

## **Bohrtechnische Erkundung eines Altkalischachtes Drilling technical exploration of an old potash shaft**

**Thomas Fliß<sup>1)</sup>, Jörg Martin<sup>2)</sup>, Peter Kriebel<sup>3)</sup> & Andre Kleitz**

<sup>1)</sup> K-UTEC AG Sondershausen, <sup>2)</sup> Thüringer Landesbergamt Gera, <sup>3)</sup> Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft mbH Hessisch-Lichtenau

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die Erkundung von abgeworfenen Altkalischächten ist unter den jeweils vorgegebenen geologischen und bergbautechnologischen Randbedingungen zu planen und zu realisieren, um zu einer ausreichenden und belastbaren Datenbasis zum Entwurf eines geeigneten Verwahrungskonzeptes zu gelangen. Verfügbare Daten und Informationen zur Planung und zur Durchführung von Erkundungsmaßnahmen sind in den meisten Fällen rar und oft unvollständig. Im Vortrag wird eine Erkundungsmaßnahme in einem Altkalischacht beschrieben, wobei insbesondere auf die Thematik der prognostizierten Verhältnisse und der real angetroffenen Situation eingegangen wird. Die Erkundungsmaßnahmen wurden in den Jahren 2008/ 2009 im Auftrag des Thüringer Landesbergamtes durchgeführt. Die Finanzierung erfolgte durch den Freistaat Thüringen mit Unterstützung des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE).

Beim Untersuchungsobjekt handelt es sich um den ca. 10 km westlich der Stadt Sondershausen gelegenen Schacht Immenrode. Der Schacht wurde zwischen 1905 und 1908 geteuft und nach einer wechselvollen Geschichte im Jahr 1955 durch einen Betonpfropfen in 300 m Teufe unterhalb des Abschlusskeilkranzes vom Tübbingausbau verschlossen. Danach erfolgten neben Sanierungsmaßnahmen verschiedene Erkundungsmaßnahmen im Bereich der Schachtröhre oberhalb des Pfropfens.

In den Jahren 2008 und 2009 erfolgten im Rahmen der anstehenden Verwahrungsmaßnahmen umfassende Erkundungsarbeiten zur Bewertung des Sicherheitszustandes des Schachtes. Für diese Arbeiten wurde der bestehende Süßwasserpfropfen im Schacht mit Hilfe einer Führungsrohrtour durchbohrt und auf diese Weise die Zugänglichkeit des unteren luftgefüllten Schachtabschnittes hergestellt. Im Rahmen der durchgeführten Erkundungsarbeiten konnte der Schacht bis in 788 mT erkundet werden. Es erfolgte neben einer Hohlraumvermessung und visuellen Zustandserfassung eine Aufnahme der Temperatur- und Leitfähigkeitsprofile inklusive Probenentnahmen sowie Gasanalysen.

### **ABSTRACT**

The exploration of abandoned Potash shafts is planned and realized under the given geological and mining technological boundary conditions, in order to ensure at a sufficient and reliable database for the design of a suitable storage concept. Available data and information for planning and conducting reconnaissance activities are in most cases scarce and often incomplete. The lecture present a technical exploration of an abandoned Potash shaft with special regard of the predicted conditions and the situation actually encountered. The exploratory measures were carried out in 2008/2009 on behalf of the Thuringian State Mining Office. The funding will be provided with the support of the European Regional Development Fund (EFRE).

## 1 Lage und Geschichte des Schachtes

Das ehemalige Bergwerk Ludwigshall – Immenrode befindet sich im NW-Teil des Thüringer Beckens im Südharz-Kalirevier. Der Schacht Immenrode liegt etwa 800 m südöstlich der Ortslage Wernode, östlich der Straße Kleinfurra/ Ruxleben-Immenrode. In der näheren Umgebung befinden sich kleinere Ortschaften sowie ein touristisch erschlossenes Gebiet.

Der Schacht Immenrode wurde in den Jahren 1905 bis 1908 geteuft. Bis zum Jahre 1911, als der Durchschlag mit der Grube Ludwigshall erfolgte, betrieb man den Schacht als Einzelanlage. Die Verarbeitung des Rohsalzes erfolgte am Schacht Ludwigshall. Zwischen beiden Schächten wurde hierzu übertägig eine Seilbahn errichtet.

Eine erste Betriebsunterbrechung erfolgte während des ersten Weltkrieges von 1914 bis 1916. Endgültig stellte man die Förderung 1924 ein, der Schacht wurde als Reserve vorgehalten. Zur Sicherung baute man unterhalb der Tübbingsäule eine hölzerne Traufenbühne, doppelt belegt mit Dachpappe und geteert, ein. Die gesammelten Wässer stürzten unkontrolliert ins Schachttiefste. Infolge dessen stand die unterste Sohle zeitweise unter Lauge. Es kam zu erheblichen Auslaugungen und Ausspülungen im Füllortbereich 2. Sohle.

Im Jahre 1936 übernahm die Heeresverwaltung den Schacht Immenrode sowie den Schacht Ludwigshall und richtete die Heeresmunitionsanstalt Wolframshausen ein. Die Gebhardt & Koenig Deutsche Schachtbau AG machte die Schächte und untertägigen Grubenräume bis 1939 wieder fahrbar. Bis zum Kriegsende nutzte man die Grube als Heeresmunitionsanstalt zur Fertigung und Lagerung von Munition. Im Jahre 1942 ereignete sich in einer untertägigen Munitionskammer eine verheerende Explosion, wobei 145 untertage Beschäftigte den Tod fanden.

Nach dem Krieg wurden zwischen 1945 bis 1949 die Munitionsreste aus der Grube geborgen und entsorgt. Im Zusammenhang mit diesen Arbeiten wurde durch die sowjetischen Besatzungstruppen ein Großteil der Ausrüstungen demontiert und abtransportiert.

In den Jahren 1951 bis 1953 führte der VEB Ausrüstung Nordhausen umfangreiche Erkundungsarbeiten nach Erdöl, Erdgas und Kupferschiefer aus. Diese Arbeiten wurden im Jahre 1953 ohne Erfolg eingestellt.

