

Rehabilitation of Shafts – Current Examples of Executed Solutions on Salt and Potash Mines

Due to the shaft itself and the use of the shaft specific conditions arise for the rehabilitation of old shafts. The shaft construction companies have to face these circumstances again and again when planning and carrying out the work. Almost always the in-

fluences of water and/or rock pressure determine the day-to-day work of these companies. Three case studies of shaft rehabilitation carried out by Redpath Deilmann GmbH, Dortmund, thereof partly in joint ventures are presented in this article.

Schachtsanierungen in Salz- und Kalischächten – Aktuelle Beispiele ausgeführter Lösungen

Sanierungen an alten Schächten unterliegen besonderen Rahmenbedingungen, die zum einen aus dem vorhandenen Schacht selbst und aus der aktuellen Nutzung entstehen. Diesen Umständen müssen sich die Schachtbauer bei der Planung und bei der Ausführung der Arbeiten immer wieder neu stellen. Dabei sind es fast immer die Einflüsse von Wasser und/oder Gebirgsdruck,

die den Alltag der Schachtbauunternehmen bestimmen. Im vorliegenden Beitrag werden drei Schachtsanierungen vorgestellt, welche die Redpath Deilmann GmbH, Dortmund, in den letzten Jahren z.T. im Rahmen von Arbeitsgemeinschaften mit anderen Schachtbauunternehmen ausgeführt hat bzw. aktuell ausführt.

Introduction

Subsequently, three shaft rehabilitation projects are presented, which were carried out recently or are still under construction of Redpath Deilmann GmbH, Dortmund/Germany:

- rehabilitation of Konradsberg shaft, Südwestdeutsche Salzwerke AG, Heilbronn: shaft age approximately 15 years;
- rehabilitation of Zielitz 1 shaft, K+S Aktiengesellschaft, Zielitz: shaft age approximately 50 years; and
- rehabilitation of Neurode shaft, K+S Aktiengesellschaft, Heringen: shaft age approximately 110 years.

Konradsberg Shaft

Heilbronn mine of Südwestdeutsche Salzwerke AG is a salt mine with high extraction rates in Baden-Württemberg. The Konradsberg shaft is the youngest shaft of the three examples presented in this article. The shaft has been sunk between 2003 and 2004 and is currently only round about 15 years old.

The shaft has a diameter of 6.0 m and a depth of 240 m including sump. There are two connections with the mine at a depth of 217 m through the ventilation drift and a short distance below at a depth of 230 m through the haulage drift.

The shaft is used only for logistical purposes. There is no shaft furniture or shaft hauling system installed. Hauling is done by a truck-mounted crane (Figure 1), whereby 10 t is the maximum

Einführung

Nachfolgend werden drei Schachtsanierungen vorgestellt, welche die Redpath Deilmann GmbH, Dortmund, in den letzten Jahren ausgeführt hat bzw. aktuell ausführt. Dabei handelt es sich um folgende Aufträge:

- Sanierung des Schachts Konradsberg der Südwestdeutsche Salzwerke AG in Heilbronn: Alter des Schachts ca. 15 Jahre,
- Sanierung des Schachts Zielitz 1 der K+S Aktiengesellschaft in Zielitz: Alter des Schachts ca. 50 Jahre und
- Sanierung des Schachts Neurode der K+S Aktiengesellschaft in Heringen: Alter des Schachts ca. 110 Jahre.

Schacht Konradsberg

Das Bergwerk Heilbronn der Südwestdeutsche Salzwerke AG ist ein förderstarkes Steinsalzbergwerk in Baden-Württemberg. Der Schacht Konradsberg ist von den drei Beispielen, um die es in diesem Artikel geht, der jüngste Schacht, denn er wurde in den Jahren 2003 und 2004 neu abgeteuft, ist also aktuell erst gut 15 Jahre alt.

Der Schacht ist einschließlich Sumpf 240 m tief und hat einen Durchmesser von 6,0 m. Er weist mit der Wetterstrecke in 217 m Teufe und mit kurzem Abstand darunter der Förderstrecke in 230 m Teufe zwei Verbindungen zum Grubengebäude auf.

Genutzt wird der Schacht als Logistikschacht ohne Einbauten und ohne Schachtförderanlage. Die Schachttransporte erfolgen



Fig. 1. Shaft hauling by a truck-mounted crane. // Bild 1. Schachttransporte mit dem Autokran. Photos/Fotos: Redpath Deilmann

weight that can be suspended. The shaft is covered with a mobile and ventilation permeable shaft covering, since the shaft also serves as intake ventilation shaft with a volume of approximately 20,000 m³ air intake.

The shaft has been sunk by using drilling and blasting combined with the cementation method. The outer lining system consists of rock bolts and reinforced shotcrete. The shaft sinking was stopped at a depth of 171 m, when dry geological formations had been reached. The shaft became permanently supported from bottom to top with a watertight lining system consisting of an external asphalt seam, a waterproof steel lining and reinforced concrete at the inner side.

Whilst continuing shaft sinking through the dry anhydrite an approximately 2 m thick dolomite layer was found. A few years later this layer would play a significant role. From 171 m to the final depth the lining system consists of rock bolts and reinforced shotcrete.

The shaft was unproblematic and apparently dry during the first years of operation, except in summer. During summer the humidity of air intake condensed in the shaft and came into the mine as dripping water. The amount of dripping water was considerable and led to corrosion of reinforcement, leaching of salt formations behind the shotcrete and detachment of the shaft lining.

The suspension between the ventilation drift and the haulage drift with 6 m thickness was most affected by the effects mentioned above. In 2011 this section had to be rehabilitated. The shotcrete has been removed in this area. A glass-fiber cylinder was installed and backfilled with mortar. At that time, the glass-fiber cylinder was a novelty in shaft construction and had proven to be resistant to corrosion. Other variants made of concrete, steel or stainless steel were rejected during the conception. The shaft diameter was not reduced and could be kept at 6.0 m.

The next few years no more problems were arising in this area. But, additionally a freeze-thaw-alternation lead to the development of cavities and shotcrete spalling due to the corrosion of the reinforcement (Figure 2). In 2015, the damage pattern below the depth of 170 m became more extensive. Finally, shaft hauling was no longer safe at the bottom landing.

mithilfe eines Autokrans (Bild 1), wobei das maximal einzuhängende Gewicht 10 t beträgt. Außerhalb der Transportkampagnen ist der Schacht mit einer transportablen Einhausung abgedeckt, die wetterdurchlässig ist. Der Schacht dient zugleich als einziehender Wetterschacht mit einer Wettermenge von ca. 20.000 m³.

