

Practical Examples from Concrete Logistics in Shaft Construction – a Conveying Challenge

Along with steel, concrete is used as one of the most important materials in shaft construction and is used in almost every job. Concrete is also used as a building material in construction areas such as structural and civil engineering. Only the working conditions in shaft construction are completely different from those in other construction areas such as building construction or civil engineering. There, the construction sites are accessible with

truck mixers right up to the excavation pit, the further transport routes are short and there is usually plenty of space available all around. Shaft construction always requires individual solutions, because every shaft has its own special features. Three practical examples are used in this article to illustrate the special experiences with the processing of concrete in shaft construction.

Praxisbeispiele aus der Betonlogistik im Schachtbau – eine fördertechnische Herausforderung

Beton wird neben Stahl im Schachtbau als eines der wichtigsten Materialien verwendet und kommt nahezu in jedem Auftrag zum Einsatz. Beton wird als Baumaterial auch in deren Baubereichen wie Hoch- und Tiefbau verwendet. Nur die Arbeitsumstände im Schachtbau sind völlig anders als in anderen Baubereichen wie im Hoch- oder Tiefbau. Dort sind die Baustellen bis dicht an die Bau-

grube mit Fahrmischern zugänglich, die weiteren Transportwege sind kurz und Platz steht rundum meistens reichlich zur Verfügung. Im Schachtbau sind immer individuelle Lösungen erforderlich, denn jeder Schacht weist seine Besonderheiten auf. Anhand dreier Praxisbeispiele werden in diesem Beitrag die besonderen Erfahrungen mit der Verarbeitung von Beton im Schachtbau verdeutlicht.

1 General information

Along with steel, concrete is one of the most important materials used in shaft construction and is used in almost every job. Concrete is also used as a building material in construction areas such as structural and civil engineering. Only the working conditions in shaft construction are completely different from those in other construction areas such as building construction or civil engineering. There, the construction sites are accessible with truck mixers right up to the excavation pit, the further transport routes are short and there is usually plenty of space available all around. The concreting process is planned precisely in advance and the logistics with cranes or concrete pumps are aligned accordingly. The construction sites mainly run during the day in the week and the opening hours of the ready-mixed concrete plants are adapted to this. Outside these opening hours, concrete is of course also delivered, but the prices per cubic metre are then completely different. In a building, you can always get to every spot and when concrete is being poured on the first floor, the plumber and the electrician can already be working in the basement.

In shaft construction, you almost always work around the clock, seven days a week, and the concrete has to be processed when the other work processes require it. In addition, it is always cramped and far away from the surface. The working area in shaft

1 Allgemeines

Beton wird neben Stahl im Schachtbau als eines der wichtigsten Materialien verwendet und kommt nahezu in jedem Auftrag zum Einsatz. Beton wird als Baumaterial auch in deren Baubereichen wie Hoch- und Tiefbau verwendet. Nur die Arbeitsumstände im Schachtbau sind völlig anders als in anderen Baubereichen wie im Hoch- oder Tiefbau. Dort sind die Baustellen bis dicht an die Baugrube mit Fahrmischern zugänglich, die weiteren Transportwege sind kurz und Platz steht rundum meistens reichlich zur Verfügung. Der Betoniervorgang wird länger im Voraus zeitlich genau geplant und daraufhin wird die Logistik mit Kränen oder Betonpumpen ausgerichtet. Die Baustellen laufen überwiegend in der Woche tagsüber und man passt sich den Öffnungszeiten der Transportbetonwerke an. Außerhalb dieser Öffnungszeiten bekommt man natürlich auch Beton geliefert, aber die Preise je Kubikmeter sehen dann völlig anders aus. In einem Gebäude kommt man rundum immer an jede Stelle und wenn im ersten Stock betoniert wird, können im Keller schon der Klempner und der Elektriker arbeiten.

Im Schachtbau arbeitet man fast immer rund um die Uhr, sieben Tage die Woche und der Beton muss dann verarbeitet werden, wenn die anderen Arbeitsvorgänge es erfordern. Darüber hinaus ist es immer eng und weit weg von der Oberfläche. Die

construction is 40 to 60 m², depending on the diameter of the shaft, and sometimes well below 10 m² (Figure 1).

The sinking floor or the working area can only be reached by hoisting, of which there is usually only one. Swivelling as above ground with a crane is not possible at all in the shaft. The use of working platforms with several levels only partly compensates for this disadvantage, because there is work that cannot be done on top of each other.

By the time the concrete reaches the paving site, it is usually handled several times and is also transferred in some way. So the truck mixer does not get to the paving site, but only as far as the pit-bank level. From there on it goes on “somehow” differently and this “somehow” has to be planned anew each time and also done in the end.

The requirements from the concrete standards are a thick chapter in themselves, which are always included and do not simplify the whole thing. Only one point from these standards is the requirement to have the concrete in the formwork 90 min after mixing. The details on this would fill a book!

2 Use of concrete

Either the concrete is processed as “in-situ concrete”, i.e. the freshly mixed concrete is placed behind a formwork to then harden. This formwork must be able to be accommodated in the space available and handling the formwork is more complicated in the shaft than in building construction with a crane (Figure 2). The components must have a minimum thickness because the reinforcement in the concrete requires several centimetres of concrete cover. It is difficult to place concrete overhead in the shaft or filling location with a formwork.

If you have the concrete delivered by a ready-mix concrete plant, you have to adapt to different opening hours, usually Monday to Friday from 7 am to 6 pm. Outside these hours and at weekends, it gets really expensive.



Fig. 2. Placing in-situ concrete in the shaft. // Bild 2. Einbringen von Ortbeton im Schacht. Source/Quelle: Redpath Deilmann



Fig. 1. Working conditions in shaft sinking. // Bild 1. Arbeitsbedingungen im Schachtbau. Source/Quelle: Redpath Deilmann

Arbeitsfläche umfasst im Schachtbau je nach Durchmesser des Schachts 40 bis 60 m², mitunter auch deutlich unter 10 m² (Bild 1).

Die Teufsohle oder die Arbeitsstelle sind nur über die Förderung erreichbar, von denen es meistens nur eine gibt. Schwenken wie über Tage mit einem Kran ist im Schacht gar nicht möglich. Durch den Einsatz von Arbeitsbühnen mit mehreren Etagen wird dieser Nachteil nur zum Teil ausgeglichen, denn es gibt Arbeiten, die nicht übereinander stattfinden können.

Bis der Beton an der Einbaustelle ist, wird er in der Regel mehrfach in die Hand genommen und auch in irgendeiner Form umgeschlagen. Der Fahrmixer kommt also nicht zum Einbaort, sondern nur bis zur Rasenhängebank. Ab da geht es dann „irgendwie“ anders weiter und dieses „Irgendwie“ muss jedes Mal neu geplant und am Ende auch gemacht werden.

Die Anforderungen aus den Beton-Normen sind insgesamt ein dickes Kapitel für sich, die immer mit dabei sind und das Ganze nicht vereinfachen. Nur ein Punkt aus diesen Normen ist die Forderung, 90 min nach dem Anmischen den Beton in der Schalung zu haben. Die Details dazu würden ein Buch füllen!