Ab dem Jahre 1954 wurde das Kaliwerk zurückgebaut. Die Gleisanlagen und elektrischen Anlagen wurden nach über Tage verbracht. Anschließend errichtete der VEB Schachtbau Nordhausen unterhalb der Tübbingsäule bei 310 mT einen Süßwasserpfpfen. Dieser bestand aus einem Betonwiderlager und einer darauf liegenden Tondichtung. Das Widerlager stellte man unterhalb des Abschlusskeilkranzes in händischer Spitzarbeit her. Auf das fertiggestellte Ortbetonwiderlager wurde eine Tonschicht mit einer Mächtigkeit von vier Metern eingebracht, allerdings ohne das Mauerwerk zu rauben. Der Pfpfen wies eine Gesamthöhe von etwa zwölf Metern auf. Das Schema in Abbildung 2 verdeutlicht den prinzipiellen Aufbau dieses Pfpfens. In den Jahren 1966 bis 1970 demontierte man das Fördergerüst und versah den Schacht mit einer Abdeckplatte.

Im April 1978 begann der VEB Schachtbau Nordhausen mit Arbeiten für einen geplanten Untergrundgasspeicher. Im Schacht Ludwigshall wurde der vorhandene Pfpfen wieder aufgewältigt, sämtliche Schachteinbauten bis ins Schachttiefste geraubt und der Ausbau saniert. Per Regierungsbeschluss stoppte man die Bauarbeiten allerdings 1980 wieder und baute einen neuen Süßwasserpfpfen unterhalb der Tübbingsäule ein. Im Schacht Immenrode verschloss man lediglich eine Kontrollrohrtour im Pfpfen und erhöhte die Tondichtung. Zum Abschluss errichtete man eine gemauerte Schachtabdeckung nach dem System Orlas /3/.

In den Jahren 1981/1982 wurden drei der verbliebenen baufälligen Gebäude der übertägigen Anlagen abgerissen. Der komplette Rückbau der übrigen Tagesanlagen erfolgte in den Jahren 1995/1996.

## 2 Geologische und hydrologische Randbedingungen

Der Schacht Immenrode durchteuft bis in etwa 635 mT die Horizonte des Buntsandsteins. Zwischen einer etwa 3 m mächtigen Schicht quartärer Ablagerungen und 41 mT stehen der Obere Buntsandstein, bis in 358 mT der Mittlere Buntsandstein und bis in 635 mT der Untere Buntsandstein an. Die Abbildung 1 zeigt einen geologischen Schnitt zwischen den Schächten Ludwigshall und Immenrode.

Die Folgen des Zechsteins werden durch den Schacht auf etwa 200 m bis zum Schachttiefsten in 838 mT aufgeschlossen. Im geologischen Profil des Schachtes werden die Zechsteinserien der Staßfurt-, Leine- und Allerfolge ausgewiesen, im Topbereich der Lagerstätte werden weiterhin auch die Ohre- und Fuldafolge vermutet.

Der Obere und Mittlere Buntsandstein besteht im Wesentlichen aus fein- bis grobkörnigen Sandsteinen und reicht bis in eine Teufe von ca. 358 m. Die Horizonte des Unteren Buntsandsteins stehen zwischen 358 mT und 635 mT in der Schachtröhre an und werden hauptsächlich durch Sandsteine verschiedener Mächtigkeit und Ausbildung, Tonsteine sowie Gipsschnüre gebildet. Unterhalb des Buntsandsteins stehen in der Schachtröhre die Horizonte des Zechsteins mit Aller-, Leine- und Staßfurtfolge an. Das Kaliflöz in carnallitischer Ausbildung wird durch die Schachtröhre zwischen 785 und 792 mT aufgeschlossen.

Ein Auftreten brennbarer Gase (Methan) wurde während der aktiven Gewinnungsarbeiten in der Grube mehrfach dokumentiert. Danach wurden, insbesondere unter starken Gebirgsdruckwirkungen Gasaustritte aus dem Liegenden im südlichen Teil des Immenröder Feldes beobachtet /4/. Während der Erkundungsarbeiten im Grubenfeld zwischen 1951 bis 1953 wurden ebenfalls Gasaustritte dokumentiert. Im Zuge der Aufwältigung des Süßwasserpfropfens im benachbarten Schacht Ludwigshall zur Einrichtung des Gasspeichers 1979 traf man allerdings keine angereicherten brennbaren Gase unterhalb des Pfropfens an.