Der Schacht wurde mit dem Zementationsverfahren mit Bohr- und Sprengarbeit abgeteuft. Als Außenausbau wurde dabei Anker-Spritzbeton verwendet. Nach dem Erreichen des trockenen Gebirges wurde das Teufen bei 171 m gestoppt und der Schacht wurde von unten nach oben wasserdicht ausgebaut. Der Ausbau besteht aus einem Verbundausbau mit äußerer Asphaltfuge, wasserdichtem Stahlmantel und innerem Stahlbeton bis zur Tagesoberfläche.

Beim anschließenden Weiter-teufen wurde im Anhydrit ein ca. 2 m mächtiger Zwischendolomit trocken vorgefunden. Diese Schicht sollte einige Jahre später eine bedeutende Rolle spielen. Der Schacht wurde bis zur Endteufe mit Anker-Spritzbeton-Ausbau ausgebaut.

Während der ersten Jahre des Betriebs war die Schachtröhre unproblematisch und augenscheinlich trocken, außer im Sommer, denn dann kondensierte die Luftfeuchtigkeit der einziehenden Wetter im Schacht und kam als Tropfwasser in die Grube. Diese Tropfwassermengen waren erheblich und führten zur Korrosion der Bewehrung im Spritzbeton, zu Auswaschungen im Salzgebirge hinter dem Spritzbeton und zu Ablösungen des Schachtausbaus.

Am Stärksten war von diesen Effekten die ca. 6 m mächtige Schwebelücke zwischen Wetterstrecke und Förderstrecke betroffen. Im Jahr 2011 war eine Sanierung dieses Abschnitts notwendig. Dabei wurde in diesem Bereich der Spritzbeton entfernt sowie ein GFK-Zylinder eingebaut und mit Mörtel hinterfüllt. Der GFK-Zylinder war zu diesem Zeitpunkt ein Novum im Schachtbau und hatte sich als widerstandsfähig gegen Korrosion herausgestellt. Andere Varianten aus Beton, Stahl oder Edelstahl wurden bei der Konzeption verworfen. Der Schachtdurchmesser wurde nicht reduziert und konnte mit 6,0 m beibehalten werden.

Damit kehrte für wenige Jahre Ruhe an dieser Stelle ein. Zu den bereits beschriebenen Schäden kamen dann aber auch noch Frost-/Tau-Wechsel hinzu und die korrodierte Bewehrung



Fig. 2. Damaged shotcrete lining. // Bild 2. Schäden am Spritzbetonausbau. Photos/Fotos: Redpath Deilmann

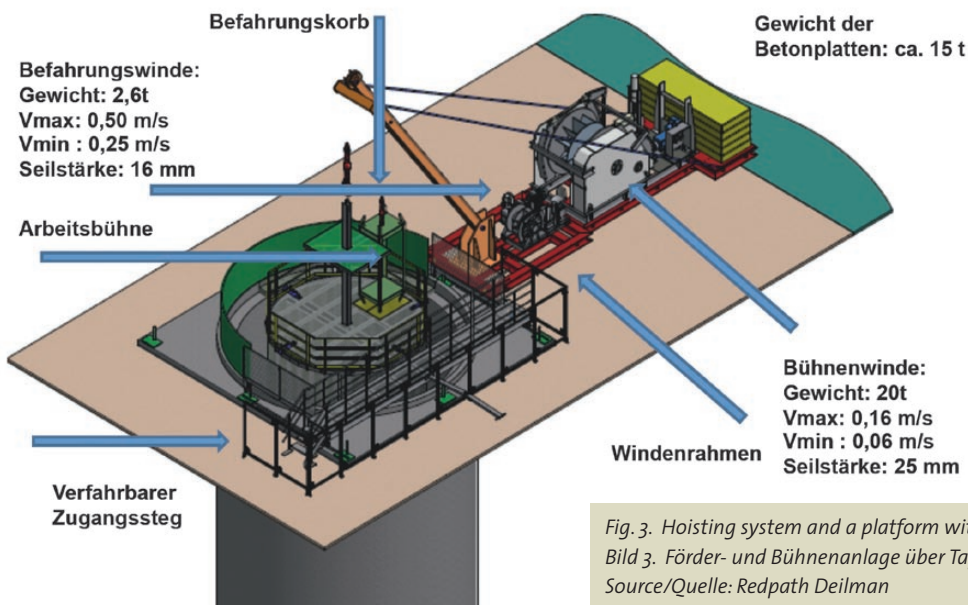


Fig. 3. Hoisting system and a platform without foundations.
Bild 3. Förder- und Bühnenanlage über Tage ohne Fundamente.
Source/Quelle: Redpath Deilman

Südwestdeutsche Salzwerke decided a rehabilitation on a length of 43 m and the shaft construction companies have been asked to plan this work. Again, different variants were considered. Whereby the main technical requirements have been, that a minimum reduction of the cross-section should occur and the installation had to be done in a very short time window. Additional problems arose due to the missing conveyor system and the missing foundations for winches or hoist gears.

After various studies of different alternatives, Redpath Deilman was commissioned with the following work:

- construction of a hoisting system and a platform without foundations (Figure 3);
- dismantling of the shotcrete lining with blasting work after removing the shaft power cable;
- lining the shaft wall with a thin layer of shotcrete as support for the installation of a sealing foil as used in tunneling;
- installation of a plastic foil sealing and chemical sealing above and below the dolomite layer;
- installation of a reinforced concrete cylinder (30 cm thick) by using a sliding formwork from bottom to top with a length of 43 m; resulting new shaft diameter of 5.80 m, which means a diameter reduction of 0.2 m (Figure 4).

The work was carried out over a period of 14 weeks in 2016 and has permanently improved the situation in the Konradsberg shaft.

Zielitz 1 shaft

The Zielitz 1 shaft is the production shaft of the Zielitz potash plant near Magdeburg owned by K+S Aktiengesellschaft. Around 40,000 t of crude salt are raised to the surface through this shaft in 24/7 operation.

The shaft was sunk between 1967 and 1968 using the freezing method. Zielitz 1 shaft has a diameter of 7.5 m to its final depth of 803 m. At the transition from Early Triassic to Upper Permian, a vertical fault zone with strong fissures had to be penetrated. The upper part of the shaft lining consists of German tubing segments to a depth of 462 m. Below 462 m depth brick masonry lining and between 495

entwickelte ein zerstörendes Werk mit Hohlraumbildungen und Abplatzungen der vorhandenen Spritzbetonschale (Bild 2). Im Jahr 2015 wurde das Schadensbild unterhalb der Teufe 170 m umfangreicher und die Kopfsicherheit im Füllort war bei den Transportarbeiten nicht mehr gegeben.