2 Anwendung von Beton

Entweder wird der Beton als „Ortbeton“ verarbeitet, d.h. der frisch angemischte Beton wird hinter eine Schalung gebracht, um dann auszuhärten. Diese Schalung muss man bei den Platzverhältnissen unterbringen können und das Hantieren mit der Schalung ist im Schacht aufwendiger als im Hochbau mit einem Kran (Bild 2). Die Bauteile müssen eine Mindeststärke haben, weil die Bewehrung im Beton etliche Zentimeter Betonüberdeckung benötigt. Mit einer Schalung lässt sich Beton über Kopf im Schacht oder Füllort nur schlecht einbauen.

Wenn man den Beton von einem Transportbetonwerk anliefern lässt, muss man sich anderen Öffnungszeiten anpassen, meistens Montag bis Freitag von 7 bis 18 Uhr. Außerhalb dieser Zeiten und am Wochenende wird es richtig teuer.

Alternativ wird der Beton als Spritzbeton verarbeitet. Dabei wird er mit Druckluft transportiert und mit hoher Geschwindigkeit auf die Fläche „geschossen“. Spritzbeton ist sehr flexibel in der Geometrie und er lässt sich auch über Kopf gut einbauen

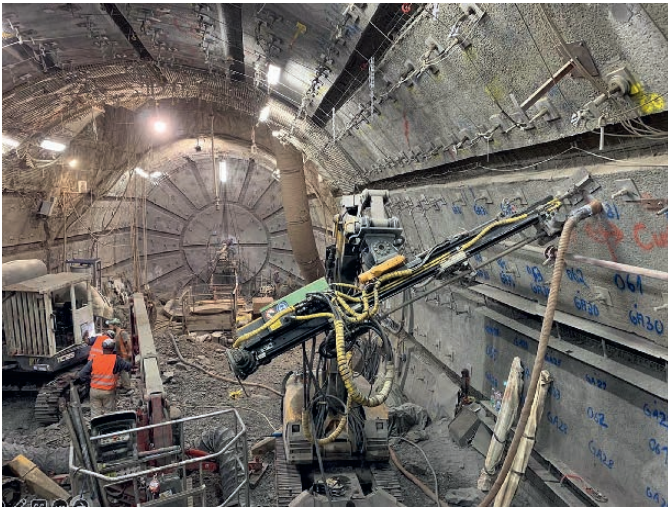


Fig. 3. Installation of shotcrete in the shaft. // Bild 3. Einbau von Spritzbeton im Schacht. Source/Quelle: Redpath Deilmann

Alternatively, the concrete is processed as shotcrete. In this case, it is transported with compressed air and “shot” onto the surface at high speed. Shotcrete is very flexible in geometry and it can also be placed overhead (Figure 3). No formwork is needed. Spraying the concrete creates dust and rebound, which is not a good thing to have.

Shotcrete can be reinforced with steel mats, stainless steel mats and carbon fibre mats. If you do not want to install mats, reinforcement made of steel or plastic fibres can be used instead. Throughput rates of 1 to 15 m³/h are possible, whereby the processing with a hand-guided nozzle reaches its upper limit at about 5 m³/h. Higher installation rates are achieved with manipulators.

In terms of logistics, in-situ concrete and shotcrete require completely different concepts and equipment.

2.1 Applications in shaft sinking

Shaft sinking comprises three main applications, each of which also has its own peculiarities:

- new construction of shafts;
- rehabilitation of shafts; and
- preservation of shafts.

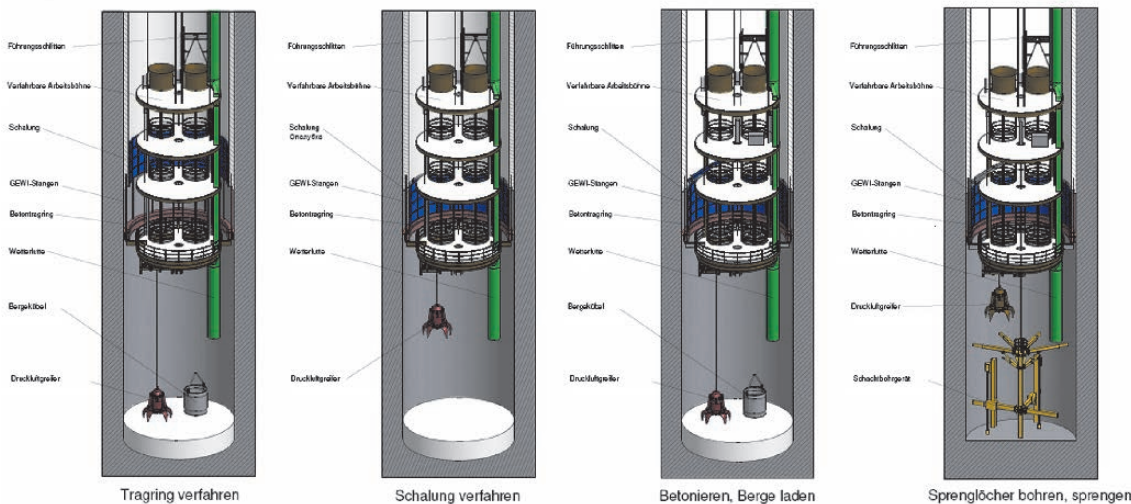


Fig. 4. New shaft construction. Bild 4. Neubau von Schächten. Source/Quelle: Redpath Deilmann

(Bild 3). Es wird keine Schalung benötigt. Das Spritzen des Betons erzeugt Staub und Rückprall, den man nicht gerne hat.

Spritzbeton kann mit Stahlmatten, Edelstahlmatten und Carbonfasermatten bewehrt werden. Wenn man keine Matten einbauen möchte, lässt sich stattdessen auch eine Bewehrung aus Stahl- oder Kunststofffasern verwenden. Durchsatzmengen von 1 bis 15 m³/h sind möglich, wobei die Verarbeitung mit einer handgeführten Düse bei etwa 5 m³/h an ihre Obergrenze kommt. Höhere Einbauleistungen werden mit Manipulatoren erzielt.

In der Logistik erfordern Ortbeton und Spitzbeton völlig unterschiedliche Konzepte und Einrichtungen.

2.1 Anwendung im Schachtbau

Schachtbau umfasst drei wesentliche Anwendungen, wobei ebenfalls jede ihre Eigenheiten hat:

- Neubau von Schächten,
- Sanieren von Schächten und
- Verwahren von Schächten.

Die geforderten Eigenschaften des Betons als Material und die logistischen Methoden unterscheiden sich in den drei Anwendungen vollkommen.

Beim Neubau von Schächten, also dem Abteufen, wird überwiegend gebohrt und gesprengt (Bild 4). Das Einbauen von Beton ist nur ein Teil des gesamten Abschlag-Zyklus. In der „Runde“ eines Abschlags nehmen Bohren und Sprengen die meiste Zeit in Anspruch und danach das Wegladen.

Man versucht mit den Arbeitsbühnen, die einzelnen Vorgänge parallel durchzuführen. Das ist aber nur bedingt möglich, weil z. B. beim Umsetzen des Tragrings niemand auf der Sohle sein sollte. Das wünschenswerte gleichzeitige Betonieren und Laden des Haufwerks ist in vielen Fällen nicht möglich.

Die drei Arbeitsvorgänge beim Teufen hängen voneinander ab und müssen optimal geplant und organisiert werden, um möglichst hohe Abteufleistungen zu erzielen.

2.2 Förderverfahren und Verfahrensauswahl

Die Anlieferung des Betons an den Schacht über Tage kann als Sackware, in Big-Bags, mit Silos oder mit Fahrmischern erfolgen.

