile: pit-bank level, red profile: abutment level).

#### 3.1 Arranging the submersible pumps in line

A better option for arranging the pumps in line is to move the row 0.75 m to the south and at the same time pivot it by 15°. This would create a minimum distance of 0.45 m to the shaft walls.

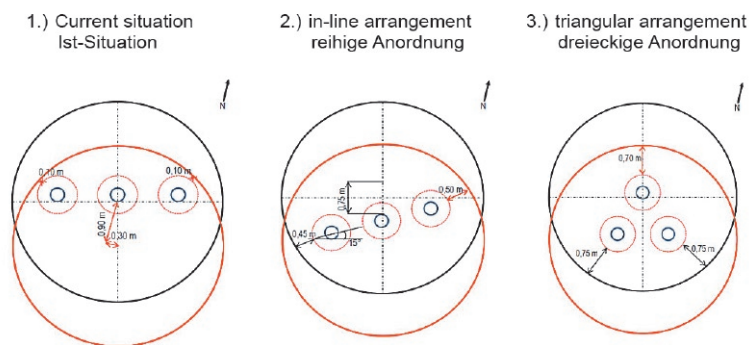


Fig. 4. Pump configuration (1). // Bild 4. Pumpenanordnung (1).

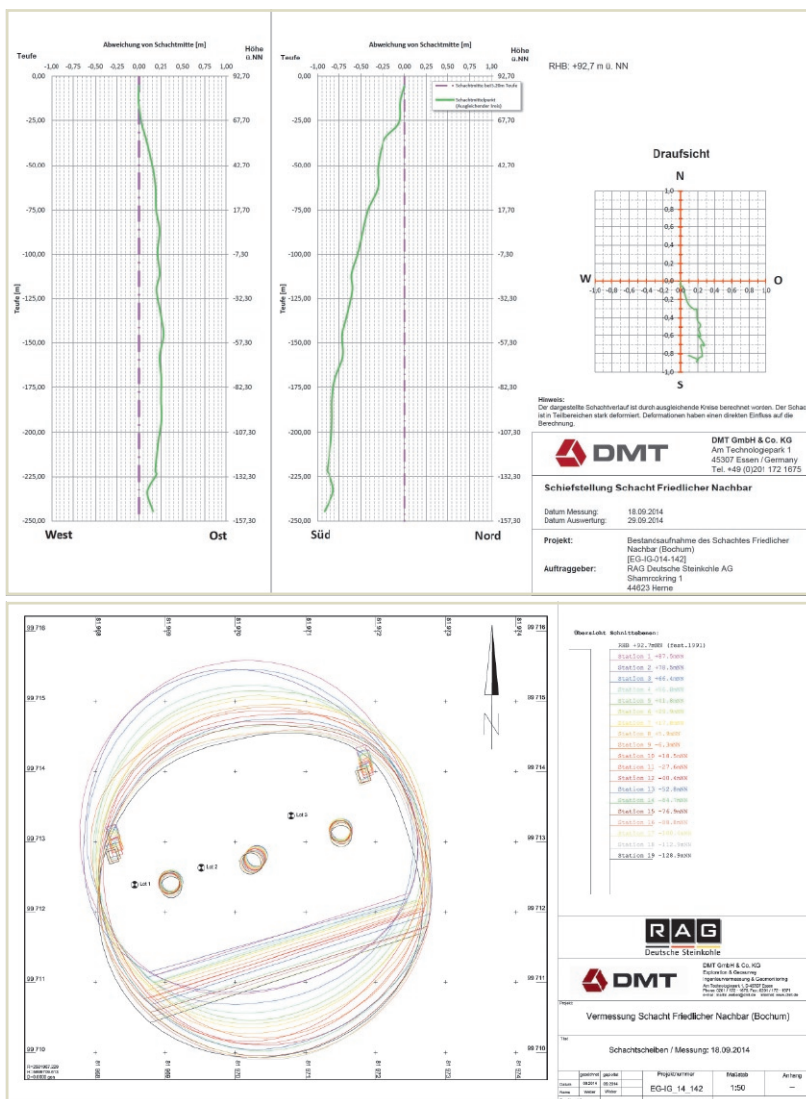


Fig. 2, 3. Results of the DMT laser scan. Bilder 2, 3. Laserscan der DMT. Source/Quelle: DMT

#### 3.1 Anordnung der Tauchpumpen in Reihe

Eine bessere Möglichkeit eine Anordnung der Pumpen in Reihe herzustellen, ergibt sich durch eine Verschiebung der Pumpenreihe um 0,75 m nach Süden bei gleichzeitigem Verschwenken der Reihe um 15°. Dadurch würden minimale Abstände von 0,45 m zu den Schachtstößen entstehen.

#### 3.2 Anordnung der Tauchpumpen im Dreieck

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Tauchpumpen im Dreieck anzuordnen. Für die Planung wurde an dieser Stelle ein Abstand der Tauchpumpenkörper untereinander von 0,3 m festgelegt. Dies entspricht dem im Istzustand vorhandenen Abstand.

Um unter Berücksichtigung der Schachtschiefstellung die maximalen Schachtabstände zu generieren, ist eine Verschiebung des Zentrums des Dreiecks um 0,55 m nach Süden erforderlich. Dadurch entstehen Abstände von minimal 0,7 m zwischen Tauchmotorpumpe und Schachtwand.

Die Anordnung der Tauchpumpen im Dreieck stellt somit die optimale Lösung dar.