Die Südwestdeutsche Salzwerke entschied sich für eine Sanierung auf einer Länge von 43 m und forderte die Schachtbauunternehmen auf, diese Arbeiten zu planen. Es wurden wieder verschiedene Varianten betrachtet, wobei alle den Querschnitt kaum verringern sollten und nur in kurzen Zeitfenstern einzubauen waren. Außerdem war zu berücksichtigen, dass am Schacht keine Förderanlage und keine Fundamente für Winden o.ä. vorhanden sind.

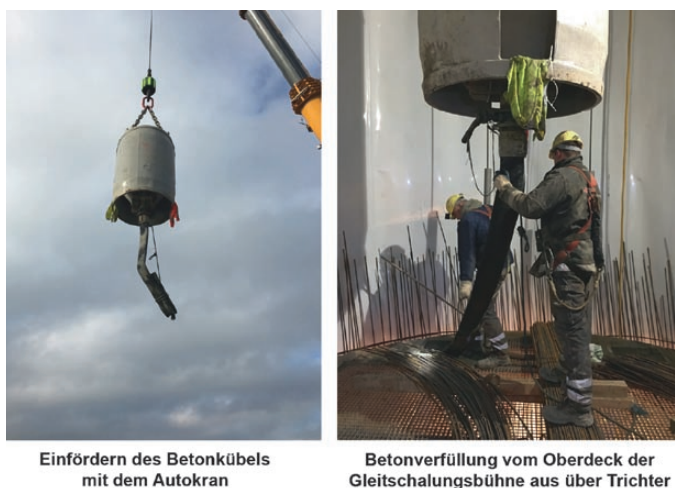
Nach diversen Untersuchungen verschiedener Alternativen wurde Redpath Deilman mit folgenden Arbeiten beauftragt:

- Errichtung einer Förder- und Bühnenanlage ohne Bau von Fundamenten (Bild 3),
- Entfernen des Spritzbetonausbaus mit Sprengarbeit nach Ausbau des Schachtkabels,
- Versiegelung der Schachtwand mit einer dünnen Lage Spritzbeton zum Einbau einer Abdichtungsfolie wie im Tunnelbau,
- Einbau der Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn und Chemical Seal-Dichtungen oben und unten im Bereich des ehemals trockenen Zwischendolomits,
- Einbau des Stahlbeton-Zylinders (Wandstärke des Stahlbetons 30 cm) mit einer Gleitschalung von unten nach oben über 43 m mit einem neuen Schachtdurchmesser von 5,80 m, also einem um 0,2 m reduzierten Durchmesser (Bild 4).

Die Arbeiten wurden im Jahr 2016 über einen Zeitraum von 14 Wochen durchgeführt und haben die Situation im Schacht Konradsberg dauerhaft verbessert.

Schacht Zielitz 1

Der Schacht Zielitz 1 ist der Förderschacht des Kaliwerks Zielitz bei Magdeburg der K+S Aktiengesellschaft. Im Schacht werden ca. 40.000 t Rohsalz im 24/7-Betrieb zu Tage gefördert.



**Einfördern des Betonkübels
mit dem Autokran**

**Betonverfüllung vom Oberdeck der
Gleitschalungsbühne aus über Trichter**

Fig. 4. Installation of a reinforced concrete cylinder by using a sliding formwork. // Bild 4. Einbau der Stahlbetonsäule mit einer Gleitschalung. Photos/Fotos: Redpath Deilmann

and 514 m compound tubing lining have been installed. The shaft is equipped with a tower hoisting gear and a skip hoisting system with 50 t payload. The skips are guided by ropes so that the shaft has no further installations. All in all, with an age of approximately 50 years, the shaft belongs to the group of “best agers” (Figure 5).

In 2015, detachments and spillings occurred at the shaft masonry at a depth of 540 to 565 m. Immediately physical safeguarding measures have been carried out and the production was not impaired. But the required distance of 300 mm to the skip corners would not be kept, if the convergence would further increase. At the end a permanent remediation was necessary.

An investigation was carried out in the damaged area. Boreholes and core drillings were made in order to record the damage more precisely.

Based on the results of these investigations, Schachtbau Nordhausen GmbH (SBN) and the branch of DMT GmbH & Co. KG in Leipzig developed a remediation concept. The concept is based on removing the shaft masonry and installation of a new lining system consisting of rock bolts and reinforced shotcrete. Due to

Der Schacht wurde zwischen 1967 und 1968 im Gefrierverfahren mit 7,5 m Durchmesser bis auf seine Endteufe von 803 m abgeteuft. Beim Übergang vom Buntsandstein zum Zechstein war eine senkrechte Störungszone mit starker Zerklüftung zu durchteufen. Der Schachtausbau besteht im oberen Teil bis 462 m Teufe aus Deutschen Tübbingen, darunter wurde Ziegelmauerwerk sowie zwischen 495 und 514 m Verbundausbau eingebracht. Der Schacht verfügt über eine Turmfördermaschine mit Gefäßförderanlage für 50 t Nutzlast. Die Fördergefäße sind seilgeführt, sodass der Schacht keine Einbauten aufweist. Alles in allem gehört der Schacht mit einem Alter von ca. 50 Jahren zur Gruppe der „Best Ager“ (Bild 5).

Im Jahr 2015 traten in der Teufe 540 bis 565 m im Schachtmauerwerk Ablösungen und lose Schalen auf. Der Bereich wurde mit einer Sofortsicherung so bearbeitet, dass die Kopfsicherheit gegeben war und die Produktion nicht beeinträchtigt wurde. Bei einer Zunahme der Konvergenzen war der erforderliche Abstand von 300 mm zu den Ecken der Skips in Gefahr, sodass eine dauerhafte Sanierung erforderlich war.