Der Ortbeton kann dann mit Transportkübeln oder einer Fallleitung in den Schacht gebracht werden. Beide Verfahren haben

The required properties of the concrete as a material and the logistical methods differ completely in the three applications.

The construction of new shafts, i.e. the sinking, mainly involves drilling and blasting (Figure 4). Placing concrete is only one part of the whole excavation cycle. In the “round” of a tee, drilling and blasting take up most of the time, followed by loading away.

With the working platforms, one tries to carry out the individual operations in parallel. However, this is only possible to a limited extent because, e.g., no one should be on the invert when the support ring is being moved. The desirable simultaneous concreting and loading of the pile is not possible in many cases.

The three operations in sinking are interdependent and must be optimally planned and organised in order to achieve the highest possible sinking performance.

2.2 Delivery methods and process selection

Concrete can be delivered to the shaft above ground as bagged material, in big bags, with silos or with truck mixers.

The in-situ concrete can then be delivered to the shaft using transport buckets or a downpipe. Both methods have advantages and disadvantages, which will be described in detail later in the practical examples. In special cases, upward pumping is also used, which works well for dry spraying up to a height of about 100 m. Pumping wet concrete upwards is an extreme challenge that is not always successful. More on this later.

When selecting a process, the question of the required placing capacity always comes first, because all the individual components of the delivery system are measured according to this. The required concrete qualities and the resulting formulations then come into play in the further course of planning.

In the case of shotcrete, there is, on the one hand, the thin-flow method, in which the delivery line is not completely filled with concrete. This method is the first choice for dry spraying, but rather rare for wet spraying.

The other method is the dense-flow method, in which the delivery line is almost always completely filled. This method is typical for wet spraying and is used especially in connection with manipulators.

2.3 Shaft rehabilitation

What characterises the boundary conditions of a shaft rehabilitation?

Above ground, shafts are practically never easily accessible because there is always a shaft hall directly at the shaft or there are buildings around the shaft. The damage sites are usually on the way or in the middle of the shaft and several hundred metres away from the surface.

The existing shaft hoisting system is geared to the needs of production or for rope travel and material transport. For rehabilitation, one must therefore adapt to these existing facilities and always take the shaft installations into account.

To make matters worse, the use by the mine always has priority. As a result, rehabilitation can usually only be carried out on one or two shifts, or has to be scheduled for weekends or breaks in operations.

Vor- und Nachteile, die später bei den Praxisbeispielen detailliert beschrieben werden. In Sonderfällen wird auch aufwärts gefördert, was beim Trockenspritzen bis etwa 100 m Höhe gut gelingt. Das Aufwärtspumpen von Nassbeton stellt eine extreme Herausforderung dar, die nicht immer gelingt. Dazu später ebenfalls mehr.

Bei der Verfahrensauswahl steht immer die Frage nach der erforderlichen Einbauleistung an erster Stelle, denn danach bemessen sich alle Einzelkomponenten der Förderanlage. Die geforderten Betonqualitäten und die daraus resultierenden Rezepturen kommen dann im weiteren Lauf der Planung ins Spiel.

Beim Spritzbeton gibt es zum einen das Dünnstromverfahren, bei dem die Förderleitung nicht komplett mit Beton gefüllt ist. Das Verfahren ist beim Trockenspritzen erste Wahl, beim Nassspritzen eher selten.

Das andere Verfahren ist das Dichtstromverfahren, bei dem die Förderleitung nahezu immer komplett gefüllt ist. Das Verfahren ist typisch für das Nassspritzen und wird insbesondere in Verbindung mit Manipulatoren eingesetzt.

2.3 Schachtsanierung

Was charakterisiert nun die Randbedingungen bei einer Schachtsanierung?

Über Tage sind die Schächte praktisch nie gut zugänglich, weil es direkt am Schacht immer eine Schachthalle gibt oder um den Schacht herum Gebäude existieren. Die Schadensstellen sind meistens unterwegs oder mitten im Schacht und mehrere hundert Meter weg von der Tagesoberfläche.

Die vorhandene Schachtförderanlage ist auf die Belange der Produktion oder für Seilfahrt und Materialtransport ausgerichtet. Für die Sanierung muss man sich also an diese vorhandenen Einrichtungen anpassen und immer die Schachteinbauten berücksichtigen.

Erschwerend kommt noch dazu, dass die Nutzung durch das Bergwerk immer Vorrang hat. Das führt dazu, dass die Sanierungen meistens nur auf einer oder zwei Schichten erfolgen können oder auf das Wochenende oder auf Betriebspausen zu legen sind.

3 Praxis-Beispiele

3.1 Tieferteufen Prosper V Schacht 10

Das erste Beispiel für Betonierarbeiten ist das Tieferteufen des Schachts Prosper 10 in Bottrop, das schon etliche Jahre zurückliegt. Der Schacht wurde bis Ende 1979 mit 8,0 m Durchmesser bis auf 1.027 m abgeteuft, um die 6. Sohle zu erreichen. Prosper V Schacht 10 war einziehend und voll ausgelastet für Seilfahrt und Materialtransport des Bergwerks (Bild 5). Mittlerweile ist der Schacht verfüllt und das Bergwerk wurde 2018 stillgelegt.

Beim Weg in die Teufe sollte dieser Schacht um ca. 300 m bis auf 1.350 m bei laufendem Betrieb tiefergeteuft werden. Zu diesem Zweck wurde im alten Schachtsumpf eine Schachtschutzbühne nach TAS als Stahlkonstruktion mit einer 8 bis 10 m mächtigen Auflage aus Lavakies eingebaut. Darunter wurde dann in einer Unterfahrung des Sumpfes eine Windenkammer mit allen Einrichtungen zum Schachtabteufen eingerichtet. Eine weitere Besonderheit war, dass der Schacht durch einseitige Abbaueinwirkung nicht durchgehend vertikal war.

Den Auftrag zum Tieferteufen erhielten Deilmann-Haniel und Thyssen Schachtbau als Arbeitsgemeinschaft (ARGE).



Fig. 5. Prosper V Shaft 10 // Bild 5. Prosper V Schacht 10.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

3 Practical examples

3.1 Deep sinking Prosper V Shaft 10

The first example of concreting work is the deepening of the Prosper 10 shaft in Bottrop, which took place several years ago. The shaft was sunk to 1,027 m by the end of 1979 with a diameter of 8.0 m in order to reach the 6th level. Prosper V Shaft 10 was retracted and fully utilised for rope haulage and material transport for the mine (Figure 5). In the meantime, the shaft has been backfilled and the mine was closed down in 2018.

On the way to the depth, this shaft was to be sunk by about 300 m to 1,350 m while the mine was still in operation. For this purpose, a shaft protection platform in accordance with TAS was installed in the old shaft sump as a steel construction with an 8 to 10 m thick support of lava gravel. A winch chamber with all the equipment for sinking the shaft was then set up underneath it in an undercut of the sump. Another special feature was that the shaft was not continuously vertical due to one-sided mining action.

The contract for deepening the shaft was awarded to Deilmann-Haniel and Thyssen Schachtbau as a joint venture (ARGE).

It quickly became clear that using the mine's existing facilities for concrete logistics during deep sinking was out of the question. The in-situ concrete therefore had to be brought down to the formwork by a downpipe to a depth of approximately 1,300 m without disturbing the ongoing shaft operations. The consortium therefore decided to use a free-hanging downpipe from above ground. This involved installing a 6 5/8" (approximately 150 mm internal) diameter API pipe from above ground to a depth of approximately 1,000 m, which was then extended as sinking progressed. The extension during sinking was done with a DN 150 PN 160 flange pipe.