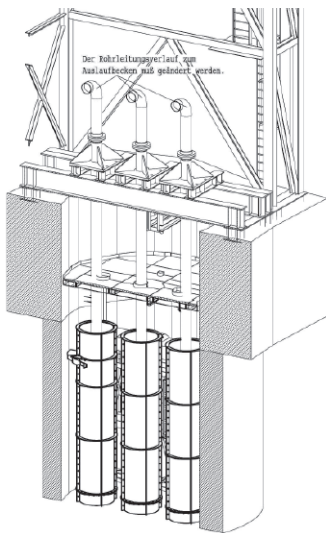


Fig. 5. Variant 1 – pump pipes constructed using split casing pipes. Bild 5. Variante 1 – Herstellung der Pumpenröhren mit Einsatz geteilter Hüllrohre. Source/Quelle: RAG

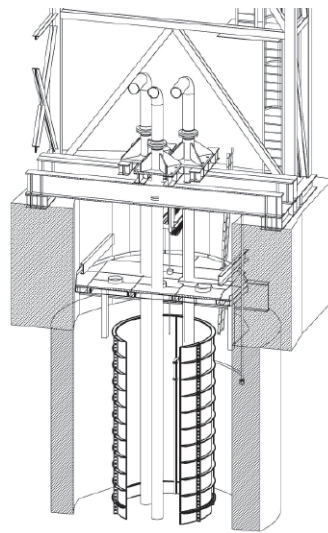


Fig. 6. Variant 2 – pump pipe constructed using split-type lost formwork. Bild 6. Variante 2 – Herstellung einer Pumpenröhre mit Einsatz einer geteilten verlorenen Schalung. Source/Quelle: RAG

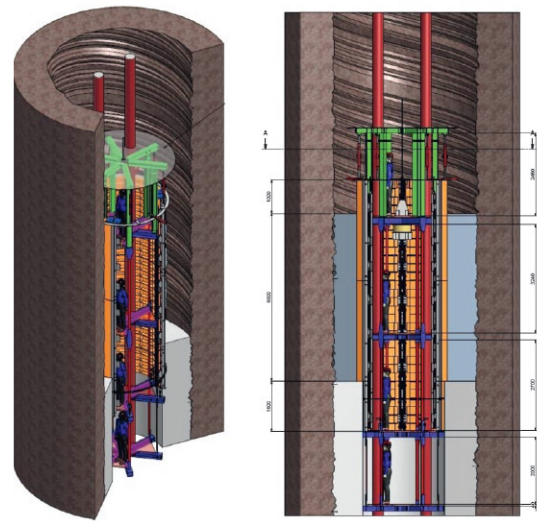


Fig. 7. Variant 3 – pump pipe constructed using climbing formwork. Bild 7. Variante 3 – Herstellung einer Pumpenröhre mit Einsatz einer Kletterschalung. Source/Quelle: RAG

### 3.2 Arranging the pumps in a triangle

Another possibility is to arrange the pumps in a triangle. This would involve placing them each 0.3 m apart. This corresponds to the gaps left between the pump units in the current situation. In order to create the maximum distance settings to the shaft wall, while at the same time taking account of the tilt, it is necessary to shift the centre of the triangle 0.55 m to the south. This produces a spacing of at least 0.7 m between each submersible pump and the shaft wall.

Placing the pumps in a triangular arrangement therefore represents the optimum solution.

### 4 Fabrication method

The basic choice is between operating the pumps in a common pump pipe and operating them in separate pipes. Here the method of fabrication must ensure an uninterrupted operation of the pumps.

The following options are possible:

1. Pump pipes fabricated using split casing pipes.
2. Pump pipe fabricated using split-type lost formwork.
3. Pump pipe fabricated using climbing formwork.

The first method requires the use of casing pipes that are split lengthwise (Figure 5). Using pipes of this type results in very high transport and assembly costs for each casting section. Because of the expensive production cost associated with these casing pipes, which are split lengthwise, this design also generates the highest material costs per metre.

The second method of construction involves the use of a lost formwork system that is split lengthwise (Figure 6). Using one large pipe in place of three smaller ones reduces the number of bolted connections. This method of fabrication also means high transport and assembly costs per casting section. However, these are lower than in the case of split casing pipes. The same also applies to the material costs.

### 4 Herstellverfahren

Grundsätzlich ist zwischen einem Betrieb der Pumpen in einer gemeinsamen Pumpenröhre und einem Betrieb in getrennten Röhren zu unterscheiden. Die Herstellverfahren müssen einen unterbrechungsfreien Pumpbetrieb gewährleisten.

Als Herstellverfahren kommen in Frage:

1. Herstellung der Pumpenröhren mit Einsatz geteilter Hüllrohre.
2. Herstellung einer Pumpenröhre mit Einsatz einer geteilten verlorenen Schalung.
3. Herstellung einer Pumpenröhre mit Einsatz einer Kletterschalung.

Das erste Herstellverfahren erfordert den Einsatz von in Längsrichtung geteilten Hüllrohren (Bild 5). Der Einsatz dieser Rohre verursacht einen sehr hohen Transport- und Montageaufwand je Betonierabschnitt. Aufgrund der aufwändigen Fertigung der in Längsrichtung geteilten Hüllrohre entstehen darüber hinaus bei dieser Variante die höchsten Materialkosten je Meter.

Als zweites Herstellverfahren bietet sich der Einsatz einer in Längsrichtung geteilten, verlorenen Schalung an (Bild 6). Durch die Verwendung einer großen Röhre anstelle von drei kleinen Röhren wird die Anzahl der Schraubverbindungen verringert. Auch dieses Herstellverfahren verursacht einen hohen Transport- und Montageaufwand je Betonierabschnitt. Dieser ist jedoch geringer als beim Einsatz von geteilten Hüllrohren. Gleiches trifft auch auf die Materialkosten zu.

Als drittes Herstellverfahren wurde der Einsatz einer Kletterschalung untersucht (Bild 7). Die Kletterschalung zeichnet sich durch wiederkehrende Einsatzmöglichkeit und eine reduzierte Montagezeit aus. Die nach dem Ausschalen des Betons erstellte Vorbauseule stellt höhere Anforderungen an den verwendeten Beton (2). Hierbei stehen verhältnismäßig geringe Kosten für die Schalung und ein einmaliger, geringer Montageaufwand erhöhten Materialkosten für den eingesetzten Beton gegenüber.

The third construction method to be investigated was the climbing formwork system (Figure 7). This structure offers the advantages of repetitive application and a reduced assembly time. The shaft liner that is produced when the formwork is stripped away places higher demands on the concrete material (2). With this method the relatively low cost of the formwork and the non-recurring and reduced cost of the assembly work are offset by the increased cost of the concrete materials.

All three construction processes were analysed and assessed on the basis of the specific costs generated by each individual system. The material costs for each of the three processes were determined with reference to a wide range of information. Similar calculations were carried out for the filler material (the climbing formwork system places greater demands on the quality of the concrete). The transport and assembly costs were estimated using the available empirical data.