In dem geschädigten Bereich wurde eine Erkundungsmaßnahme durchgeführt. Es wurden Bohrungen und Kernbohrungen gestoßen, um das Schadensbild genauer zu erfassen.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Erkundungen erarbeiteten die Schachtbau Nordhausen GmbH (SBN) und die Zweigniederlassung Leipzig der DMT GmbH & Co. KG ein Sanierungskonzept. Dieses basierte auf dem Entfernen des Mauerwerks und dem Einbau einer geankerten Spritzbetonschale. Wegen des Förderbetriebs gibt es jährlich nur sehr kurze Zeitfenster für Schachtarbeiten in den Produktionspausen des Kaliwerks von ca. drei Wochen je Sommer. Über Feiertage wie Ostern oder Pfingsten können ebenfalls Arbeiten im Schacht durchgeführt werden. Alle Schachtarbeiten müssen sich allerdings der Produktion unterordnen. Das bedeutet, dass z. B. Seilwechsel, Gefäßwechsel, Reparaturen an der Fördermaschine usw. immer Priorität haben. Alle Aktivitäten werden mit zwei bis drei Jahren Vorlauf geplant. Die Schachtsanierung war zeitlich zwischen den routinemäßigen Wartungs- und Reparaturarbeiten im Schacht einzuplanen.



Fig. 5. Zielitz 1 shaft – headframe and view into the shaft from the surface. // Bild 5. Schacht Zielitz 1 – Förderturm und Blick in den Schacht von der Rasenhängebank. Photos/Fotos: Redpath Deilmann



Fig. 6. Mobile platform between the conveying and guiding ropes at the surface. // Bild 6. Verfahrbare Arbeitsbühne zwischen den Seilen im Schacht an der Rasenhängebank. Photos/Fotos: Redpath Deilmann

the continuous production operation only very short time windows of approximately three weeks per annum during summer are available during production breaks of the potash processing plant. Additionally, public holidays as Easter and Pentecost are available as working periods for the reconstruction work. However, all shaft work has to be subordinated to production. This means that, e.g., rope or skip changes, repairs of the hoisting gear, etc. always are prioritized. All activities are planned two to three years in advance. The shaft rehabilitation had to be scheduled between routine maintenance and repair work.

This is aggravated by the fact that a mobile platform system with kibble had to be installed and removed again during every production break and the platform had to be constructed around the 23 conveying and guiding ropes. The platform was planned by SBN and built in 2017, approved by the experts and operated on a trial basis in 2018 (Figure 6).

The shaft reconstruction was commissioned to the consortium Deilmann-Haniel/Thyssen Schachtbau in 2017. The work was divided into six annual segments starting in 2018 to 2023. The rehabilitation area has a length of 25 m.

During operational planning a modified approach was developed and coordinated in numerous discussions with K+S and DMT.

In 1992, a shaft rehabilitation was carried out in shaft 2 of the Zielitz potash plant in a similar depth and geology. All detachments and spillings were excavated in a depth of approximately 500 m. These areas were filled with shotcrete. Fully grouted injection anchors with a length of 3 or 5 m were then inserted with a density of 1 respectively 1.3 pieces/m². The 5 m anchors have been installed in the worst areas. The injection medium was injection mortar. The whole area was permanently renovated in this way.

Against the background of the new renovation case in Zielitz 1 shaft the approximately 25 year-old rehabilitation in Zielitz 2 shaft was investigated in great detail. The shotcrete lining of 1992 is not a closed over the whole perimeter. The rock bolts were placed all around the perimeter in Zielitz 2 shaft so that a rock support ring was formed. Resulting from these investigations was, anchoring over the complete perimeter would lead to the required quick

Erschwerend kam für die Schachtsanierung hinzu, dass für jede Betriebspause eine verfahrbare Bühnenanlage mit einer Kübelförderung eingebaut und auch wieder ausgebaut werden musste. Diese Einrichtung war um die zahlreichen Förder- und Führungsseile des Schachts (insgesamt 23 Seile) herumzubauen. Die Bühnenanlage wurde von SBN geplant und im Jahr 2017 errichtet, von den Sachverständigen abgenommen und 2018 probe-weise betrieben (Bild 6).

Die im Jahr 2017 an die Arbeitsgemeinschaft (ARGE) Deilmann-Haniel/Thyssen Schachtbau vergebene Schachtsanierung wurde in sechs Jahresscheiben von 2018 bis 2023 aufgeteilt. Der Sanierungsbereich hat eine Länge von 25 m.

Im Zuge der Arbeitsvorbereitung wurde in zahlreichen Diskussionen mit K+S und der DMT-Fachbauleitung eine geänderte Vorgehensweise entwickelt und abgestimmt.

Im Jahr 1992 wurde im Schacht 2 des Kaliwerkes Zielitz in ähnlicher Teufe und Geologie eine Schachtsanierung durchgeführt. Es wurden in ca. 500 m Teufe alle losen Schalen berissen und die Ausbruchbereiche wurden mit Spritzbeton aufgefüllt. Es wurden dann vollvermörtelte Injektionsanker mit 3 bzw. 5 m Länge eingebracht bei einer Ankerdichte von 1 bzw. 1,3 Stück/m². Die langen Anker wurden in den schlechtesten Bereichen eingebaut und mit Injektionsmörtel verpresst. Der Bereich wurde damals auf diese Weise dauerhaft saniert.

Diese ca. 25 Jahre alte Maßnahme wurde vor dem Hintergrund des neuen Sanierungsfalls in Schacht Zielitz 1 noch einmal sehr detailliert betrachtet und die Schachtröhre wurde im Sanierungsbereich genau untersucht. Die 1992 eingebrachte Schale aus Spritzbeton ist kein geschlossener Ring. Die Anker wurden in Schacht 2 rundum eingebracht, sodass sich ein Gebirgstragring ausgebildet hat. Aus diesen Ergebnissen wurde insbesondere abgeleitet, dass ein kompletter Ring aus Ankern die geforderte schnelle Stabilisierung des Schachts bewirken würde. Die Wirkung des Spritzbetons wäre gegenüber den Ankern zu vernachlässigen.