Not every concrete can be used for such an operation. The recipe of the concrete must fit the conditions during the sinking. This means that the maximum grain size, the grain distribution and the cement content have to be chosen correctly to prevent segregation on the way down and to safely achieve the required strengths.

There were the following essential points to clarify in order to be able to make the decisions in detail (Figure 6):

Es war schnell klar, dass die Nutzung der vorhandenen Einrichtungen des Bergwerks für die Betonlogistik beim Tieferteufen nicht in Frage kam. Der Ort beton musste also mit einer Fallleitung bis ca. 1.300 m Teufe nach unten zur Schalung gelangen, ohne den laufenden Schachtbetrieb zu stören. Die ARGE entschied sich daher, eine frei hängende Fallleitung von über Tage aus zu verwenden. Dazu wurde eine API-Rohrleitung mit 6 5/8" (ca. 150 mm Innen)-Durchmesser von über Tage bis ca. 1.000 m Teufe eingebaut, die dann mit dem Fortschritt beim Abteufen verlängert wurde. Das Verlängern beim Abteufen wurde mit einer Flanschleitung DN 150 PN 160 durchgeführt.

Nicht jeder Beton kann für einen solchen Einsatz verwendet werden. Die Rezeptur des Betons muss zu den Bedingungen beim Verstürzen passen. Das bedeutet, dass man das Größtkorn, die Kornverteilung und den Zementgehalt richtig auswählen muss, um die Entmischung auf dem Weg nach unten zu verhindern und um die geforderten Festigkeiten sicher zu erreichen.

Es gab folgende wesentliche Punkte zu klären, um die Entscheidungen im Detail treffen zu können (Bild 6):

- Ist eine durchgehende optische Gasse vorhanden?
- Sind im Schacht und in den Füllrörtern Störkanten vorhanden?
- Kann der Fahrmischer über Tage direkt bis an die Leitung heranzufahren?
- Wie kann man die Schmiermischung entsorgen?
- Wie kann man das Reinigungswasser entsorgen?
- Welche Rohrleitung lässt sich schnell bis zum oberen Teufanschlag einbauen?
- Wie verbindet man die Fallleitung mit der Bühne?
- Was verwendet man als „Pralltopf“ auf der Bühne?
- Muss man auf der Bühne nachmischen?
- Wie verteilt man den Beton auf der Bühne hinter die Schalung?

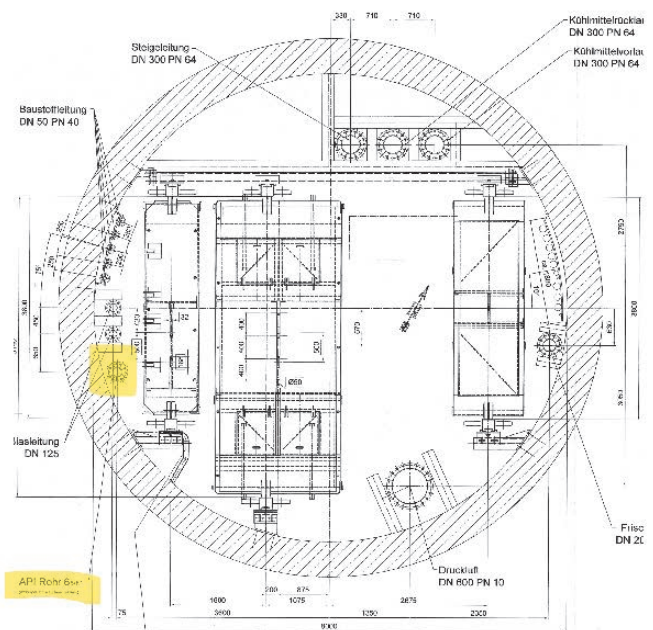


Fig. 6. Prosper V Shaft 10 shaft panel for deep sinking.
Bild 6. Schachtscheibe Prosper V Schacht 10 zum Tieferteufen.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

- Is there a continuous optical alley?
- Are there any interfering edges in the shaft and in the filling holes?
- Can the truck mixer drive directly up to the pipe above ground?
- How can the lubricating mixture be disposed of?
- How can the cleaning water be disposed of?
- Which pipeline can be quickly installed up to the upper sinking stop?
- How do you connect the downpipe to the platform?
- What do you use as an “impact pot” on the stage?
- Do you have to remix on the stage?
- How do you distribute the concrete behind the formwork on the platform?

An alley was found in the shaft slab for the downpipe west of the counterweight, which also allowed delivery by truck mixers above ground. Four safety classes were defined, some of which contained a shotcrete layer. This shotcrete was not transported from the surface with the downpipe, but was processed as bagged material at the stop deep sinking with a dry spraying machine. This method turned out to be inefficient and became a bottleneck during sinking. However, the technique could not be changed during operation and was kept until the end.

Inside the working platform, the concrete was fed via a hose line from the downpipe into a post-mixer on deck 2 (Figure 7). The concrete pad inside also absorbed the drop energy and from this was transferred to a distributor. From the distributor, three hoses then led behind the formwork to place the concrete over the perimeter.

The construction of the filling location on the 7th level required further measures in the concrete logistics. Mortar anchors and dry shotcrete were used as the outer shell to construct the fill site in sections. This was done with bagged concrete due to the relatively small quantities.

The installation of the inner shell was to be carried out differently. It was decided to use wet shotcrete with a manipulator and supply from above ground. The shotcrete had thicknesses of 0.4 to 0.7 m and lattice girders were placed. In addition, a compressive strength of at least 40 N/mm² was required and the shotcrete was to contain steel fibres.

The working platform was located above the filling site and there the concrete was received from the downpipe and collected in the post-mixer. From there it went to a concrete piston pump with a dosing device for the steel fibres and the liquid accelerator. The accelerator had to be dosed in such a way that the effect of the retarder was cancelled out again by the concrete plant. All this required several weeks until the complete chain worked.

In der Schachtscheibe wurde eine Gasse für die Fallleitung westlich neben dem Gegengewicht gefunden, die auch über Tage die Anlieferung mit den Fahrmischern ermöglichte. Es wurden vier Sicherungsklassen definiert, die z. T. eine Spritzbetonlage enthalten. Dieser Spritzbeton wurde nicht mit der Fallleitung von über Tage transportiert, sondern als Sackware am Anschlag Tieferteufen mit einer Trockenspritzmaschine verarbeitet. Dieses Verfahren stellte sich als leistungsschwach heraus und wurde beim Teufen zu einem Engpass. Die Technik war aber im laufenden Betrieb nicht mehr zu ändern und wurde bis zum Ende beibehalten.

Innerhalb der Arbeitsbühne wurde der Beton über eine Schlauchleitung von der Fallleitung in einen Nachmischer auf Deck 2 geleitet (Bild 7). Das darin befindliche Betonpolster nahm auch die Fallenergie auf und daraus wurde in einen Verteiler übergeben. Aus dem Verteiler führten drei Schläuche dann hinter die Schalung, um den Beton über den Umfang einzubauen.

Der Bau des Füllorts auf der 7. Sohle erforderte weitere Maßnahmen in der Betonlogistik. Als Außenschale wurden Mörtelanker und Trockenspritzbeton verwendet, um das Füllort abschnittsweise herzustellen. Das wurde aufgrund der relativ geringen Mengen mit Sackware durchgeführt.