## 5 Selection process

In view of the cost saving potential involved it was decided that the best option was to construct a common pump shaft for the three submersible pumps using a climbing formwork system. This technique has proven itself many times over in the structural engineering sector, though has never been employed in the German coal mining industry. Before the work commenced, therefore, the Hanover-based firm of consulting engineers LPI was commissioned to present an expert opinion that confirmed the durability and stability of concrete structures built using the climbing formwork method (3).

## 6 Design and operating principle of the climbing formwork concreting system

A formwork system patented by the company PASCHAL-Werk G. Maier GmbH, Gifhorn/Germany, was modified for use in Friedlicher Nachbar shaft 2. The modifications needed to adapt this system to the specific characteristics of the mine shaft were agreed during a detailed planning process that involved intensive discussions with the formwork manufacturers PASCHAL, the team of specialists from DMT and engineers from ZPP (Figures 8, 9).

The concreting unit is made up of the formwork casing (3 x 3 ring segments connected by striker wedges) with struts for aligning the formwork and the climbing unit (in this case designed as a mobile platform scaffold to TAS specifications) with its concreting platform with overhead deck, inspection scaffold, climbing deck and trailing scaffold, along with ladderways connecting the individual platform levels.

The formwork comprises three circular rings each divided into three segments. The two upper rings are 3,000 mm in height, while the bottom ring is 1,500 mm in height. The upper rings are 2,700 mm in diameter and the bottom ring has a diameter that is 5 mm smaller. The bottom ring incorporates an inflatable seal at a height of 1,000 mm. This seal effectively prevents any seepage of the concrete emulsion into the newly constructed concrete pipe. The ring's smaller diameter allows the formwork axis to be deviated slightly from the vertical in the event that directional changes or corrections have to be made.

The climbing unit is composed of a mobile suspended scaffold that is designed to TAS specifications. The individual platform

Alle drei Herstellverfahren wurden auf der Grundlage der spezifischen Kosten, die das einzelne System verursacht, analysiert und bewertet. Dazu wurden für jedes Verfahren die Materialkosten auf der Basis von Informationsangeboten ermittelt. Gleiches erfolgte für den jeweils einzusetzenden Verfüllbaustoff (höhere Ansprüche an die Betonqualität bei Einsatz einer Kletterschalung). Der Transport- und Montageaufwand wurde anhand vorliegender Erfahrungswerte abgeschätzt.

## 5 Auswahl des Verfahrens

Aufgrund des ermittelten Einsparpotentials wurde die Herstellung eines gemeinsamen Pumpenschachts für die drei Tauchmotorpumpen unter Einsatz einer Kletterschalung beschlossen. Dieses Verfahren ist im Hochbau tausendfach bewährt, wurde aber im deutschen Steinkohlenbergbau noch nie eingesetzt. Daher wurde im Vorfeld in einer gutachterlichen Stellungnahme durch das Ingenieurbüro LPI Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover, die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken beim Einsatz einer Kletterschalung bestätigt (3).

## 6 Aufbau und Funktionsweise des Betoniersystems Kletterschalung

Für den Einsatz im Schacht 2 Friedlicher Nachbar wurde ein patentiertes System der Firma PASCHAL-Werk G. Maier GmbH, Gifhorn, modifiziert. Die Anpassung an die Besonderheiten im Schacht wurde im Zuge der Detailplanung in intensiven Gesprächen mit dem Schalungshersteller PASCHAL-Werk, den beteiligten Sachverständigen der DMT und ZPP abgestimmt (Bilder 8, 9).

Die Betoniereinheit besteht aus der Schalung (3 x 3 Ringsegmente, verbunden durch Ausschalkeile) mit Streben zum Ausrichten der Schalung und der Klettereinheit (hier Ausführung als ortsveränderliche Bühne nach TAS) mit Betonierbühne mit Kopfschutzbühne, Revisions-, Kletter- und Nachlaufbühne sowie Fahrten zur Verbindung der einzelnen Bühnenebenen.

Die Schalung besteht aus drei Kreisringen, die in jeweils drei Segmente unterteilt sind. Die beiden oberen Kreisringe haben eine Höhe von 3.000 mm, der untere Ring hat eine Höhe von 1.500 mm. Der Durchmesser der oberen Ringe beträgt 2.700 mm, der untere Ring ist 5 mm kleiner im Durchmesser. Im unteren Ring ist in 1.000 mm Höhe eine aufblasbare Dichtung integriert. Diese Dichtung verhindert zuverlässig ein Durchsickern von Betonemulsion in die bereits fertiggestellte Betonröhre. Der kleinere Durchmesser ermöglicht eine geringe Abweichung der Schalungsachse von der Lotrechten zwecks ggf. erforderlicher Richtungskorrektur.

Die Klettereinheit besteht aus einer ortsveränderlichen, aufgehängten Bühne nach TAS. Die einzelnen Bühnenebenen bestehen aus einer sternförmigen Trägerkonstruktion. Sie sind durch Hängestreben miteinander verbunden. Die oberste Bühnenebene ist die sogenannte Betonierbühne. Von hier aus erfolgt das Verspannen und Entspannen der Schalung. Auch die Bedienung der zum Ausrichten der Schalung angeordneten Streben erfolgt von der Betonierbühne aus. Die Trägerkonstruktion dieser Bühnenebene beinhaltet auch die Aufhängekonstruktion für die gesamte Bühne. Weiterhin ist auf dieser Bühne eine Aufständerrung für die Kopfschutzbühne angeordnet.

Zur Teufe hin folgt eine Revisionsbühne. Von dieser Bühne kann die Funktion der Verspanneinrichtung überwacht werden.