Daher wurde für Schacht 1 die Priorität so festgelegt, dass im ersten Arbeitsschritt auf der gesamten Sanierungslänge zu Ankern und zu Injizieren war, um die Konvergenzen zu minimieren, und

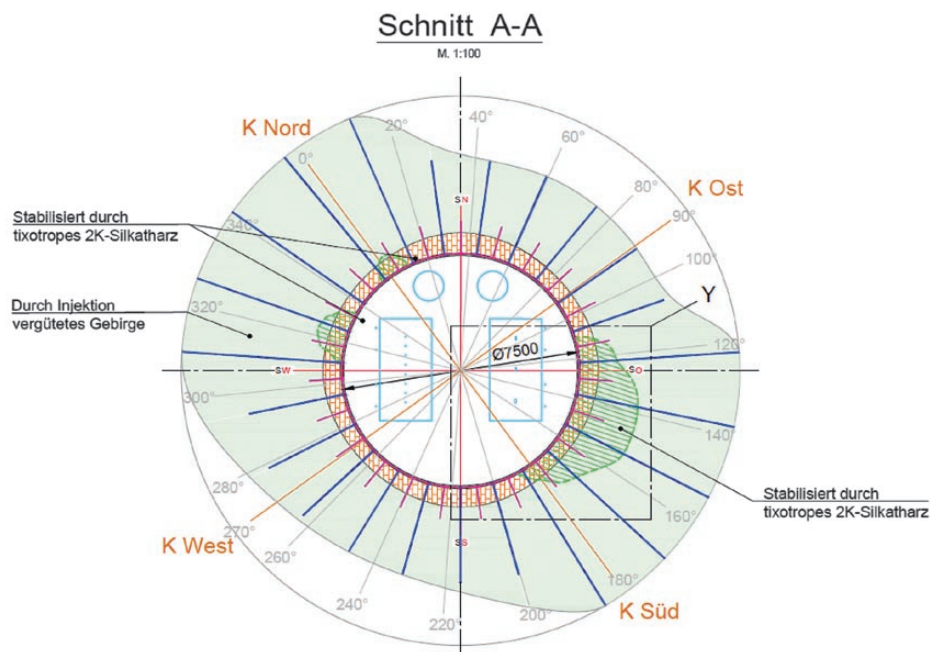


Fig. 7. Renovation specification for Zielitz 1 shaft with 3 and 5 m injection anchors.
Bild 7. Sanierungsschema Schacht Zielitz 1 mit 3 und 5 m langen Anker und Injizieren.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

stabilization of the shaft lining. The effect of the shotcrete would be negligible compared to the anchors.

Hence, the priority at Zielitz 1 shaft was on rock bolting and grouting as first step of the rehabilitation over the complete renovation depth to minimize convergences and to close the rock support ring over the perimeter. Based on this determination the work was carried out in 2018 and 2019.

As in Zielitz 2 shaft in 1992, anchors with a length of 3 or 5 m were used. These anchors were made of fiber glass to avoid corrosion. The 5 m long anchors were installed in the particularly damaged areas in the southeast and northwest and the 3 m long anchors were used in the less damaged areas. The anchors were glued at the borehole mouth and then injected. Nearly 9,500 l of injection material were inserted in both years. BASF products with thixotropic properties were used as injection material. The injections were carried out with a pressure of up to 30 bar (Figure 7).

The injection area and the impact of the grouting is checked with core drillings, whereby the drill cores clearly show the spread of the injection material in the masonry and the salt (Figure 8).



Fig. 8. Checking the injection area through core drilling. // Bild 8. Kontrolle der Injektionen durch Kernbohrungen. Photos/Fotos: Redpath Deilmann

dass dabei der Ringschluss der Ankerung Vorrang bekommen sollte. Nach diesen Festlegungen wurde dann 2018 und 2019 gearbeitet.

Es wurden, wie im Schacht 2 im Jahr 1992, ebenfalls 3 und 5 m lange Anker verwendet, allerdings aus GFK, um Korrosion zu vermeiden. Die 5 m langen Anker wurden in den besonders beschädigten Bereichen im Südosten und Nordwesten eingebracht und die 3 m langen Anker sind in den weniger geschädigten Bereichen verwendet worden. Die Anker wurden am Bohrlochmund eingeklebt und danach wurde durch die Anker injiziert. Insgesamt wurden in beiden Jahren ca. 9.500 l Injektionsgut eingebracht. Als Injektionsmaterial wurden Produkte der BASF mit thixotropen Eigenschaften verwendet. Die Injektionen wurden mit einem Druck bis zu 30 bar durchgeführt (Bild 7).

Die Wirkung der Injektionen wird mit Kernbohrungen kontrolliert und die Bohrkerne zeigen gut die Ausbreitung des Materials im Mauerwerk und im Salz (Bild 8). Das eingesetzte Injektionsgut hat eine deutliche Gebirgsvergütung durch Auffüllen von Hohlräumen und Verkleben loser Schalen bewirkt.

Darüber hinaus finden wöchentliche Schachtkontrollen und regelmäßige Vermessungen statt, die eine Abnahme der Bewegungen gegen Null zeigen. Neue Schäden sind nicht mehr aufgetreten.

Wegen anderer Arbeiten an der Schachtförderanlage wird im Jahr 2020 eine Pause in der Sanierung eingelegt. Aktuell werden mit den Beteiligten intensive Diskussionen über die weiteren Sanierungsschritte geführt, die allerdings noch nicht abgeschlossen sind. Die Schachtsanierung soll nach dem Stand heute im Jahr 2021 fortgesetzt werden.

Schacht Neurode

Der Schacht Neurode gehört zum Werk Werra der K+S Aktiengesellschaft, das als Verbundbergwerk drei Produktionsstandorte in Hessen und Thüringen besitzt. Das Bergwerk hat im Produktionsbereich neun Schächte. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass es im Bereich Merkers noch weitere 14 Schächte im Verwahrungsbereich gibt.

Der Schacht Neurode ist über 100 Jahre alt und wurde von 1911 bis 1913 geteuft. Er ist 731,4 m tief und hat einen Durchmesser von 4,5 m. Im Schacht gibt es vier Tübbingabschnitte mit Wandstär-