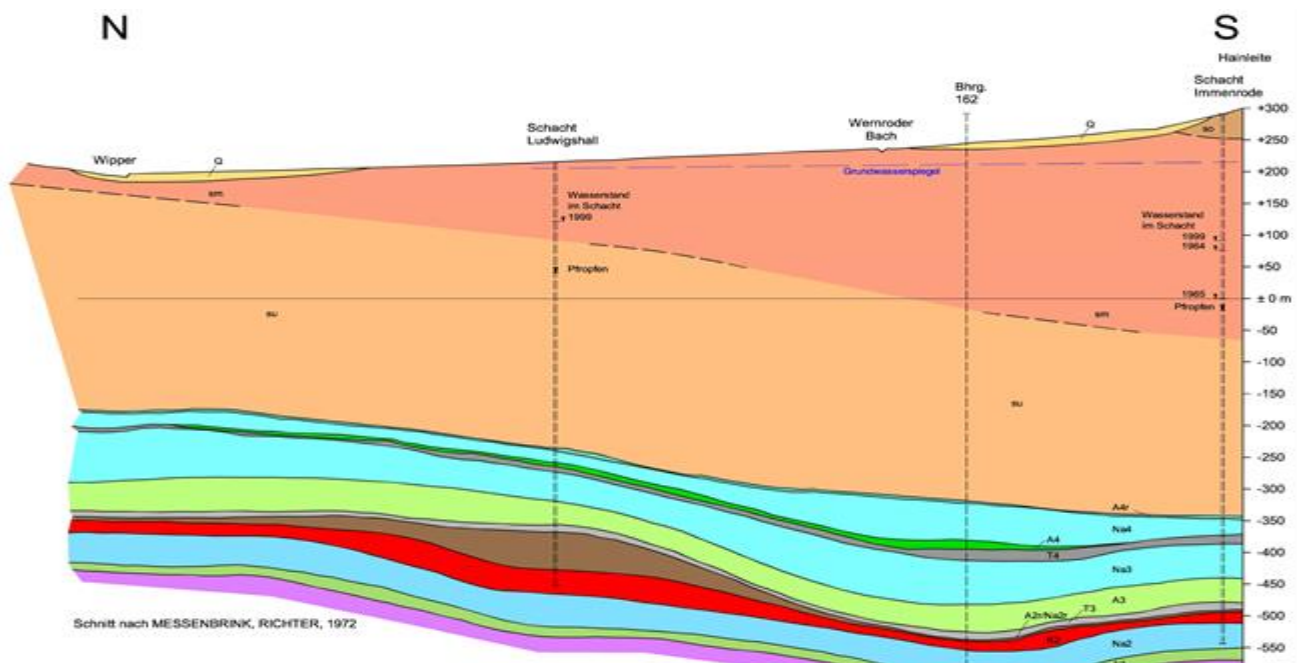


Abb.1 : Geologischer Schnitt zwischen den Schächten Ludwigshall und Immenrode.

Der Hauptgrundwasserleiter im Deckgebirge wird durch den Mittleren Buntsandstein gebildet. Der natürliche freie Grundwasserspiegel liegt im Bereich des Schachtes Immenrode bei etwa 215 mNN /7/, wobei das Grundwassergefälle generell in Richtung NE gerichtet vorliegt. Als Transmissivitäten werden für den Grundwasserleiterkomplex der Detfurth-Folge und des Basissandsteins

Werte von ca.  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  angegeben /5/. Diese Transmissivität steht für eine hohe Ergiebigkeit und lässt auf eine intensive Klüftung der Horizonte schließen.

Der Untere Buntsandstein wird allgemein aufgrund des hohen Anteils toniger Schichtelemente als Wasserstauer eingestuft. Nur in den obersten klüftigen Folgen (ca. 60 bis 80 m) des Unteren Buntsandsteins kann eine Grundwasserführung beobachtet werden. Als Transmissivitäten werden für diese Bereiche im Mittel  $0,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  angegeben /6/.

In der Schachtröhre stehen oberhalb des Süßwasserpfpfens Lösungen an. Die Höhenlage des Spiegels betrug zum damaligen Zeitpunkt 196,5 mT.

### 3 Schachtausbau und Schachteinbauten

Der Schacht Immenrode besitzt einen Schachtdurchmesser von 5,25 m und weist folgende geometrischen Parameter auf /1/:

Ehemalige Hängebank:	295,50 mNN	
Aktuelle Geländehöhe:	295,18 mNN	(OK Fundament Bohrbühne)
1. Sohle (Wettersohle):	-493,05 mNN	(788,52 m Teufe bezogen auf Hängebank)
2. Sohle (Fördersohle)	-526,40 mNN	(821,87 m Teufe bezogen auf Hängebank)
Endteufe:	-542,53 mNN	(838,00 m Teufe bezogen auf Hängebank)

Die erste Sohle (Wettersohle) wurde im Hartsalz/ Carnallitit und die zweite Sohle im Steinsalz aufgefahren. Der Schacht wurde mit folgendem Ausbau versehen:

0,0	bis	16,0 mT	Mauerwerk
16,0	bis	56,0 mT	Tübbingausbau
56,0	bis	90,0 mT	Mauerwerk
90,0	bis	300,68 mT	Tübbingausbau
300,68	bis	838,00 mT	Mauerwerk

Die letzte grundhafte Sanierung des Ausbaus erfolgte bis zur Oberkante der Dichtung in den Jahren 1978 bis 1980 im Zuge der Arbeiten für den UGS Kirchheilingen II /3/. Nach Abriss des Schachtverschlusses raubte man sämtliche Einbauten bis zur Dichtung im oberen Schachtbereich. Im Zuge des Raubens der Einbauten tastete man die Tübbingsäule ab (vier Bohrungen in jeden zweiten Tübbingring) und verpresste anschließend zwischen den Keilkränzen von unten nach oben mit Zementsuspension. Der Zustand der Tübbingsäule war gut und es wurden nur geringe Wasserzuflüsse verzeichnet.

Der Aufbau des im Schacht vorhandenen Süßwasserpfpfens kann wie folgt zusammengefasst werden:

Tab.1 : Aufbau des Süßwasserpfpfens /8/

297,75 – 298,15 mT	Grobkies- und Feinkiessschicht von ca. 0,4 m Stärke als obere Abdeckung
298,15 – 302,15 mT	Tondichtung von 4 m Stärke
302,15 – 306,70 mT	Oberer Pfpfensbereich aus B225 Stampfbeton (C20/25)
305,60 – 307,80 mT	Verbindungsstufe mit 100 Stück Rundstählen bewehrt
306,70 – ca. 309 mT	Unterer Pfpfensbereich aus B225 Stampfbeton (C20/25)
ca. 309 – 310,5 mT	Gewölbe aus Leichtbauplatten (3 Lagen) mit Isolierpappenabdeckung und Gewölbefüllung aus Schlacken-Magerbeton MV 1:10
310,5 mT	Stahlträger (Doppel-T) mit 750 mm Abstand und zwischen liegenden Holzbohlen (ca. 30 mm Dicke)

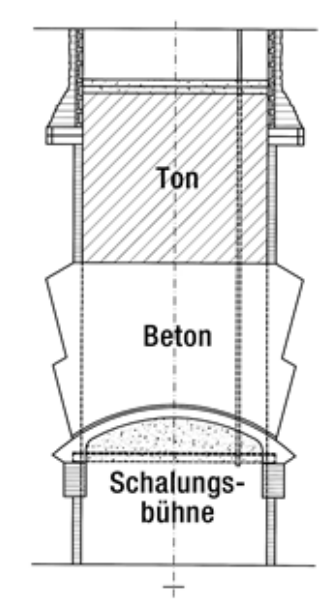


Abb.2 : Schematische Darstellung des Süßwasserpfropfens Ludwigshall 1955 bis 1978 /9/