Der Einbau der Innenschale sollte anders durchgeführt werden. Es wurde entschieden, Nassspritzbeton mit einem Manipulator und Versorgung von über Tage aus zu verwenden. Der Spritzbeton wies Stärken von 0,4 bis 0,7 m auf und es wurden Gitterträger eingebracht. Darüber hinaus war eine Druckfestigkeit von mindestens 40 N/mm² gefordert und der Spritzbeton sollte Stahlfasern enthalten.

Die Arbeitsbühne befand sich über dem Füllort und dort wurde der Beton aus der Fallleitung angenommen und im Nachmischer aufgefangen. Von dort aus ging es zu einer Beton-Kolbenpumpe mit einer Dosiereinrichtung für die Stahlfasern und dem

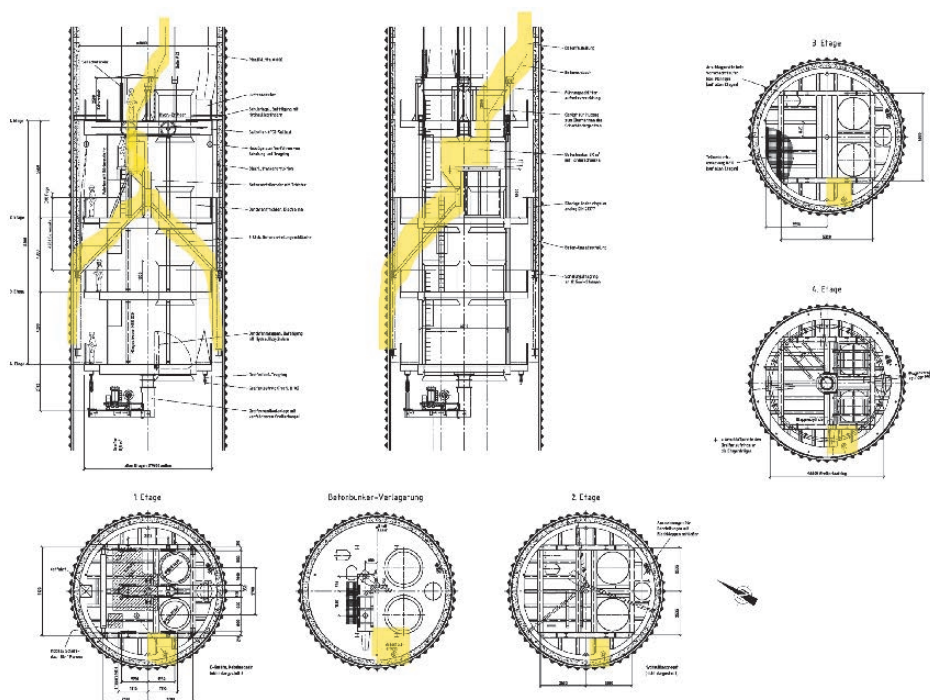


Fig. 7. Working platform concept with four levels.

Bild 7. Arbeitsbühnenkonzept mit vier Etagen. Source/Quelle: Redpath Deilmann

The experience of sinking Prosper V Shaft 10 can be summarised as follows:

- The installation of the API pipe, approximately 1,000 m in length, took place in March 2005.
- An average of 68 m³ of concrete per 4.2 m of formwork was used.
- Time required for moving and setting up the formwork was 6.3 h, for concreting 5.5 h, i.e. approximately 12 h in total.
- Gross delivery rate (with set-up and dismantling): 12.4 m³/h.
- Net delivery rate (without setting up and dismantling): 17.0 m³/h.
- This corresponds to approximately two truck mixers with a capacity of 9 m³/h.
- During sinking, the total concrete throughput was approximately 2,800 m³.
- In addition, there is the wet shotcrete for the inner lining in the filling location of the 7th level.
- The complicated logistics of wet spraying with steel fibres in the filling location required a great deal of preparation and experimentation and could only be realised with difficulty.
- All required concrete grades could be achieved.
- There was no clogging in the shaft pipeline and no wear.

3.2 Sinking potash shafts in Belarus

The client IOOO Slavkalyi is building a completely new potash mine in Belarus. The scope of Redpath Deilmann's contract is shown in Figure 8.

The new construction of these two shafts was subject to completely different boundary conditions than the sinking of Prosper V Shaft 10:

- construction site "in the open countryside" without ready-mix concrete logistics;
- freeze shafts;
- mechanised sinking with high daily output.

Auftraggeber:
IOOO Slavkalyi, Minsk, Belarus

- Auftrag Redpath Deilmann:
- Schacht 1 Förderschacht 750 m Teufe
 - Schacht 2 Seilf.+Mat. 700 m Teufe
 - Lichter Durchmesser 8,0 m
 - Einsatz Herrenknecht SBR
 - Wasserführung bis 150 m Teufe
 - Gefrierschacht bis 165 m Teufe
- Gusseiserne Tübbinge bis 320 m Teufe
 - Steinsalz und Kali-Flöze ab 450 m Teufe
- Vertragliche Abteuf-Leistung
im Schnitt 3 m pro Tag



Fig. 8. Construction of two new potash shafts in Belarus.

Bild 8. Neubau von zwei Kalischächten in Belarus.

Source/Quelle: Redpath Deilmann

flüssigen Beschleuniger. Der Beschleuniger musste so dosiert werden, dass die Wirkung des Verzögerers vom Betonwerk wieder aufgehoben wurde. Dies alles erforderte mehrere Wochen, bis die komplette Kette funktionierte.

Die Erfahrungen beim Tieferteufen von Prosper V Schacht 10 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Einbau der API-Leitung, ca. 1.000 m Länge, erfolgte im März 2005.
- Verarbeitet wurden im Schnitt 68 m³ Beton je 4,2 m Schalung.
- Zeitbedarf für das Umsetzen und Einrichten der Schalung 6,3 h, für das Betonieren 5,5 h, also insgesamt ca. 12 h.
- Förderleistung Brutto (mit Auf- und Abrüsten): 12,4 m³/h.
- Förderleistung netto (ohne Auf- und Abrüsten): 17,0 m³/h.
- Das entspricht ca. zwei Fahrmischern mit 9 m³/h Inhalt.
- Beim Teufen betrug der Durchsatz an Beton insgesamt ca. 2.800 m³.
- Dazu kommt der Nassspritzbeton für die Innenschale im Füllort der 7. Sohle.
- Die komplizierte Logistik beim Nassspritzen mit Stahlfasern im Füllort erforderte sehr viel Vorbereitung und Versuche und war nur mit Mühe zu realisieren.
- Alle geforderten Betongüten konnten erreicht werden.
- Es gab keinen Verstopfer in der Schachtleitung und keinen Verschleiß.

3.2 Abteufen Kali-Schächte in Belarus

Der Auftraggeber IOOO Slavkalyi baut in Belarus ein komplett neues Kalibergwerk. Der Auftragsumfang von Redpath Deilmann ist in Bild 8 dargestellt.

Für den Neubau dieser zwei Schächte waren ganz andere Randbedingungen maßgeblich als beim Tieferteufen von Prosper V Schacht 10:

- Baustelle „auf der grünen Wiese“ ohne Transportbetonlogistik,
- Gefrierschächte,
- mechanisiertes Teufen mit hoher Tagesleistung.