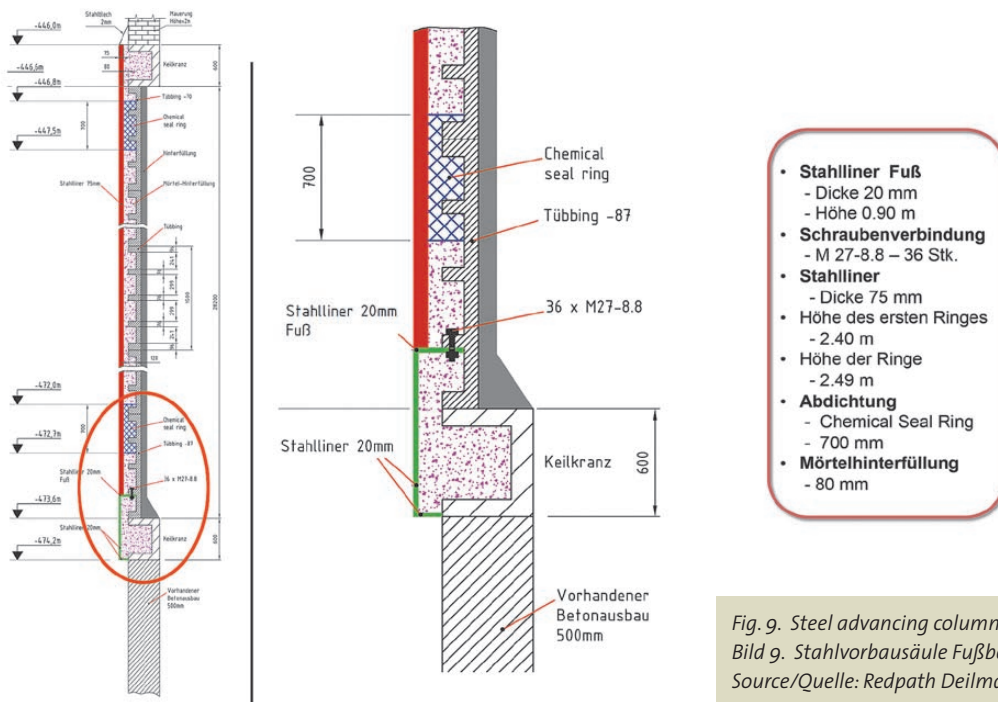


Fig. 9. Steel advancing column – bottom area.
Bild 9. Stahlvorbausäule Fußbereich.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

The masonry and the surrounding rock could be successfully stabilized by filling cavities and gluing detachments.

Additionally, weekly shaft inspections and regular measurements, are showing a decrease in movements towards zero. No more damages occurred.

Due to work on the shaft hoisting system, there will be a break in renovation work in 2020. Currently intensive discussions are going on about further steps in redevelopment, although these have not yet been completed. The shaft renovation is to be continued in 2021.

Neurode shaft

Neurode shaft belongs to Werra potash plant of K+S Aktiengesellschaft, which, as a combined mine, has three production sites in Hesse and Thuringia. The mine has nine shafts in the production areas and additionally another 14 shafts in the filling and sealing area of Merkers.

The Neurode shaft is more than 100 years old. The shaft was sunk between 1911 and 1913 to a depth of 731.4 m with 4.5 m diameter. There are four construction sections with tubbing lining. The wall thickness of the tubbing segments ranges from 25 to 80 mm. In between the four sections, the shaft is lined with masonry or reinforced concrete. The salt is reached at a depth of approximately 515 m. The shaft is connected to the 1st level at 658 m and to the 2nd level at 706.5 m. The 2nd level is used as haulage level.

Neurode with an age of almost 110 years is the oldest shaft of the three presented examples. It is planned to use it a few more decades. Neurode shaft is an air intake shaft with an air volume of 20,000 m³/min and an air speed of approximately 20 m/s. The shaft is used for shaft hauling of large and heavy parts of equipment. An unguided heavy-duty winch with a payload of 18.1 t is available for shaft hauling. The winch is only operated when the fan is stopped. The shaft is dry. A work platform that is moved with the heavy-duty winch is used for shaft inspection purposes.

ken der Tübbinge von 25 bis 80 mm. Dazwischen ist der Schacht mit Mauerwerk oder Beton ausgekleidet. Das Salzlager wird bei ca. 515 m Teufe erreicht. Der Schacht ist im Niveau 658 m an die 1. Sohle und im Niveau 706,5 m an die 2. Sohle angeschlossen, wobei die 2. Sohle als Transportsohle genutzt wird.

Von den drei hier vorgestellten Beispielen ist Neurode mit einem Alter von fast 110 Jahren der älteste Schacht. Seine Nutzung ist noch für einige Jahrzehnte geplant. Er ist als ausziehender Wetterschacht mit einer Wettermenge von 20.000 m³/min bei einer Wettergeschwindigkeit von ca. 20 m/s und als Materialschacht für große und schwere Teile in Betrieb. Für die Materialförderung ist eine ungeführte Schwerlastwinde mit einer Nutzlast von 18,1 t vorhanden, die nur bei Lüfterstillstand betrieben wird. Die Schachtröhre ist trocken. Zur Schachtbefahrung benutzt man eine Arbeitsbühne, die mit der Schwerlastwinde bewegt wird.

Auf Betreiben der Bergbehörde wurde der Zustand der Schachtröhre in den letzten Jahren sehr detailliert untersucht. Dabei wurden insbesondere die Wandstärken der Tübbinge gemessen. Das Schadensbild ergab Korrosion der Tübbinge, aber keine Undichtigkeiten. Mit den aktuell vorhandenen Materialstärken war der heute geforderte Nachweis der Standsicherheit nach DIN 21 500 nicht mehr zu führen.

Damit wurde als Forderung der Bergbehörde eine Sanierung der Schachtröhre notwendig, die im Rahmen einer Studie der damaligen Deilmann-Haniel GmbH – heute Redpath Deilmann GmbH – betrachtet wurde. Es wurden verschiedene Varianten untersucht und sowohl vom Zeitaufwand wie auch von den Kosten her bewertet. Konkret geht es um einen Schachtbereich von 28,2 m Länge zwischen 446 und 474,2 m Teufe. Dort befindet sich der tiefste Tübbingabschnitt, der komplett saniert werden muss.

Es war schnell klar, dass hier eine Ausbaustärkung erforderlich sein würde. Da der ohnehin schon kleine Schachtdurchmesser nur so wenig wie möglich weiter eingeschränkt werden durfte, schieden alle Varianten mit großer Wandstärke aus. Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass eine dichtge-