#### 4 Einbau einer Führungsrohrtour

Zur Erkundung des vollständigen Schachtbereiches musste der vorhandene Betonpfropfen durchbohrt und damit die bohrtechnische Zugänglichkeit für Erkundungsmaßnahmen im unteren Abschnitt hergestellt werden. Das Durchbohren erfolgte über eine geführte Bohrung von der Tagesoberfläche mittels einer entsprechenden Bohranlage. Zur Führung des Bohrstranges wurde eine Hilfsrohrtour verwendet, die in den Pfropfen einbindet und über ein zementiertes Widerlager oberhalb der Dichtung im Schacht fixiert wird. Die Führungsrohrtour soll einen dichten Abschluss der Bohrung gegenüber der Atmosphäre (Verhinderung einer Gasgefährdung) und gegenüber der im Schacht stehenden Fluidsäule gewährleisten (unkontrollierbarer Wasserzutritt in die Schachtröhre).

Nach dem Abriss des Orlasverschlusses und dem Aufbau der Arbeitsbühne samt Bohrgerät und Gestängelager erfolgte der Einbau der Führungsrohrtour. Die Führungsrohr wurde durch einen Verschraubservice montiert und bis auf 295,45 mT in die Schachtröhre eingebaut. Die Führungsrohrtour konnte danach bis auf 301,4 mT in die Dichtung eingebohrt werden. In dieser Teufe traf der Rohrstrang auf einen Widerstand der auf eine Stahlarmierung im Betonpfropfen hindeutete. Die Führungsrohrtour wurde daraufhin in 301,4 mT abgesetzt und freigespült.

Nach dem Abhängen der Rohrtour erfolgte die Zementation des Stranges oberhalb der bestehenden Dichtung. Zum Einsatz kam ein Misch- und Verpumpfahrzeug mit einer maximalen Kapazität von ca. 1000 l fertig gemischter Baustoff pro Minute. Als Baustoff wurde ein CEM III/B 42,5 N-LH/ HS/ NA (DIN 1164) verwendet. Versuche zum Erhärtungsverhalten mit der vorgesehenen Anmischlösung wurden durchgeführt und die Eignung des aus der Schachtröhre entnommenen Wassers nachgewiesen. Die Anlieferung des Baustoffes erfolgte mittels Silofahrzeugen über den vorhandenen Zufahrtsweg. Von jeder Betoniercharge wurde je eine Rückstellprobe entnommen.

Als Packer kam ein RTTS-Packer der Fa. Comdrill zum Einsatz. Der Packersetzdruck betrug während der Arbeiten ca. 17 bar (Druckbeaufschlagung mittels Stickstoff). Der Bereich oberhalb des Packers wurde mit einem Lichtlot überwacht, um mögliche Packerundichtigkeiten sofort zu detektieren.



Abb.3 : Eingehangene und abgespannte Führungsrohrtour im oberen Schachtabschnitt, links und rechts im Bild sind die abgemauerten Schachtzugänge sichtbar.

Nach dem Anmischen des Baustoffes in der Anlage wurde dieser zur Zementationsrohrtour gepumpt. Der Baustoff gelangte über diese Rohrtour bis ins Bohrlochtiefste und wurde durch den Druck der Baustoffsäule in der Rohrtour über den Ringraum zwischen Führungsrohrtour und Betonpfropfen bzw. Dichtungselement (Ton) oberhalb des Betonpfropfens eingebaut. Während der gesamten Zementation konnte kein Druckaufbau in der Zuleitung zwischen Baustoffpumpe und Zementationsrohrtour beobachtet werden. Es erfolgte eine permanente Aufzeichnung der verpumpten Baustoffmenge und des anliegenden Drucks in der Verpumpleitung. Die Mischanlage wurde während der Arbeiten mit einer Verpumpleistung von ca. 500 l pro Minute gefahren. Insgesamt konnten ca. 96 m<sup>3</sup> Baustoff hergestellt und verpumpt werden. Nach Beendigung der Zementationsarbeiten wurden zur Säuberung des Gestänges etwa 5 m<sup>3</sup> Spacer (Spülungswasser) eingebracht.

Nach dem Erhärten des eingebauten Zementmaterials erfolgte der Ausbau des RTTS-Packers und der Zementierrohrtour. Der Packer ließ sich dabei problemlos lösen und ausbauen. Nach dem Ausbau des Zementations-Equipments wurde der Wasserspiegel im Schacht mittels Lichtlot bei 194,41 mT unter OK Fundament gelotet.

Die zementierte Führungsrohrtour wurde nach der Beendigung der Zementationsarbeiten in Spannung gezogen. Die Rohrtour wurde hierfür mit ca. 10 t vorgespannt und in der entsprechenden Vorrichtung auf der Arbeitsbühne verlagert. Danach erfolgten die Montage des Preventers sowie ein Dichtheitstest der Führungsrohrtour. Hierzu wurden das Bohrwerkzeug und eine Gestängerohrtour inklusive einer Abdichtung in die Führungsrohrtour eingefahren und mittels des Preventers abgedichtet.

Zur Bestimmung der Durchtrittsmenge durch die Pfropfenkonstruktion wurde eine Spiegelabfallmessung in der Führungsrohrtour durchgeführt. Aus dieser Messung konnte der charakteristische Durchfluss für ein stationäres Druckregime beginnend bei 20 bar Druckdifferenz (vollständig befüllte Führungsrohrtour) abgeschätzt werden. Auf Basis dieser Beobachtung wurde der Einfluss einer möglichen Wegsamkeit zwischen Pfropfen und Führungsrohrtour als geringfügig eingeschätzt.