Die Verfahrensauswahl hinsichtlich der Betonlogistik erfolgte unter folgenden Rahmenbedingungen:

- Es wurde ein eigenes Mischwerk mit Labor etc. für die Schächte aufgebaut.
- Beim Gefrierschacht ist die Benutzung einer Falleitung wegen der Minus-Temperaturen problematisch und nicht empfehlenswert.
- Die Empfindlichkeit des Saugsystems der Schachtbohrmaschine (SBR) gegen Schlamm verlangt unbedingt das Reduzieren des Prozesswassers möglichst auf Null.
- Die Betonverteilung im Schacht wie auf Prosper hätte die SBR um etliche Meter höher werden lassen.
- Daher wurde entschieden, eine Kübelförderung zu verwenden.
- Dadurch gibt es auch mehr Freiheiten in den Rezepturen, denn es musste sowohl Beton für den Ausbau als auch für die Hinterfüllung der Tübbinge transportiert werden.
- In der SBR wurde ein 360° drehbarer Beton-Zwischenbehälter geplant.

The process selection with regard to concrete logistics was made under the following general conditions:

- A separate mixing plant with laboratory etc. was set up for the shafts.
- In the case of the freeze shaft, the use of a drop pipe is problematic and not recommended because of the minus temperatures.
- The sensitivity of the suction system of the shaft boring machine (SBR) to mud makes it absolutely necessary to reduce the process water to zero if possible.
- Concrete distribution in the shaft, as at Prosper, would have made the SBR several metres higher.
- It was therefore decided to use a bucket conveyor.
- This also gives more freedom in the formulations, because it was necessary to use concrete had to be transported for both the lining and the backfilling of the tubings.
- In the SBR, a 360° rotating concrete intermediate hopper was planned.
- New concrete buckets with a remote-controlled emptying system were designed, especially for accessibility when emptying in the SBR on deck 5.
- These buckets need to be carefully maintained.
- The buckets were loaded above ground using a concrete pump and a swivelling pipeline with the bucket on the flap.

The logistics inside the SBR show various devices for cutting and conveying the pile (Figure 9). The formwork with a height of 5 m was used in an upper, regular position. For faster placement of the lining, it was sometimes necessary to shorten the formwork to 3 m height and to use it as deep as possible in the excavation chamber, position "down". For concrete distribution, a concrete spreader 360° swivelling with a capacity of 4.5 m³ was installed on deck 5 of the machine, which was interlocked with the conveyor.

Buckets with a capacity of 4 m³ were used to transport the concrete. They were designed according to TAS and emptying was no longer done manually, but electro-hydraulically and radio-controlled with a battery drive. The buckets were loaded above ground with a concrete pump into a pipeline with a swivelling boom that allowed the buckets to be filled on the flap.

In the freeze shaft, the frozen shaft wall was very stable. The newly developed support ring was very easy to use and reduced the time needed to move the formwork considerably. In the chalk formations, where the shaft was not completely frozen, there was very heavy sticking in the suction system and in the buckets, which could only be overcome with great difficulty.

Under the freezing section, the shaft joint softened within a short time and collapsed. In March 2019, a fracture of the shaft occurred, which could only be controlled with concrete backfilling.

After various considerations on how to proceed, it was decided to bring the formwork as close as possible to the bottom and shorten it. This resulted in new boundary conditions for concreting, but overall contributed to successful further sinking.

- Es wurden neue Betonkübel mit einer ferngesteuerten Entleerung konzipiert, insbesondere wegen der Zugänglichkeit beim Entleeren in der SBR auf dem Deck 5.
- Diese Kübel müssen sorgfältig gewartet werden.
- Die Beladung der Kübel über Tage erfolgte mit einer Betonpumpe und einer schwenkbaren Rohrleitung mit dem Kübel auf der Klappe.

Die Logistik innerhalb der SBR zeigt diverse Einrichtungen zum Schneiden und Abfordern des Haufwerks (Bild 9). Die Schalung mit 5 m Höhe wurde in einer oberen, regulären Position verwendet. Zum schnelleren Einbringen des Ausbaus war es zeitweise nötig, die Schalung auf 3 m Höhe zu verkürzen und so tief wie möglich in der Abbaukammer zu benutzen, Position „unten“. Zur Betonverteilung wurde auf dem Deck 5 der Maschine ein Betonverteiler 360° schwenkbar mit 4,5 m³ Inhalt eingebaut, der mit der Förderung verriegelt war.

Zum Betontransport wurden Kübel verwendet, die 4 m³ Inhalt haben. Die Auslegung erfolgte nach TAS und die Entleerung nicht mehr händisch, sondern elektro-hydraulisch und funkfernbedient mit einem Batterieantrieb. Die Beladung der Kübel erfolgte über Tage mit einer Betonpumpe in eine Rohrleitung mit einem schwenkbaren Ausleger, der das Befüllen der Kübel auf der Klappe ermöglichte.

Im Gefrierschacht war die gefrorene Schachtwand sehr stabil. Der neu entwickelte Tragring war sehr gut zu benutzen und reduzierte die Umsetzzeiten der Schalung erheblich. In den Kreideformationen, wo der Schacht nicht komplett durchgefroren war, gab es sehr starke Verklebungen im Saugsystem und in den Kübeln, die nur mit großer Mühe bewältigt werden konnten.

Unter dem Gefrierabschnitt entfestigte sich der Schachtstoß innerhalb kurzer Zeit und brach nach. Im März 2019 ereignete sich ein Verbruch des Schachtes, der nur mit einer Betonverfüllung beherrscht werden konnte.

Nach diversen Überlegungen zum weiteren Vorgehen wurde entschieden, die Schalung so nah wie möglich zur Sohle zu holen und zu verkürzen. Dadurch ergaben sich neue Randbedingungen

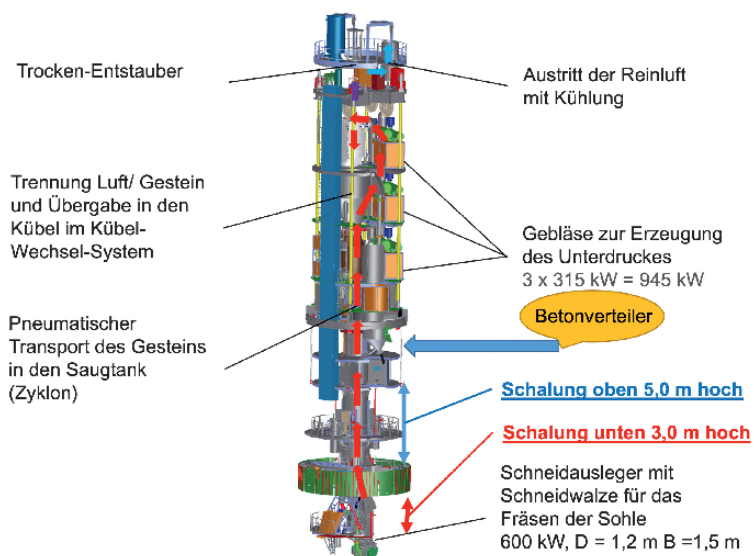


Fig. 9. SBR logistics. // Bild 9. SBR-Logistik. Source/Quelle: Redpath Deilmann

Further experiences can be summarised as follows:

- The company's own concrete plant is indispensable for a 24/7 construction site.
- The bucket delivery system proved its worth.
- The new buckets could be used reliably and without any problems.
- The bucket loading above ground worked.
- The concrete distribution in the SBR was functional and problem-free.
- The formwork could be used flexibly.
- An average of six buckets per hour, i.e. approximately 24 m³/h of concrete, was achieved.
- Concreting was only a bottleneck when the machine cut up to 7 m/d was cut.
- The bottleneck here was not the delivery rate, but the curing time of the concrete, because the formwork had to be stripped after about 8 h.