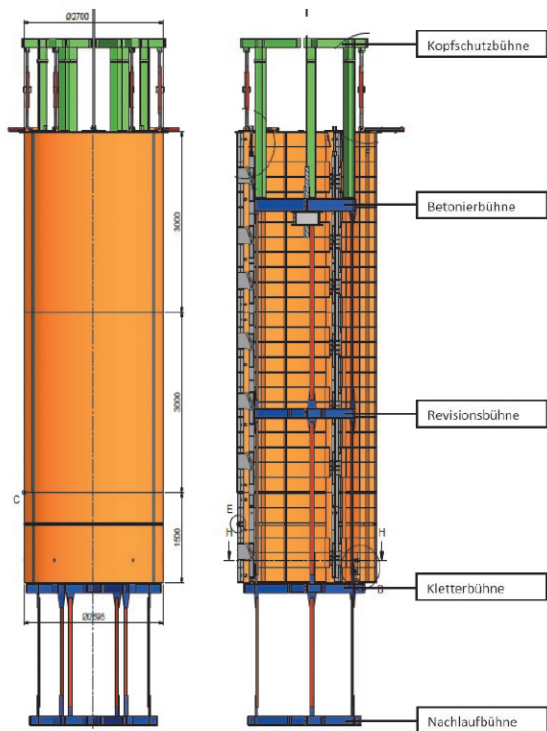
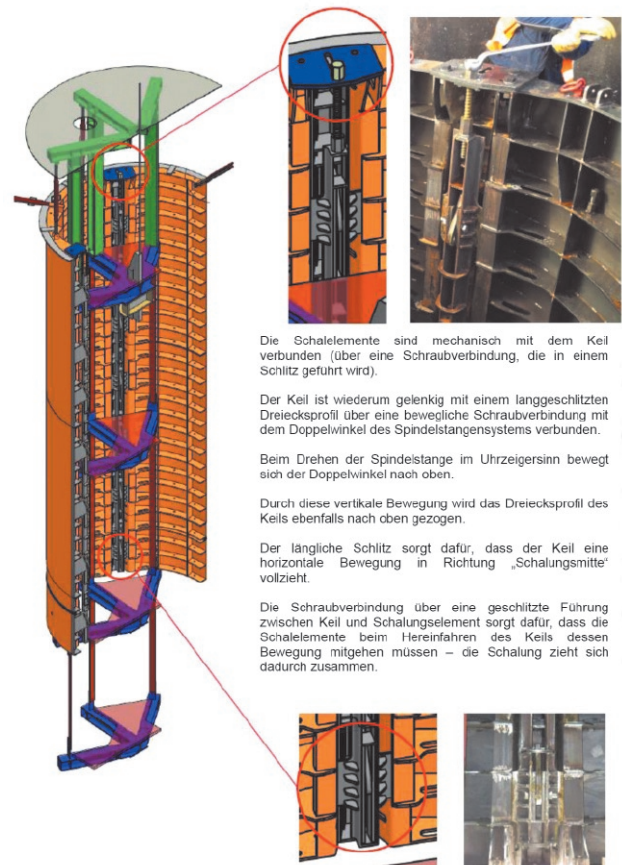


Fig. 8. Layout drawing of the climbing formwork concreting system.  
Bild 8. Systemskizze des Betoniersystems Kletterschalung.  
Source/Quelle: RAG



Die Schalelemente sind mechanisch mit dem Keil verbunden (über eine Schraubverbindung, die in einem Schlitz geführt wird).

Der Keil ist wiederum gelenkig mit einem langgeschlitzten Dreiecksprofil über eine bewegliche Schraubverbindung mit dem Doppelwinkel des Spindelstangensystems verbunden.

Beim Drehen der Spindelstange im Uhrzeigersinn bewegt sich der Doppelwinkel nach oben.

Durch diese vertikale Bewegung wird das Dreiecksprofil des Keils ebenfalls nach oben gezogen.

Der längliche Schlitz sorgt dafür, dass der Keil eine horizontale Bewegung in Richtung „Schalungsmitte“ vollzieht.

Die Schraubverbindung über eine geschlitzte Führung zwischen Keil und Schalungselement sorgt dafür, dass die Schalelemente beim Hereinfahren des Keils dessen Bewegung mitgehen müssen – die Schalung zieht sich dadurch zusammen.

Fig. 9. Operating principle of the climbing formwork system.  
Bild 9. Funktionsweise der Kletterschalung. Source/Quelle: RAG

levels feature a star-shaped supporting structure and are connected together by hanging struts. The topmost platform level is referred to as the pouring platform. It is from this level that the formwork is tightened up and slackened off. The struts that serve to align the formwork are also operated from the pouring platform. The supporting structure for this platform level additionally contains the suspension assembly for the entire platform. A mounting system for the overhead deck is also located on this platform level.

Further down comes the inspection scaffold, which can be used to monitor the operation of the tensioning system. This is followed by the climbing deck on which the formwork system rests. The inflatable seal is operated from this level. The final platform level is the trailing scaffold and the condition of the last casting section can be controlled from this level. Any aftercare measures that may prove necessary can also be carried out from this bottom scaffold.

## 7 Development of a suitable concrete formula

RAG commissioned LPI to develop a special concrete mix capable of meeting the requirements that the climbing formwork system would impose on the concreting technology.

One of the prerequisites was that the formula should meet the provisions of the Ordinance on Underground Waste Storage (VersatzV, 2002) (4), while another condition was that the mix should only use materials that were to be found in the Ruhr catchment area. The requirements of the stability analysis (2) carried out for the shaft backfill also had to be taken into account. The concrete

Es folgt die Kletterbühne. Darauf ist die Schalung aufgesetzt. Die Bedienung der aufblasbaren Dichtung erfolgt von hier. Letzte Bühnenebene ist die Nachlaufbühne. Von dieser Ebene kann der Zustand des letzten Betonierabschnitts kontrolliert werden. Ggf. erforderliche Nachbehandlungsmaßnahmen können ebenfalls von dieser Bühne ausgeführt werden.

## 7 Entwicklung einer geeigneten Betonrezeptur

Um den Anforderungen der Kletterschalung an die Betontechnik Rechnung zu tragen, wurde im Auftrag der RAG von der LPI eine spezielle Betonrezeptur entwickelt.

Vorgabe war hierbei einerseits die Einhaltung der Versatzverordnung (VersatzV, 2002) (4), zum anderen sollten nur Materialien verwendet werden, die im Einzugsgebiet des Ruhrgebiets verfügbar sind. Weiterhin mussten die Anforderungen aus der Standsicherheitsberechnung (2) für die Schachtverfüllung berücksichtigt werden. Der Beton der VorbauSchale muss ein geringes Schwindmaß aufweisen und eine schnelle Eigentragfähigkeit entwickeln. Der Beton muss eine Konsistenz aufweisen, welche die gleichmäßige Ausbreitung und das sichere Umschließen von Schachteinbauten gewährleistet.

Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen wurden mehrere Rezepturen unter Laborbedingungen getestet und in Abstimmung mit den Sachverständigen die geeignetste Rezeptur ausgewählt.

## 8 Verifizierung durch einen Großversuch im Maßstab 1:1

Um die Eignung nachzuweisen, wurde das Zusammenspiel aller beteiligten Komponenten (Betonrezeptur, Schalungssystem und





Fig. 10. Casing ring replicates the shaft wall.  
Bild 10. Schalung als Schachtwand. Photo/Foto: RAG

to be used for the preliminary skin had to exhibit a low degree of shrinkage and would have to develop a rapid load-bearing capacity. It should also have a consistency capable of ensuring an even spread and an effective envelopment of the shaft fittings.

On the basis of these parameters several different formulas were tested under laboratory conditions and the most suitable mix was then selected by agreement with the specialists.

## 8 Verification by full-scale trial

In order to verify the material's suitability a full-scale trial was finally carried out in July 2016 at the Haus Aden pumping station site, the aim being to investigate the interplay between all the components involved (concrete formula, formwork system and load-bearing platforms).

### 8.1 Test setup

The concreting test sought to verify the suitability of the formwork system, the applicability of the newly developed concrete formula and the effectiveness of the supporting platforms. To achieve this a slab of concrete was first built on the grounds of the Haus Aden pumping station in order to divert the loads generated by the concreting test into the substrate. An outer ring of casing was then set up on the concrete slab to simulate the walls of the shaft. This casing was supported by a series of external struts that would allow it safely to retain the pressure of the concrete. The climbing formwork, which was 2.7 m in diameter, was then positioned eccentrically within the outer casing (diameter 4.5 m). These diameters and the eccentric arrangement of the formwork were deliberately chosen to replicate the unfavourable concreting conditions prevailing in Friedlicher Nachbar shaft 2 because of the shaft tilt (Figure 10).

### 8.2 Concreting trial

The first part of the trial involved the pouring of a concrete column 2.25 m in height (Figure 11). To achieve this

tragende Bühnenkonstruktion) schließlich im Juli 2016 in einem Großversuch im Maßstab 1:1 auf dem Gelände der Wasserhaltung Haus Aden getestet.

### 8.1 Versuchsaufbau

Der Betonversuch sollte die Eignung des Schalungssystems, die Eignung der entwickelten Betonrezeptur und die Eignung der tragenden Bühnenkonstruktion nachweisen. Dazu wurde auf dem Betriebsgelände der Wasserhaltung Haus Aden zunächst eine Betonplatte hergestellt, um die Lasten aus dem Betonversuch in den Untergrund abzutragen. Auf dieser Betonplatte wurde dann eine Außenschalung aufgestellt, welche die Schachtwand simuliert. Die Schalung wurde über Streben nach außen abgestützt und der Betondruck damit sicher abgetragen. Innerhalb dieser Außenschalung (Durchmesser 4,5 m), wurde dann die Kletterschalung mit einem Durchmesser von 2,7 m exzentrisch angeordnet. Durch die Wahl der angegebenen Durchmesser und die exzentrische Anordnung wird der aus der Schachtschiefstellung resultierende, ungünstigste Betonierzustand im Schacht 2 Friedlicher Nachbar abgebildet (Bild 10).

### 8.2 Betonversuch

In einem ersten Abschnitt, wurde zunächst eine Betonsäule von 2,25 m Höhe betoniert (Bild 11). Dazu wurde der obere Schalungsring der Kletterschalung exzentrisch in der Außenschalung platziert und auf der Betonplatte gegen Verrutschen gesichert. Das Einbringen des Transportbetons erfolgte mittels einer Autobetonpumpe mit Verteilermast. So wurde die Ausgangssituation für den fortlaufenden Betoniervorgang mit der Kletterschalung dargestellt.

Für den eigentlichen Betonversuch wurde die Kletterschalung auf der geplanten Bühnenkonstruktion aufgebaut. Diese Bühne wurde für den Versuch geringfügig modifiziert. Die geplanten Hängestreben wurden durch eine Rohrkonstruktion mit Kreuzverstreben ersetzt. Die einzelnen Bühnenebenen wurden mit einem Bohlenbelag versehen. Zusätzlich wurden unter



Fig. 11. The first casting section.  
Bild 11. Erster Betonierabschnitt. Photo/Foto: RAG

the upper ring of the climbing formwork was positioned eccentrically within the outer casing and firmly secured on the concrete slab to prevent any risk of slipping. The ready-mixed concrete was then poured in using a truck-mounted concrete pump with a placing boom. This represented the starting position for the ongoing casting operation for the climbing formwork.

For the actual concrete casting test the climbing formwork was built up on the intended platform structure. This stage was slightly modified for the trial. The suspended bracing struts were replaced by a tubular construction with cross stays. The individual platform levels were provided with decking, 1,000 mm-long props were also fitted beneath the supporting structure of the pouring platform. This allowed the concreting system to be dropped down into the start pipe. The climbing formwork was thereby lowered 1,070 mm into the start pipe (the 2,250 mm concreted plinth minus the 1,000 mm of prop length minus the 180 mm profile thickness of the supporting structure for the climbing deck). This corresponded to the procedure that was planned for the future shaft backfilling operation. The additional props were brought in to avoid the need for a mobile crane for suspending the concreting system during the casting test. When it is being deployed in the shaft the concreting system is suspended by a rope from a suitably sized platform winch. The deployment and subsequent withdrawal of the formwork is then carried out by truck-mounted crane using the original anchor point on the concreting stage.

The climbing formwork was braced in the described position and aligned using the struts arranged around its upper edge. The seal was inflated with a normal foot-operated air pump. These were the preparations that were put in place for testing the concreting system.