## 5 Bohrarbeiten

Nach dem Einbau der Bohrkronen und des Bohrstranges wurde mit den Bohrarbeiten durch den Pfropfen begonnen. Das Bohrwerkzeug konnte bis ca. 3,10 m in den Pfropfen eingebohrt werden, danach blockierte die Bohrkronen und die Bohrarbeiten wurden unterbrochen. Nach verschiedenen erfolglosen Versuchen das Bohrwerkzeug über zyklische Be- und Entlastungsversuche des Bohrstranges zu lösen, wurden die Bohrarbeiten schließlich vorerst eingestellt.

Zur Herstellung der Durchgängigkeit des Werkzeuges und Weiterführung der Bohrarbeiten wurde folgendes Konzept angewandt.

- Trennung des Werkzeuges vom Bohrstrang durch eine Lockerungssprengung,
- Zementation des festen Bohrwerkzeuges und Überfräsen des Kopfbereich (Fisch und Pub-Joint) mittels eines Super Junk Mills,
- Die restliche Bohrkronen verbleibt als Inliner zur Stabilisierung des Übergangsbereiches Führungsrohrtour – Betonpfropfen im Bohrloch.

Zur Lockerung des gesamten Bohrwerkzeuges wurde zunächst in der Bohrkronen eine Ladung zur Explosion gebracht. Nachdem diese Maßnahme keinen Erfolg brachte, wurde in einem zweiten Schritt im Bereich der Übergangsmuffe Bohrstrang – Bohrwerkzeug eine Sprengladung gezündet. Das Gestänge war hierzu vorab in Spannung gezogen und mit einem Drehmoment belastet worden. Der gesamte Bohrstrang konnte auf diese Weise vom Bohrwerkzeug getrennt und ausgebaut werden.

Nach letzten erfolglosen Versuchen zur Bergung bzw. zum Überspülen des Kernrohres, erfolgte schließlich die Zementation des Kernrohres. Die Baustelle wurde für die Überfräsarbeiten eingerichtet und das erforderliche Werkzeug angeliefert sowie die Bohrspülung mit Ton und Antisol konditioniert. Nach dem Einbau der Bohrgarnitur und des Bohrstranges konnte mit den Überfräsarbeiten der blockierten Bohrkronen begonnen werden. Der zementierte Bereich oberhalb des festen Bohrwerkzeuges sowie der Kopfbereich des Werkzeuges (Fisch und Pub-Joint) wurden mittels eines Super Junk Mills mit einem Durchmesser von 243 mm überfräst. Im Bereich des Bohrwerkzeuges wurde ein Disk Mill mit 200 mm Durchmesser eingesetzt werden. Die Garnitur bestand im Einzelnen aus folgenden Komponenten:

- Meißel (Super Junk Mill, Durchmesser: 243 mm),
- Sedimentrohre (2 fach),
- Stabilisator,
- Schwerstangen (3-fach).

Die eingesetzte Spülung wurde während des Überfräsens mittels eines Magnetabscheiders von metallischen Verunreinigungen gesäubert. Nach einem zügigen Bohrfortschritt konnte der gesamte zementierte Bereich inklusive Kopfstück überfräst werden. Während der Überfräsarbeiten wurden aus dem Spülungskreislauf verschiedene Drahtseilstücke, Seilklemmen und Schrauben sowie Reste von Armierungseisen oder Bohrstangen separiert. Als mutmaßliche Ursache für das Verklemmen des Kernrohres kommt ein vorgefundenes Drahtseil in Frage. Die Metallteile bedingten eine erhöhte Beanspruchung des Werkzeuges, ein vollständiges Verkeilen durch diese Fremdkörper ist allerdings unwahrscheinlich.

Für die weiteren Arbeiten zum Aufbohren des einzementierten Bohrwerkzeuges wurde der Bohrstrang mit dem Junk Mill ausgebaut und ein Disk Mill mit 200 mm Durchmesser eingebaut. Der Pfropfen konnte danach mit Vortriebsgeschwindigkeiten zwischen 0,4 bis 0,7 m pro Stunde vollständig durchbohrt.

Die Bohrung wurde nach dem Durchbohren gesichert und verschlossen. Im Ringraum der Bohrung konnte nach dem Verschluss ein ondulierender Druckaufbau bis maximal 0,5 bar beobachtet werden, was auf ein „Atmen“ des angeschlossenen Grubenhohlraumes entsprechend den metrologischen Verhältnissen an der Tagesoberfläche schließen ließ. Brennbare Gase wurden nicht angetroffen.



## 6 Erkundung

Zur Untersuchung und Bewertung des Sicherheitszustandes des Altkalischachtes „Immenrode“ wurden folgende Messverfahren und Erkundungsmethoden angewandt:

- Schachtkonturvermessung durch Sonar- bzw. Lasermessungen,
- Temperatur- und Leitfähigkeitsmessung
- Videobefahrung in den luft- und lösungserfüllten Schachtabschnitten,
- teufenorientierte Probenahme und physikalisch-chemische Analysen der Lösungsproben,
- Gasanalysen aus der Schachtröhre und der Führungsrohrtour,
- Lotungen zur Überwachung der Spiegelhöhe im Schacht oberhalb des Pfropfens.

Vor Beginn der Bauarbeiten am Schachtkopf wurden durch die K-UTEK zwei Gasproben aus der Schachtröhre des Schachtes entnommen. Die Probenentnahmen erfolgten durch das vorhandene Entlüftungsrohr mittels einer Gasmaus. Die Proben wurden im Entlüftungsrohr direkt unterhalb des Orlasverschlusses entnommen und anschließend im Labor der K-UTEK analysiert (GC-Messung). Die entnommene Gasprobe wies dabei eine für Altbergbauobjekte typische Zusammensetzung auf, wobei Methan in Spuren nachgewiesen werden konnte.

Zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit auf der Baustelle wurde während der Erkundungsmaßnahmen permanent ein Gasmessgerät der Fa. Dräger (Multiwarn) vorgehalten. Die offene Bohrung zeigte während der Erkundungsmaßnahmen überwiegend ein Gasaustrittsverhalten. Während der Arbeiten konnten mit dem Multiwarn keinerlei Brenngase nachgewiesen werden.