3.3 Rehabilitation of Zielitz 1 shaft

Shaft 1 of the Zielitz potash plant in Saxony-Anhalt is the most powerful production shaft in Germany and was sunk at the end of the 1960s (Figure 10).

The damage site is located in the area from 538 to 565 m depth and represents an ovalisation of the shaft due to the "cherry pit effect" in the main stress direction E-W of the rock mass (Figure 11a). The rehabilitation concept provides for anchors of different lengths, which are injected, and a shotcrete shell (Figure 11b).

The work site for the rehabilitation of the shaft lining in the Zielitz 1 shaft is located in the middle of the shaft approximately 550 m below the surface and approximately 150 m above the filling point. In the Zielitz 1 shaft, only crude salt is extracted in continuous operation 24 h/d and seven days a week. The shaft rehabilitation can therefore only be carried out during very short summer breaks of about three weeks. The concrete will be placed as shotcrete. A winch and platform system is used for all shaft work, which has to be erected at the beginning and dismantled again at the end of the break.

In the summer of 2021, the wet spraying method with upward conveyance to the construction site was used. The concept was as follows:

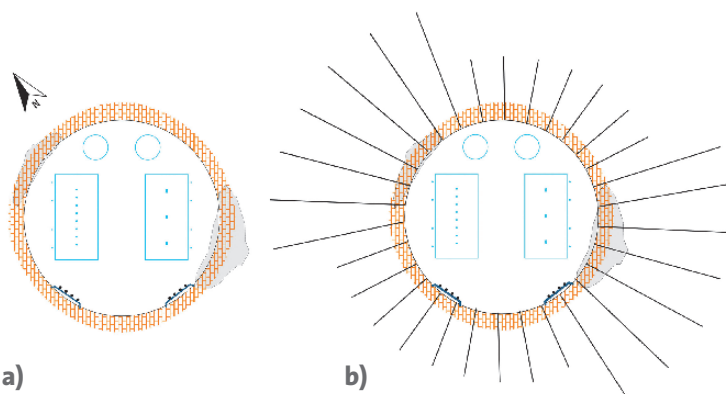


Fig. 11. a) Section in the area of the damaged area and b) Remediation concept. Bild 11. a) Schnitt im Bereich der Schadstelle und b) Sanierungskonzept. Source/Quelle: Redpath Deilmann

für das Betonieren, die aber insgesamt zum erfolgreichen weiteren Teufen beigetragen haben.

Die weiteren Erfahrungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das eigene Betonwerk ist unverzichtbar für eine 24/7 Baustelle.
- Die Kübelförderung hat sich bewährt.
- Die neuen Kübel waren problemlos und zuverlässig einsetzbar.
- Die Kübelbeladung über Tage hat funktioniert.
- Die Betonverteilung in der SBR war funktional und problemlos.
- Die Schalung ließ sich flexibel verwenden.
- Es wurden im Schnitt sechs Kübel pro Stunde, also ca. 24 m³/h Beton erreicht.
- Das Betonieren war erst ein Engpass, als die Maschine bis zu 7 m/d geschnitten hat.
- Der Engpass war dabei nicht die Förderleistung, sondern die Aushärtezeit des Betons, denn es musste nach ca. 8 h ausgeschalt werden.



Fig. 10. Zielitz 1 shaft. // Bild 10. Schacht Zielitz 1. Source/Quelle: Redpath Deilmann

3.3 Sanierung Schacht Zielitz 1

Der Schacht 1 des Kaliwerks Zielitz in Sachsen-Anhalt ist der leistungsstärkste Förderschacht in Deutschland und wurde Ende der 1960er Jahre abgeteuft (Bild 10).

Die Schadensstelle befindet sich im Bereich von 538 bis 565 m Teufe und stellt eine Ovalisierung des Schachts durch den „Kirsch kern-Effekt“ in der Hauptspannungsrichtung O-W des Gebirges dar (Bild 11a). Das Sanierungskonzept sieht verschieden lange Anker vor, die injiziert werden, sowie eine Spritzbetonschale (Bild 11b).

Die Arbeitsstelle für die Sanierung des Schachtausbaus im Schacht Zielitz 1 befindet sich mitten im Schacht ca. 550 m unter der Oberfläche und ca. 150 m über dem Füllort. Im Schacht Zielitz 1 erfolgt einzig die Förderung von Rohsalz im Durchlaufbetrieb an 24 h/d und sieben Tagen pro Woche. Die Schachtsanierung kann daher nur in recht kurzen Sommerpausen von circa drei Wochen Dauer erfolgen. Der Beton wird als Spritzbeton eingebracht. Für alle Schachtarbeiten wird eine Winden- und Bühnenanlage verwendet, die zu Beginn aufzubauen und am Ende der Pause wieder zu demontieren ist.

- wet spray method without fibres;
- vertical upward pumping approximately 160 m;
- use of dry material 0 to 4 mm grain size;
- pre-spraying of the shaft wall 3 to 5 cm thick;
- installation of carbon fibre mats, mesh size 51 x 51 mm, 6 mm rod;
- injection of the mat approximately 5 cm top layer;
- a total of approximately 100 m³ of shotcrete.

This meant a lot of effort for little quantity. This technology had numerous shortcomings and could not be applied successfully.

The mixing of the concrete was done in the filling place underground from big bags with dry material. The space conditions in the filling place and the technology were characterised by the following points:

- low;
- narrow and cramped;
- processes cross each other;
- processes interfering with each other;
- long time delay from mixing to the spray nozzle of 4 to 5 h;
- system therefore very sluggish;
- consistency changes are not possible.

The concrete delivery line was designed in a heavy DN 125 version with a pressure rating of PN 160.

Figure 12 shows the space conditions on the platform with the existing ropes.

The work result was not as required and the shotcrete work was stopped because of this. In the course of a detailed post-examination, the following sources of error were identified:

- very complicated plant;
- segregation during upward pumping;
- components with very different outputs, therefore a lot of coordination was required;
- no time available for learning and testing;
- unclear situation from bottom to top;

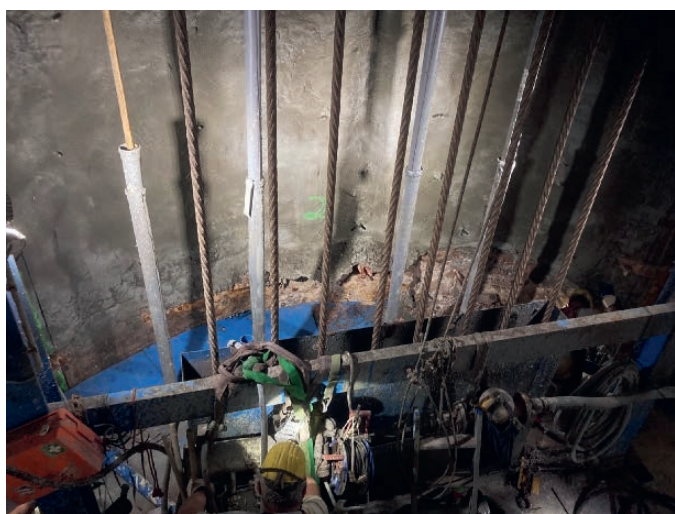


Fig. 12. Space conditions on the working platform. // Bild 12. Platzverhältnisse auf der Arbeitsbühne. Source/Quelle: Redpath Deilmann

Im Sommer 2021 wurde das Nassspritzverfahren mit aufwärts gerichteter Förderung zur Baustelle eingesetzt. Das Konzept sah folgendermaßen aus:

- Nassspritzverfahren ohne Fasern,
- vertikales Aufwärtspumpen ca. 160 m,
- Verwendung von Trockenmaterial 0 bis 4 mm Körnung,
- Vorspritzen der Schachtwand 3 bis 5 cm Stärke,
- Einbau von Carbonfasermatten, Maschengröße 51 x 51 mm, 6 mm Stab,
- Einspritzen der Matte etwa 5 cm Deckschicht,
- gesamt ca. 100 m³ Spritzbeton.