### 8.3 Measurement programme

Numerous measuring transducers were installed following the assembly of the concreting system (Figure 12). Temperature sensor heads were placed in the interspace between the outer casing and the climbing formwork. These supplied information on the development of hydration heat. Strain gauges were also fitted to the outer casing in order to investigate the adhesion behaviour between the mass concrete block and the shaft wall. Pressure measuring pads, which were applied to the inner face of the outer casing, were used to provide information on pressure development at the casing system during the concrete pouring process. After the concrete pour test had been completed, the outer casing removed and the climbing formwork withdrawn the entire concrete body was left readily accessible for further investigations. As the concrete column hardens core drillings can be

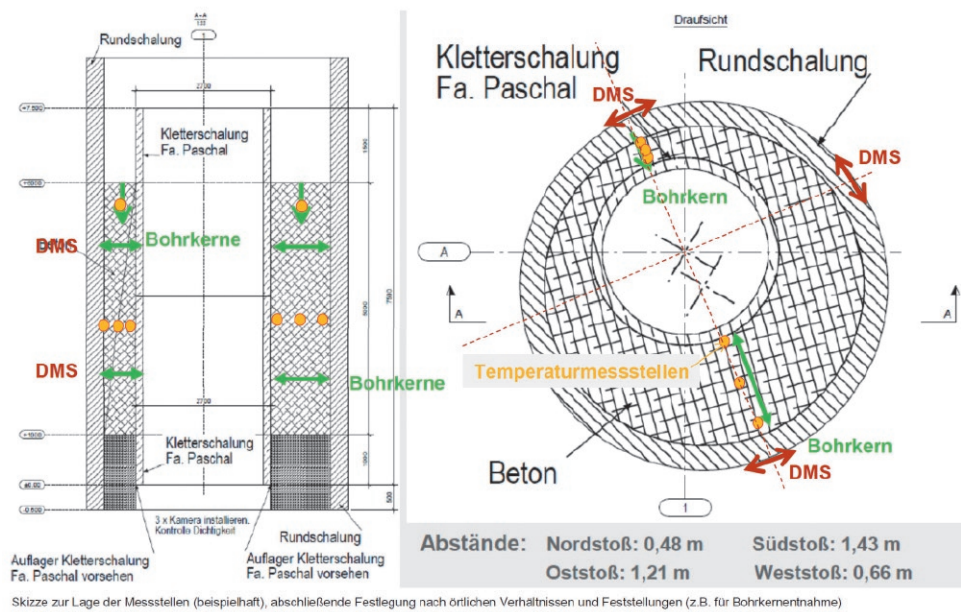


Fig. 12. Drawing showing the position of the measuring points (3).  
Bild 12. Skizze zur Lage der Messstellen (3).

der Trägerkonstruktion der Betonierbühne Stützen mit 1.000 mm Länge montiert. Dies ermöglichte das Absetzen des Betoniersystems in der Startröhre. Die Kletterschalung wurde somit 1.070 mm tief in der Startröhre abgesetzt (2.250 mm betonierter Sockel minus 1.000 mm Stützenlänge minus 180 mm Profilstärke der Trägerkonstruktion der Kletterbühne). Dies entspricht dem geplanten Betriebsablauf während der späteren Schachtverfüllung. Die zusätzlichen Stützen wurden angebracht, um während des Betonierversuchs auf einen Mobilkran zum Aufhängen des Betoniersystems verzichten zu können. Während des Einsatzes im Schacht hängt das Betoniersystem am Seil einer entsprechend dimensionierten Bühnenwinde. Das Einsetzen und das spätere Ziehen der Schalung erfolgt dann an dem originalen Anschlagpunkt auf der Betonierbühne mittels Autokran.

Die Kletterschalung wurde in der beschriebenen Position gespannt und mithilfe der am oberen Rand der Schalung angeordneten Streben ausgerichtet. Die aufblasbare Dichtung wurde mit einer handelsüblichen Fußluftpumpe aufgeblasen. Somit war das Betoniersystem für den Versuch vorbereitet.

### 8.3 Messprogramm

Im Anschluss an den Aufbau des Betoniersystems wurden zahlreiche Messwertaufnehmer installiert (Bild 12). Im Zwischenraum zwischen Außen- und Kletterschalung wurden Temperaturmessköpfe angeordnet. Diese liefern Erkenntnisse über die Hydratationswärmeentwicklung. Zusätzlich wurden an der Außenschalung Dehnungsmessstreifen angebracht, um das Haftungsverhalten eines massigen Betonkörpers an einer Schachtwand zu untersuchen. Druckmesskissen, angebracht an der Innenseite der Außenschalung, sollen Erkenntnisse über die Druckentwicklung auf das Schalungssystem während des Betoniervorganges liefern. Nach Abschluss der Probetonierung, dem Entfernen der Außenschalung und dem Ziehen der Kletterschalung ist der gesamte Betonkörper für weitere Untersuchun-





Fig. 13. Concreting test (left: planned scenario; right: reality).  
Bild 13 Betoniersuch (links: Planung; rechts: Realität). Source/Quelle: RAG

taken to obtain further findings on the strength development of the concrete formula used.

The metrological concept used (3) was set up by the LPI in close coordination with the DMT. The LPI was also responsible for evaluating and documenting the test.

The concrete used for the pouring test (Figure 13) was produced in RAG's own concrete plant and delivered to the site by truck. The LPI carried out quality control checks before the individual batches were delivered. On arrival at the deployment site, and before the material was discharged from the truck into the two concrete pumps, the flow spread of each batch was established in order to ensure that the requirements of the specified consistency class of F<sub>5</sub>/F<sub>6</sub> were still being met, and this in spite of the long haulage distance from Auguste Victoria shaft 9 to Haus Aden. Concrete placement was effected by two truck-mounted pumps with booms that were able to direct the material into the target zone. These correspond to the filling pipes that would be used for the actual shaft backfill operation.

The concrete pour was completed in about 5 hours, which represented a pouring rate of 1.0 to 1.1 m/h. After a setting time of 16 h the climbing formwork was withdrawn according to plan, as it would be in the real operation later.

During the pour the flow behaviour of the concrete was observed from two scaffold towers that had been erected on either side of the test setup and from a bridgeway connecting the two.

## 8.4 Assessment

After all the measurements and material investigations had been analysed the outcome of the test was summarised as follows (3).

### 8.4.1 Concrete formula

The experimental formula developed from the laboratory tests essentially met the various requirements in respect of workability, next-day demoulding strength and final strength. It can there-

gen frei zugänglich. Über Kernbohrungen können während des Aushärtens der Betonsäule weitere Erkenntnisse über die Festigkeitsentwicklung der eingesetzten Betonrezeptur gewonnen werden.

Das messtechnische Konzept (3) wurde von der LPI in enger Abstimmung mit der DMT aufgestellt. Die LPI übernahm auch die Auswertung und Dokumentation des Versuchs.