Zur Vermessung der Schachtkonturen wurde im luftgefüllten Schachtabchnitten eine Laser-sonde und im lösungserfüllten Bereich eine Ultraschallsonde eingesetzt. Die Messungen erfolgten durch die SOCON Sonar Control Kavernenvermessung GmbH. Die Schachtkontur wurde mit insgesamt 100 Horizontalschnitten diskontinuierlich vermessen. Aufgrund der Anordnung der Erkundungsbohrung inklusive Führungsrohrtour und der Lösungssäule im oberen Schacht wurden mehrere Sondenfahrten erforderlich.

Die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen erfolgten mit einer entsprechenden Sonden-ausrüstung ST-16, Geocom Celle. Die Messung der Leitfähigkeit und der Temperatur werden bei der verwendeten Sonde in einem isolierten Rohr durchgeführt, um Einflüsse des Gesteins- bzw. Ausbauwiderstandes zu vermeiden. Die Messungen wurden als Kombi-Log während der Einfahrt der Sonde in den Messbereich (Ab-Messung) durchgeführt.

Die teufenorientierten Probenentnahmen erfolgten mittels eines elektromechanischen Differenz-druckprobennehmers. Mit diesem Gerät können die Proben in einer bestimmten Tiefe mit Hilfe des Druckunterschiedes zum Lösungsspiegel im Schacht (Atmosphärendruck) entnommen werden. Die Probenentnahme erfolgt über ein motorisch auf- und zufahrbares Ventil, welches erst nach Erreichen der Entnahmetiefe geöffnet wird. Das Ventil wird nach der Entnahme wieder geschlossen, so dass die Probe unter hermetischem Verschluss an die Oberfläche gebracht werden kann. Die chemisch/ physikalischen Analysen wurden im Labor der K-UTEK AG in Sondershausen durchgeführt. Die Gesamtmineralisation steigt mit zunehmender Teufe kontinuierlich an. Es handelt sich um NaCl – dominierte Formationswässer aus dem Mittleren Buntsandstein. Allgemein sind die analysierten Wässer als gering bis schwach mineralisiert einzustufen.

Im Rahmen der Erkundungsarbeiten wurde eine Videobefahrung im Innern der Schachtbohrung mit dem Zielpunkt Schachttiefstes durchgeführt. Während dieser Videosondierung behinderten in weiten Teilen der Bohrung Nebel- bzw. Dunstschwaden die Sicht zum Teil erheblich. Im unteren Bereich der Führungsrohrtour und im oberen Teil des Betonpfropfens konnte während der Sondierung eine stärkere Wasserzirkulation beobachtet werden. Aufgrund der stark eingeschränkten bzw. unzureichenden Sichtverhältnisse, bedingt durch den Wasserandrang und die eingesetzte Sondentechnologie, konnten aus den Befahrungsergebnissen der Videosondierung zu diesem Zeitpunkt keine Rückschlüsse auf die Herkunft bzw. die Ursachen für den beobachteten Wasserzutritt gezogen werden.



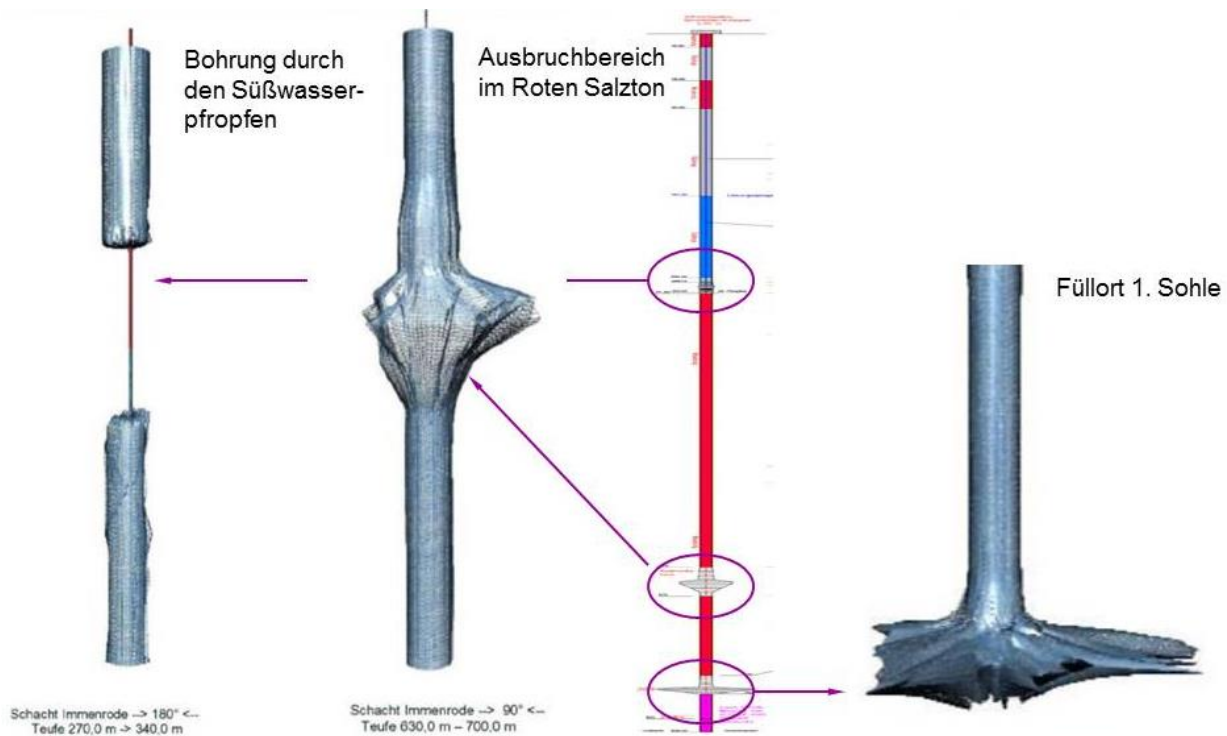


Abb.4 : Sonar Vermessung der Schachtröhre mit dem Ausbruchsbereich im Roten Salzion und der Querschnittserweiterung im Füllortbereich.