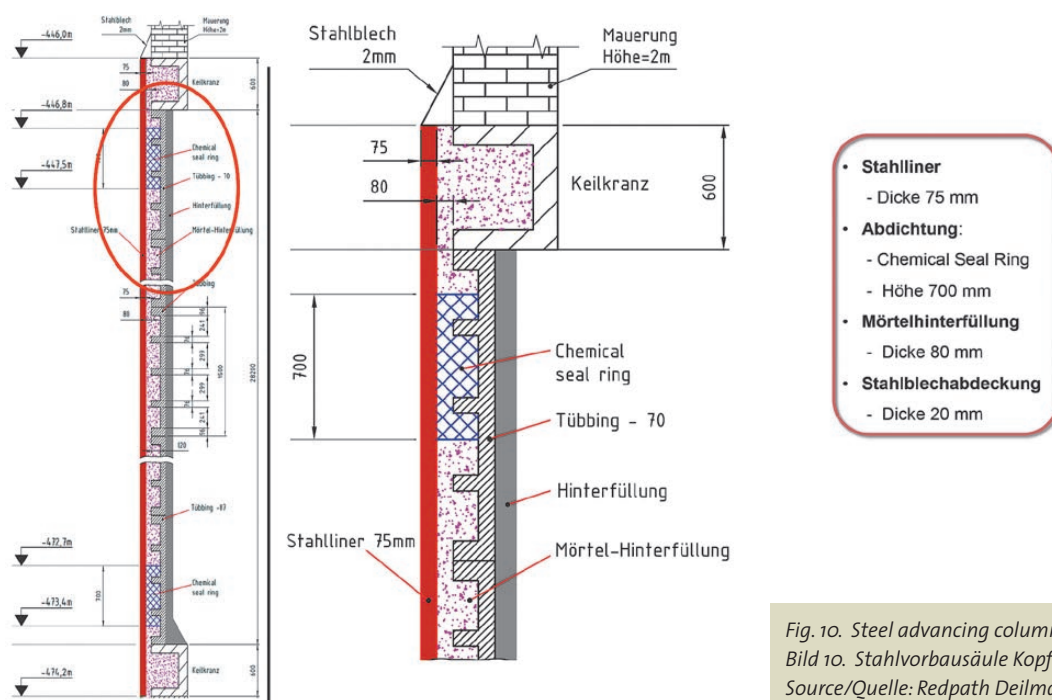


Fig. 10. Steel advancing column – top area.
Bild 10. Stahlvorbausäule Kopfbereich.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

At the instigation of the mining authority, in recent years the condition of the shaft has been investigated in great detail. Particularly the wall thicknesses of the tubbing segments were measured. The detected damages showed corrosion of the steel liner segments, but no leaks. With the currently available material thicknesses, the proof of stability required today according to DIN 21 500 could no longer be provided.

As a result, the mining authority demanded a rehabilitation of the shaft. Regarding to this, Deilmann-Haniel GmbH – today Redpath Deilmann GmbH – conducted a study and investigated and evaluated different variants in terms of time and cost. There is a 28.2 m long area between 446 and 474.2 m depth affected. The deepest tubbing is located there, which has to be completely renovated.

It became obvious very soon that reinforcement of the segment lining would be required here. The already small shaft diameter could only be further reduced as little as possible. Therefore, all variants with large wall thicknesses were discarded. The investigations led to the result that a “steel advancing column” with



Fig. 11. Sheet metal segments of the steel advancing column with 90° partition. // Bild 11. Blechsegmente der Stahlvorbausäule mit 90°-Teilung.
Photo/Foto: Redpath Deilmann

schweißte Stahlblechsäule mit 75 mm Wandstärke und 80 mm Mörtel hinterfüllung die beste Lösung darstellt. Im Schachtbau werden Sanierungen dieser Art als „Vorbausäulen“ bezeichnet, weil man vor den vorhandenen Schachtausbau eine weitere Ausbausäule einbringt. Man muss bei der geplanten weiteren jahrzehntelangen Nutzung des Schachts davon ausgehen, dass die Tübbinge undicht werden. Daher wurde die Stahlvorbausäule für die Aufnahme des Wasserdrucks dimensioniert und erhielt oben und unten eine Dichtung aus Chemical-Seal. Das Material wird seit Jahrzehnten im Schachtbau bei derartigen Sanierungen benutzt und besitzt die geforderten Eigenschaften, nämlich Quellen bei Wasserzutritt und Beständigkeit gegen Laugenkontakt.

Die Firmen Redpath Deilmann und Thyssen Schachtbau GmbH bildeten eine Arbeitsgemeinschaft und erhielten im Sommer 2018 den Auftrag zum Bau der Vorbausäule (Bilder 9, 10).

Für eine derartige Stahlvorbausäule benötigt man ein Fundament in einer tragfähigen Position im Schacht, denn es sind Lasten in der Bauphase und im Endzustand abzutragen. Es kamen zwei Optionen für das Fundament infrage:

- Ausbruch eines Fundaments unterhalb der Tübbingsäule im Mauerwerk und
- Befestigen einer Startkonstruktion aus Stahl im vorhandenen Tübbing und Hinterfüllung mit Beton.

Für die Sanierung des Schachts Neurode wurde die zweite Variante angewendet.

Die Stahlbauarbeiten im Schacht übernahmen Stahlbauunternehmen, welche die Fertigung, die Montage und das Verschweißen der dicken Bleche (Bild 11) jeden Tag ausführen. Von der Stahlbauunternehmen wurde die Höhe der Stahlringe mit 2,49 m festgelegt, sodass sich insgesamt elf Ringe ergaben. Nach der Höhe der Ringe wurde der Abstand der Etagen der Arbeitsbühne festgelegt.

Die Arbeitsstelle musste mit einer mehretagigen Arbeitsbühne zugänglich gemacht werden und die nötigen Vorrichtungen

75 mm sheet thickness and 80 mm mortar backfill would be the best solution. The name is referring to the type of construction since another – in this case watertight – lining system is inserted in front of the existing shaft lining system. Since it was expected, that the segments would become leaky during the next decades of usage, the steel advancing column was dimensioned to resist the water pressure. A chemical sealing was installed at the top and bottom. The chemical seal material has been used in shaft rehabilitation for decades and has the required properties, namely swelling under contact with water and resistance to alkali contact.

Redpath Deilmann and Thyssen Schachtbau GmbH founded a joint venture and were commissioned with the rehabilitation in summer 2018 (Figures 9, 10).

A steel advancing column requires a foundation in a load-bearing position in the shaft, because loads have to be transferred during construction and in final state. There were two options for the foundation:

- excavation of a foundation below the tubbing segments in the masonry; or
- installation of a starting structure made of steel in the existing tubbing lining and backfilling with concrete.

The second variant was used for the rehabilitation of the Neurode shaft.

For the steel construction work in the shaft, steel construction companies are commissioned to manufacture, assemble and weld the thick metal sheets (Figure 11) every day. The steel construction company set the height of the steel rings at 2.49 m, so that a total of eleven rings resulted. The distance between the levels of the working platform was determined according to the height of the rings.

The place of work had to be made accessible with a multi-level working platform and the necessary devices for sheet metal transport, power supply, supply with compressed air and welding gases had to be created. A system for man riding, concrete and chemical seal material supply also had to be set up. Cable deflections had to be planned and installed for all systems. In addition, the prescribed emergency man haulage had to be taken into account.