Für die Durchführung des Betoniersuchs (Bild 13) wurde der Beton von der RAG-eigenen Betonanlage hergestellt und mit Transportfahrzeugen angeliefert. Eine Kontrolle durch die LPI stellte dabei vor Auslieferung der einzelnen Chargen die Qualität sicher. Bei Erreichen des Einsatzorts wurde vor dem Entleeren des Transportfahrzeugs in die beiden Betonpumpen

das Ausbreitmaß jeder Charge bestimmt, um die vorgesehene Konsistenzklasse F<sub>5</sub>/F<sub>6</sub> trotz des langen Transportwegs von Auguste Victoria Schacht 9 nach Haus Aden sicher einhalten zu können. Das Einbringen des Betons erfolgte mit zwei Autobetonpumpen, deren Verteilermasten den Beton in den zu verfüllenden Raum einbrachten. Dies entspricht den für die Schachtverfüllung geplanten Verfüllleitungen.

Der Betoniervorgang, wurde in ca. 5 h durchgeführt. Das entspricht einer Betoniergeschwindigkeit von 1,0 bis 1,1 m/h. Nach einer Aushärtedauer von 16 h wurde die Kletterschalung, wie im späteren Einsatz vorgesehen, planmäßig gezogen.

Die Beobachtung des Fließverhaltens des Betons während des Betoniervorgangs wurde durch zwei seitlich neben dem Versuchsaufbau angeordnete Treppentürme sowie eine diese verbindende Gerüstbrücke ermöglicht.

## 8.4 Auswertung

Nach Auswertung aller Messungen und Materialuntersuchungen lässt sich das Ergebnis wie folgt zusammenfassen (3).

### 8.4.1 Betonrezeptur

Die aus den Laborversuchen abgeleitete Versuchsrezeptur hat die Anforderungen Verarbeitbarkeit, Ausschalfestigkeit am nächsten Morgen und Endfestigkeit im Wesentlichen erfüllt. Sie kann daher als Basis für weitere Untersuchungen herangezogen werden. Gewisse Änderungen im Anforderungsprofil, wie z.B. Temperaturrandbedingungen oder Fahrzeit der Transportfahrzeuge, können über die Zusatzmitteldosierung eingestellt werden. Bei signifikant anderen Randbedingungen wie Änderung der Ausgangsstoffe oder kalte Bedingungen/heiße Bedingungen kann aus technischen Gründen eine entsprechende Modifikation der Rezeptur erforderlich sein. In Bezug auf die Hydratationswärmeeentwicklung besteht ebenfalls noch Optimierungspotential (Bild 14).

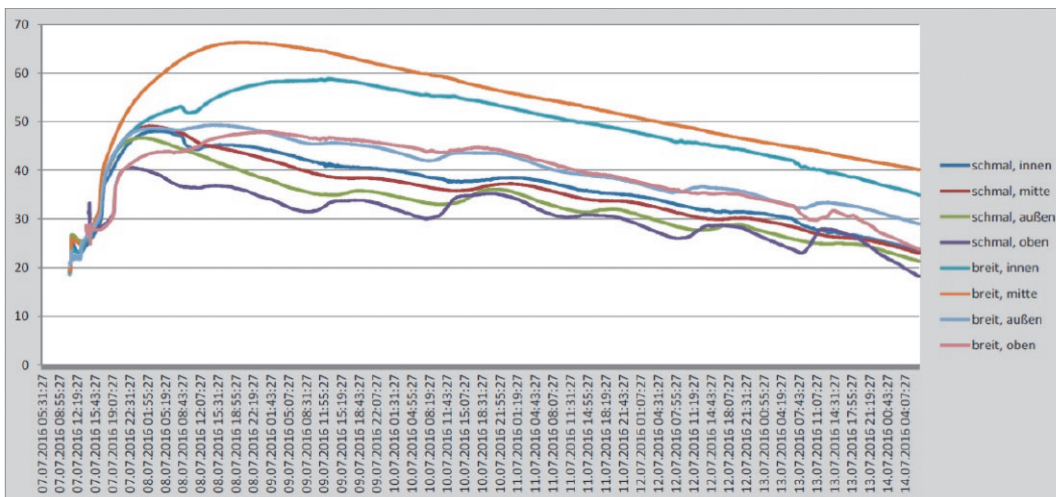


Fig. 14. Development of concrete temperature (3).  
Bild 14. Entwicklung der Betontemperatur (3).

fore be used as a basis for further trials. Certain modifications to the requirements profile, e.g. temperature boundary conditions and truck journey times, can be configured via the additive dosing process. Any other significant alteration in the boundary conditions, such as changes to the source materials or deployment in cold conditions/hot conditions, may for technical reasons require an appropriate modification to the formula. There is also still room for potential improvement in terms of hydration heat development (Figure 14).

#### 8.4.2 Concrete production

Even a high-specification concrete such as that used here can be produced by RAG's own semi-mobile mixing plant. The quality assurance effort required for this C25/30 concrete is greater than that for conventional B5 or B25 shaft backfill material (B5 < C8/10; B25 C20/25). Appropriate concrete-technology support is therefore recommended, at least where new work sections or formula adjustments are concerned, such as alterations to the source materials. For this particular trial the concrete travel time was about one hour. This meant that the concrete had to remain workable for a correspondingly longer time. However, the mixing plant should normally be positioned as close as possible to the placement site. The transit time of one hour attempted here is generally unfavourable and should not be exceeded. If the haulage route to be used is prone to traffic congestion it may be necessary to consider a night-time concreting operation.

#### 8.4.3 Concrete placement

When two filler pipes were used (Figure 15) the concrete (8 mm max grain size, round) of consistency class F6 (consistency range F1 = stiff to F6 = free flowing), with F5 used in the upper zone, spread readily out over the formwork. Using individual batches of stiffer F4 material did not appreciably affect the overall picture. A softer consistency could have been employed but this would have meant an increase in the formwork pressure and could have presented problems in respect of setting behaviour and demoulding strength development.