Als mögliche Ursachen kamen wetterklimatische Phänomene in Verbindung mit zutretendem Wasser im Pfropfenbereich bzw. eventuelle Undichtigkeiten im Bereich der Führungsrohrtour in Frage. Zur Bewertung des Pfropfenzustandes war die Klärung der Ursachen von grundlegender Bedeutung, so dass eine zweite Videosondierung in diesem Bereich durchgeführt wurde. Der Zeitpunkt für diese Untersuchung wurde in eine meteorologische Hochdruckphase gelegt, um wetterklimatische Phänomene als mögliche Ursache auszuschließen.

Während der zweiten Befahrung bestand eine klare Sicht ohne Dunst- bzw. Schwadenbildung. Alle Rohrverbinder waren deutlich sichtbar und trocken. Die Führungsrohrtour weist im unteren Teil stärkere Korrosionserscheinungen und geringfügige Schlammbildungen im Bereich der Verbinder auf. Im oberen Pfropfenbereich traten über röhrenähnliche Ausbildungen Wasserzuflüsse in die Bohrung ein. Die Randbereiche dieser Ausbildungen waren scharfkantig ausgebildet, was mutmaßlich auf angeschnittene Stahlrohre schließen ließ.

Weiterhin konnten verschiedene Ausbrüche der Bohrlochkontur beobachtet werden, in deren Bereich teilweise größere Zuschlagfraktionen des verwendeten Betons sichtbar waren und die Bindemittelmatrix des Pfropfenbaustoffes zum Teil aus dem Gefüge ausgewaschen war.

Zur Erkundung des Schachtbereiches unterhalb vom Pfropfen wurde eine weitere Video-befahrung mit einer Bohrlochsonde der K-UTEC AG durchgeführt. Die Sonde wurde für den Einsatz im Schachtquerschnitt mit einer geeigneten Zusatzbeleuchtung ausgerüstet. Zur Durchfahrt der Engstellen im unteren Pfropfenbereich wurden zusätzlich robuste Stabilisatoren installiert. Die Befahrung erfolgte mit der Schachtwinde der K-UTEC (maximale Erkundungstiefe: 1000 m).

Im Bereich der Führungsrohrtour bis in 301,58 mT herrschte klare Sicht ohne Dunst- bzw. Schwadenbildungen. Die Rohrverbinder waren deutlich sichtbar und trocken. Im Pfropfen zwischen 301,58 und 311,60 mT konnten zwei Zuflussstellen und verschiedene umlaufende Ausbrüche der Bohrlochkontur bis hin zu kavernenartigen Ausbildungen im unteren Pfropfenbereich beobachtet werden. Im unteren Schachtabschnitt zwischen 311,60 und 787,50 mT waren die Einstriche und Teile von Spurlatten sichtbar. Im Schachttiefsten konnte die Oberfläche des Bruchmassenspiegels bei 787,50 mT mit Resten von Mauerwerk, Konturausbrüchen und vereinzelt Holzteilen begutachtet werden.

## 7 Erkundungsergebnisse und Zustandsbeschreibung

Die visuellen Beobachtungen im oberen Schachtabchnitt bis zur bestehenden Dichtung konnten einen relativ guten und standsicheren Ausbauzustand belegen. Das Mauerwerk und der Tübbingausbau wurden strukturell intakt mit vereinzelt Aussinterungen vorgefunden. In etwa 175 mT befanden sich zwei größere flächige Aussinterungen, über welche ein Lösungszutritt in die Schachtröhre zu beobachten war.

Unterhalb des Pfropfens konnten sich bis in ca. 550 mT verschiedene Einbauten, wie Einstriche, Spurlatten und Teile des Wetterscheiders im Schacht beobachtet werden. Ab dieser Teufe war der Schacht frei von Einbauten. Im Bereich des Grenzanhydrits - Allersteinsalzes - Roten Salztones zwischen 655 und 670 mT wurde ein Ausbruchsvolumen von etwa 1570 m<sup>3</sup> festgestellt. Im Niveau des Füllortes der 1. Sohle wurde die Schachtkontur gegenüber dem ursprünglich vorhandenen Ausbau erheblich erweitert vorgefunden. Der übrige Teil des unteren Schachtabchnittes kann aufgrund der Form der Schachtkonturen und der ermittelten Maximaldurchmesser generell als intakt beschrieben werden. Unterhalb des Füllortbereiches war der Schacht bis auf das Niveau von 792,5 mT mit Bruchmassen aufgefüllt. Die Abbildung 4 zeigt hierzu die Ausbruchsbereiche sowie die Bohrung durch den Pfropfen.

Der Zustand des vorhandenen Süßwasserpfropfens konnte als hydraulisch durchlässig charakterisiert werden, die Tragfähigkeit war signifikant beeinträchtigt. Im Gesamtsystem der Dichtung/ Widerlagerkonstruktion konnte nur dem Bereich der Tondichtung ein effektiv wirksamer hydraulischer Widerstand zugeordnet werden.

Als Folge der defekten Dichtungsstruktur musste mit fortschreitender Zeit ein unkontrolliertes Ersaufen des Grubengebäudes über die Schachtröhre angenommen werden. Damit verbunden wäre eine deutliche Hohlraumerweiterung in den Abbaubereichen des Grubenfeldes und in den Füllortbereichen des Schachtes. Eine Aktivierung des Senkungsgeschehens an der Tagesoberfläche verbunden mit der Auslösung größerer dynamischer Ereignisse konnten für dieses Szenario nicht ausgeschlossen werden.

Der untere Teil der Schachtröhre würde infolge eines unkontrollierten Ersaufens durch zusätzliche Auflösungsvorgänge weiter destabilisiert, was zu einem aufwärts gerichteten Verbruch des Mauerwerksausbaus und einer weiteren deutlichen Vergrößerung der bestehenden Hohlräume führen konnte.