Das bedeutete sehr viel Aufwand für wenig Menge. Diese Technologie wies zahlreiche Unzulänglichkeiten auf und konnte nicht erfolgreich angewendet werden.

Das Anmischen des Betons erfolgte im Füllort unter Tage aus Big-Bags mit Trockenmaterial. Die Platzverhältnisse im Füllort und die Technologie waren durch folgende Punkte gekennzeichnet:

- niedrig,
- schmal und eng,
- Vorgänge gehen über Kreuz,
- Vorgänge behindern sich gegenseitig,
- große Zeitverzögerung vom Anmischen bis zur Spritzdüse von 4 bis 5 h,
- System daher sehr träge,
- Konsistenzänderungen nicht durchführbar.

Die Betonförderleitung wurde in einer schweren Ausführung als DN 125 mit der Druckstufe PN 160 ausgeführt.

Bild 12 zeigt die Platzverhältnisse auf der Bühne mit den vorhandenen Seilen.

Das Arbeitsergebnis war nicht wie gefordert, und die Spritzbetonarbeiten wurden deswegen abgebrochen. Im Rahmen einer detaillierten Nachbetrachtung wurden folgende Fehlerquellen ausgemacht:

- sehr komplizierte Anlage,
- Entmischung beim Aufwärtspumpen,
- Komponenten mit sehr unterschiedlichen Leistungen, daher viel Koordination erforderlich,
- keine Zeit zum Lernen und Testen vorhanden,
- unübersichtliche Situation von unten bis oben,
- Wasserversorgung im Füllort schwankend,
- Platzverhältnisse im Füllort schlecht,
- Mischungenauigkeit wegen Durchlaufmischer,
- sehr aufwendige Spülvorgänge, Dauer 8 bis 10 h,
- aufwendige Entsorgung von Schläpfe und Spülwasser,
- keine Entsorgungsmöglichkeit auf der Bühne,
- Frischwasser auf der Bühne nur mit Kübel statt Seilfahrtskübel,
- falsches Spritzequipment,
- geforderte Qualität nicht erreichbar.

Die Schlussfolgerung aus diesen Fehlerquellen ergab, dass die Arbeiten so nicht weiterzuführen waren. Die Entscheidungsfindung zum weiteren Vorgehen führte zu folgenden Prämissen:

- water supply in the filling point fluctuating;
- space conditions in the filling location poor;
- mixing inaccuracy due to continuous mixer;
- very time-consuming flushing processes, duration 8 to 10 h,
- costly disposal of slurry and rinse water;
- no disposal possibility on the stage;
- fresh water on stage only with bucket instead of cable bucket;
- wrong spraying equipment;
- required quality not achievable.

The conclusion from these sources of error was that the work could not be continued in this way. The decision-making process on how to proceed led to the following premises:

- completion of the entire rehabilitation in 2022 and 2023;
- analysis within ARGE and with K+S and DMT Leipzig;
- investigation of the possibilities:
 - in-situ concrete with structural formwork;
 - in-situ concrete with liner plates;
 - dry spraying;
 - optimise wet spraying.
- if possible, no further upward conveying of wet concrete;
- simple and clear plant required.

The decision was then made in favour of further refurbishment with dry spraying and big bag supply from above ground. Intermediate silo and spraying machine are located on the working platform. Numerous tests of shotcrete from different manufacturers are carried out, as well as tests of the machine technology and the spraying nozzles. All components are tested and run through before work begins. The water supply is to be made stable. Drill cores were taken to find out the optimal details. Big bag emptying was set up in an intermediate bunker on the platform and this bunker could be moved on the platform because it was possible to convey to the lower deck.

In the meantime, the 2022 operational break has been completed and the system now chosen has worked as planned. The shotcrete quality has become first class and a longer section has been completed than planned.

4 Summary

The summary of the experience gained in various concrete logistics projects is that concrete is only apparently simple and unfortunately not just a grey mass. Concrete processing and logistics in shaft construction always require new solutions for which the right "tools" have to be selected. Every task and every shaft has its own peculiarities, so it is not possible to work according to a fixed scheme "F". There are many sources of error and stumbling blocks, so that despite experience and attempts, solutions go wrong and have to be corrected at great expense.

- Fertigstellung der kompletten Sanierung in den Jahren 2022 und 2023,
- Analyse ARGE-intern und mit K+S und DMT Leipzig,
- Untersuchung der Möglichkeiten:
 - Ortbeton mit Hochbau-Schalung,
 - Ortbeton mit Liner-Plates,
 - Trockenspritzen,
 - Nassspritzen optimieren.
- möglichst keine weitere Aufwärtsförderung von Nassbeton,
- einfache und übersichtliche Anlage erforderlich.

Die Entscheidung fiel dann zugunsten einer weiteren Sanierung mit Trockenspritzen und Big-Bag-Versorgung von über Tage. Zwischensilo und Spritzmaschine befinden sich auf der Arbeitsbühne. Es erfolgen zahlreiche Tests von Spritzbeton verschiedener Hersteller sowie Tests der Maschinenteknik und der Spritzdüsen. Alle Komponenten werden vor Arbeitsbeginn getestet und durchgefahren. Die Wasserversorgung ist stabil zu gestalten. Es wurden Bohrkern abgedrückt, um die optimalen Details herauszufinden. Die Big-Bag-Entleerung wurde in einem Zwischenbunker auf der Bühne eingerichtet, und dieser Bunker konnte auf der Bühne verfahren werden, weil die Förderung zum unteren Deck zu ermöglichen war.

Mittlerweile wurde die Betriebspause 2022 abgeschlossen und das jetzt gewählte System hat wie geplant funktioniert. Die Spritzbetonqualität ist erstklassig geworden und es wurde ein längerer Abschnitt fertig saniert als geplant.

4 Zusammenfassung

Das Resümee aus den in verschiedenen Projekten zur Betonlogistik gemachten Erfahrungen lautet, dass Beton nur scheinbar einfach und leider nicht nur eine graue Masse ist. Die Betonverarbeitung und Logistik im Schachtbau erfordert immer neue Lösungen, bei denen die richtigen „Werkzeuge“ auszuwählen sind. Jede Aufgabe und jeder Schacht haben ihre Besonderheiten, sodass es nicht möglich ist, nach einem festgelegten Schema „F“ zu arbeiten. Fehlerquellen und Stolpersteine gibt es massenhaft, sodass trotz Erfahrung und Versuchen Lösungen schiefgehen und aufwendig korrigiert werden müssen.

Author / Autor

Dipl.-Ing. Thomas Ahlbrecht, Redpath Deilmann GmbH, Dortmund