#### 8.4.2 Betonherstellung

Mit der semimobilen RAG-Mischanlage kann auch ein solch anspruchsvoller Beton grundsätzlich hergestellt werden. Der Qualitätssicherungsaufwand des verwendeten C25/30-Betons ist höher als bei üblichen Schachtverfüllungen mit B5- oder B25-Material (B5 < C8/10; B25 C20/25). Eine entsprechende betontechnologische Unterstützung mindestens bei neuen Arbeitsabschnitten oder Rezepturanpassungen, z.B. Änderung der Ausgangsstoffe, wird empfohlen. Die Fahrzeit des Betons betrug im Versuch rund eine Stunde. Dafür muss der Beton entsprechend länger verarbeitbar gehalten werden. Grundsätzlich sollte aber die Mischanlage möglichst nah am Einbauort positioniert werden. Die hier getestete Fahrzeit von einer Stunde ist bereits ungünstig und sollte nicht überschritten werden. Bei Strecken mit starkem Straßenverkehrsaufkommen ist ggf. über einen Einbau während der Nacht nachzudenken.

#### 8.4.3 Betoneinbau

Bei Verwendung von zwei Einbauleitungen (Bild 15) verteilte sich der Beton (8 mm Größtkorn, Rundkorn) bei Konsistenzklasse F6 (Konsistenzbereich F1 = steif bis F6 = sehr fließfähig) und im obern

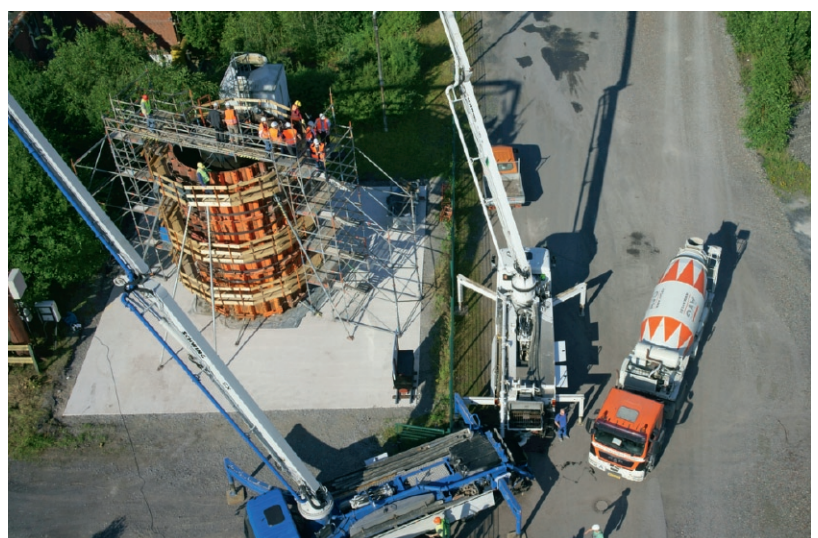


Fig. 15. Placement under way with two concrete pumps.  
Bild 15. Betoneinbau mit zwei Betonpumpen. Photo/Foto: RAG

In principle the aim is to place the concrete as rapidly as possible and with few or no interruptions. However, the concreting test also showed that even an interruption of around 1.5 h to the pour had no significant effect on the overall result. In spite of the relative sensitive nature of the concrete the placement system used in the full-scale trial proved to be fairly resilient. The compressive strength values measured at the finished structure averaged out at around 45 N/mm<sup>2</sup> after 28 days, thereby meeting the static requirements with a fair amount to spare.

## 9 Initial use of climbing formwork at Fürst Leopold 1 shaft

After the full-scale trial with the climbing formwork had been completed the system was then successfully deployed at Fürst Leopold 1 shaft. This shaft is 6.50 m in diameter and 903 m in depth. The climbing formwork was used to pour some 18,000 m<sup>3</sup> of concrete into the shaft from the abutment at the 670 m level. The application of the climbing formwork under real conditions showed that this system constitutes a highly suitable method for shaft backfilling.

### References / Quellenverzeichnis

- (1) Opitz, D.; Nilotzki, S. (2014): Machbarkeitsstudie zum Einsatz einer Kletterschalung im Rahmen der Schachtverfüllung Friedlicher Nachbar 2.
- (2) Friedrich, T.; Schepp, T. (2016): Schacht Friedlicher Nachbar 2 – Gutachten zum Umbau des Schachtes zum Wasserhaltungsstandort.
- (3) Lohaus, L.; Petersen, L. (2015): Gutachterliche Stellungnahme Betontechnologie.
- (4) VersatzV (2002): Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage.

ren Bereich von F5 gut in der Schalung. Einzelne Chargen steiferen Materials F4 wirken sich nicht nennenswert auf das Gesamtbild aus. Eine weichere Einbaukonsistenz könnte eingestellt werden, würde aber erhöhend auf den Schalungsdruck wirken und könnte problematisch hinsichtlich des Erstarrungsverhaltens und der Ausschalfestigkeitsentwicklung sein.

Grundsätzlich ist ein möglichst zügiger, unterbrechungsfreier Betoneinbau anzustreben. Bei der Versuchsbetonage hat sich aber auch gezeigt, dass sogar eine Unterbrechung des Einbaus von rd. 1,5 h keine deutlichen Auswirkungen auf das Gesamtbild hat. Beim Großversuch erwies sich das Einbaukonzept trotz des relativ sensiblen Betons vergleichsweise robust. Die am Bauwerk gemessenen Druckfestigkeiten erreichten Werte von im Mittel rd. 45 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen und erfüllten die statischen Anforderungen mit einer deutlichen Reserve.

## 9 Ersteinsatz der Kletterschalung im Schacht Fürst Leopold 1

Nach der Erprobung der Kletterschalung im Großversuch wurde die Kletterschalung erfolgreich im Schacht Fürst Leopold 1 eingesetzt. Der Schacht Fürst Leopold 1 hat einen Durchmesser von 6,50 m und eine Teufe von 903 m. Ab dem Widerlager in einer Teufe von 670 m wurden unter Einsatz der Kletterschalung ca. 18.000 m<sup>3</sup> Beton in den Schacht eingebracht. Der Einsatz der Kletterschalung unter realen Bedingungen hat gezeigt, dass die Kletterschalung eine gut geeignete Methode zur Schachtverfüllung ist.

### Authors / Autoren

Dipl.-Ing. Carsten Linka, ZPP Ingenieure AG, Bochum,  
Dipl.-Ing. Dieter Harges, RAG Aktiengesellschaft, Essen