Neben den erläuterten direkten Auswirkungen der unkontrollierten Flutung auf das mechanische System würde es nach dem vollständigen Auffüllen des Hohlraumes zu einer Auspressphase der aufgesättigten Salzlösungen aus dem Grubengebäude kommen. Während einer solchen Auspressphase ist eine Kontamination der Grundwasserstockwerke mit hochkonzentrierten MgCl<sub>2</sub>-Lösungen nicht auszuschließen.

Aus den aufgezeigten Gefährdungsszenarien, den Verhältnissen im Grubenfeld und den möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche bzw. die Grundwasserleiter konnte die Forderung nach einer wirksamen und nachhaltigen Abdichtung der Schachtröhre abgeleitet werden. Das bestehende Dichtungssystem erwies sich als durchlässig mit einer annähernd stationären Durchströmungsrate. Es bestand das Risiko, dass bei weiter nachlassender hydraulischer Dichtungswirkung die Zutrittsmengen ansteigen würden. Angesichts des Zustandes, des Aufbaues und der Wirkungsweise des vorhandenen Süßwasserpfropfens waren Ertüchtigungsmaßnahmen dieser Konstruktion nicht zu empfehlen.

## 8 Ausblick

Die durchgeführte Erkundung des Altkalischachtes „Immenrode“ zeigt, dass Erkundungsmaßnahmen in temporär verplombten Schachtröhren mittels minimal invasiver Schachtbohrarbeiten zieloptimiert und erfolgreich durchgeführt werden können. Durch die minimalen Einflüsse auf das bestehende System der Schachtröhre samt temporärer Dichtungskonstruktion ergeben sich für spätere Verwehrmaßnahmen keine wesentlichen Einschränkungen, welche aus den durchgeführten Erkundungsmaßnahmen resultieren können. Auf diese Weise werden alle möglichen Verwehroptionen offen gehalten, um zum einen das geforderte Sicherheitsniveau hinsichtlich einer dauerstandsicheren Schachtverwahrung zu gewährleisten und andererseits auch eine ökonomisch sinnvolle Maßnahme realisieren zu können.

Da für abgeworfene und verplombte Schachtanlagen in der Regel ein komplexes Gasgefährdungspotenzial anzunehmen ist, steht ein umfassender Gasschutz während der Bohrarbeiten wie auch der Erkundungsmaßnahmen an vorderster Stelle. Zur Gewährleistung dieses Gasschutzes sind entsprechende Preventersysteme verfügbar und einsatzbereit.

Auf der Basis der Erkundungsergebnisse konnten im Rahmen einer Konzeptplanung verschiedene Verfüllsäulenvarianten erarbeitet werden, welche einerseits die Anforderungen an eine dauerhafte Schachtverwahrung und andererseits die detaillierten Informationen über den Zustand der Schachtröhre zu berücksichtigen hatte. Zur dauerstandsicheren Verwahrung des Altkalischachtes kam nach dem Rückbau des bestehenden Pfropfens eine Vollverfüllung mit einer dauerhaften hydraulischen Trennung des Deckgebirgsbereiches aus Buntsandstein und Muschelkalk zum Salinar zur Anwendung.

Nachkontrollen des Füllmassenspiegels zeigen nur marginale Senkungsbeträge, so dass von einer qualitativ hochwertig eingebrachten Füllsäule ausgegangen werden kann. Über entsprechende Gütekontrollen der verbauten Dichtungsmaterialien konnte ein indirekter Funktionsnachweis für das Dichtungssystem erbracht werden. Die Abbildung 5 zeigt die Schachtdeckung nach Beendigung der Verwehrmaßnahme im Jahre 2013.



Abb.5 : Schachtdeckel des Schachtes Immenrode nach Beendigung der Verwehrmaßnahme im Jahre 2011.

## Quellenangaben

- /1/ BONK (1970): Bergschadenkundliche Analyse für das stillgelegte Kaliwerk Ludwigshall-Immenrode. VEB Kombinat Kali, Sondershausen, 27.08.1970
- /2/ Dokumentation der Arbeiten des VEB Schachtbau Nordhausen in den Schächten Ludwigshall – Immenrode. VEB Schachtbau Nordhausen, 09.11.1981, Betriebsarchiv SCHACHTBAU NORDHAUSEN GmbH
- /3/ Schachtverwahrung UGS Immenrode und Ludwigshall - Bautechnische Unterlagen für die Herstellung der Schachtabdeckungen. VEB Schachtbau Nordhausen, 20.11.1980 Betriebsarchiv SCHACHTBAU NORDHAUSEN GmbH
- /4/ STOLLE, E. (1953): Gasvorkommen in Kalibergwerken des Südharzgebietes. Bergbau-technik 3. Jg. Heft 12, Dezember 1953 Stolle 1953
- /5/ SCHLEGELMILCH (1989): Hydrologische Situation im Bereich der Alkaliobjekte Ludwigshall- Immenrode. Rat des Bezirkes Erfurt
- /6/ DOCKTER, J. & STEINMÜLLER, A. (1993): Erläuterungen zur geologischen Karte von Thüringen 1 : 25.000 – Blatt Nordhausen Süd, Nr. 4530. – Thüringer Landesanstalt für Bodenforschung, 2. Auflage, Weimar
- /7/ K-UTEC (2003): Szenarienentwicklung und Risikoabschätzung einer möglichen Flutung des ehemaligen Kalibergwerkes Ludwigshall-Immenrode. Kali- Umwelttechnik GmbH Sondershausen, Dezember 2003.
- /8/ Dokumentation der Arbeiten des VEB Schachtbau Nordhausen in den Schächten Ludwigshall – Immenrode. VEB Schachtbau Nordhausen, 09.11.1981
- /20/ Ausführungsplanung Scherpfropfen Schachtröhre Immenrode. Entwurfsbüro für Industriebau Erfurt. 07.06.1955.