All these facilities had to be adapted to the conditions at the Neurode shaft. Since the shaft is approximately 110 years old, only incomplete documents have been available. The usable space is reduced through the diffuser, which is located in the building. On the former landing stage for transport only options like muscle power or chain hoists are available. So, assembling slows down considerably. There is no possibility of pre-assembly, when the fan is in operation. All work has to be carried out during short operational breaks. Contractually, two operational breaks of 16 and 22 days were planned for 2019 and 2020, during which the shaft renovation work could be carried out (Figure 12). For the first break in operation of 16 days, the installation of the base segment and three ring segments was planned, for the second break in operation the installation of the remaining seven ring segments. The following had to be set up for the breaks in operation for the shaft rehabilitation:

- two platform winches;
- one sheet metal transport winch;

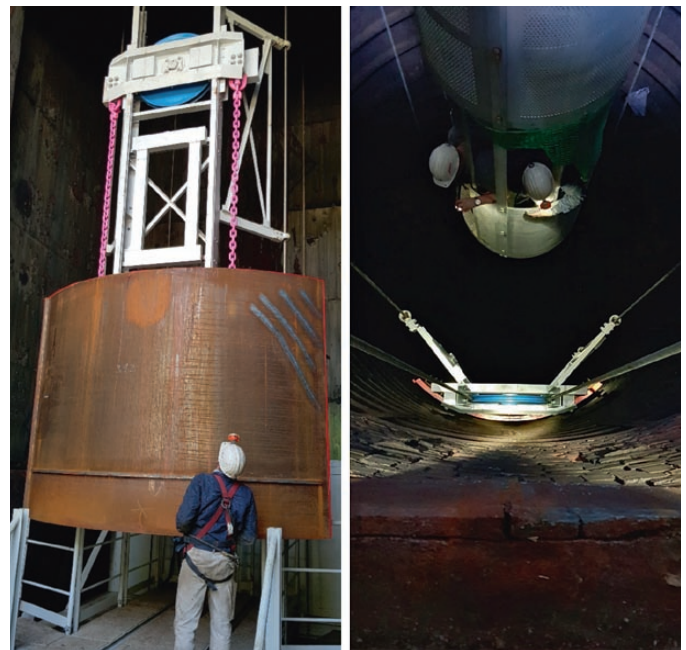


Fig. 12. Sheet metal transport on the guide block, accompanied above.
Bild 12. Blechtransport am Führungsschlitten und oberhalb begleitet.
Photos/Fotos: Redpath Deilmann

zum Blechtransport, zur Stromversorgung und zur Versorgung mit Druckluft und Schweißgasen mussten geschaffen werden. Weiter war eine Anlage für den Personentransport, die Betonversorgung sowie für das Chemical Seal-Material aufzubauen. Für alle Anlagen waren Seilumlenkungen zu planen und einzubauen. Darüber hinaus war auch die vorgeschriebene Notfahreinrichtung zu berücksichtigen.

Alle diese Einrichtungen waren an die Gegebenheiten am Schacht Neurode anzupassen. Das Schachtgebäude stammt aus der Zeit vor ca. 110 Jahren, daher gibt es nur unvollständige Unterlagen. Im Gebäude befindet sich der Diffusor, der den nutzbaren Raum stark einschränkt. Auf der ehemaligen Hängebank gibt es nur Transportmöglichkeiten mit Muskelkraft oder Kettenzügen, was die Montagen erheblich verlangsamt. Bei laufendem Grubenlüfter besteht keine Möglichkeit der Vormontage, sodass alle Arbeiten in den knappen Betriebspausen erfolgen müssen. Vertraglich waren für 2019 und 2020 zwei Betriebspausen mit 16 bzw. 22 Tagen vorgesehen, an denen die Schachtsanierungsarbeiten durchgeführt werden konnten (Bild 12). Für die erste Betriebspause von 16 Tagen war der Einbau des Fußsegments und von drei Ringsegmenten vorgesehen, für die zweite Betriebspause der Einbau der restlichen sieben Ringsegmente. Für die Betriebspausen zur Schachtsanierung waren jeweils aufzubauen:

- zwei Bühnenwinden,
- eine Blechtransportwinde,
- die Umnutzung der Schwerlastwinde von K+S für Personentransport, Transport von Beton und Chemical Seal,
- die Schachtsignalanlagen für Signalgebung und Kommunikation,
- die mobile Auto-Schachtwinde von K+S als Notfahreinrichtung und
- die Schachtabdeckung als Schiebeklappe.

- conversion of the heavy-duty winch from K+S for passenger transport, transport of concrete and chemical seal;
- shaft signaling systems for signaling and communication;
- mobile car shaft winch from K+S as an emergency man haulage device; and
- the shaft cover as a sliding flap.

The exact timing of the operational breaks for the shaft renovation work demanded the utmost effort from all those involved and could only succeed thanks to the good cooperation between K+S, the mining authority, the experts, the steelworker and the shaft construction companies.

Summary

In this article, three shaft rehabilitation projects were presented that had been carried out in shafts of different ages over the past five years. One shaft is 15, the second 50 and the third approximately 110 years old.

Due to the shaft itself and the use of the shaft specific conditions arise for the rehabilitation of old shafts. The shaft construction companies have to face these circumstances again and again during planning and execution and in doing so have to fall back on the possibilities available according to the state of the art. Almost always the influences of water and/or rock pressure determine the day-to-day work of these companies.

Die zeitlich exakte Einhaltung der Betriebspausen für die Schachtsanierungsarbeiten verlangte allen Beteiligten äußerste Anstrengungen ab und konnte nur durch die gute Zusammenarbeit zwischen K+S, der Bergbehörde, den Sachverständigen, dem Stahlbauer sowie den Schachtbauern gelingen.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden drei Schachtsanierungen vorgestellt, die in verschiedenen alten Schächten während der vergangenen fünf Jahre durchgeführt wurden. Ein Schacht ist 15, der zweite 50 und der dritte rd. 110 Jahre alt.

Sanierungen in solchen Bauwerken unterliegen besonderen Randbedingungen, die zum einen aus dem vorhandenen Schacht selbst und aus der aktuellen Nutzung entstehen. Diesen Umständen müssen sich die Schachtbauer bei der Planung und bei der Ausführung immer wieder neu stellen und dabei auf die nach dem Stand der Technik vorhandenen Möglichkeiten zurückgreifen. Dabei sind es fast immer die Einflüsse von Wasser und/oder Gebirgsdruck, die den Alltag der Schachtbauer bei solchen Sanierungsarbeiten bestimmen.

Author / Autor

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