

# Tunnelbau trifft Bergbau – Besondere technische Herausforderungen bei der Projektierung und Planung des Grubenwasserkanals Ibbenbüren

Dipl.-Ing. Dennis Edelhoff und Dr.-Ing. Carsten Peter, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum, Deutschland

Dipl.-Ing. Jürgen Kunz und Dipl.-Ing. Heinz-Dieter Pollmann, RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, Deutschland

## Veranlassung und Planungsziele

Im Tecklenburger Land betreibt die RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH das nördlichste Steinkohlenbergwerk Deutschlands. Die Lagerstätte war in zwei Bereiche unterteilt: Das bereits in den 1970er-Jahren stillgelegte Westfeld und das bis Ende 2018 aktive Ostfeld.

Beginnend ab 1979 erfolgte der planmäßige Anstieg des Grubenwassers im Westfeld, welcher bis 1982 andauerte. Seit Erreichung des Niveaus von +63 mNN wird das Grubenwasser des Westfelds durch den Dickenberger Stollen über den Stollengraben in die bestehende Anlage zur Grubenwasseraufbereitung (AzGA) Gravenhorst geleitet und weiter in die Hörsteler Aa entwässert. In der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung erfolgt eine Eisenfällung durch Belüftung und Neutralisation mittels Kalkmilch mit anschließender Sedimentation.

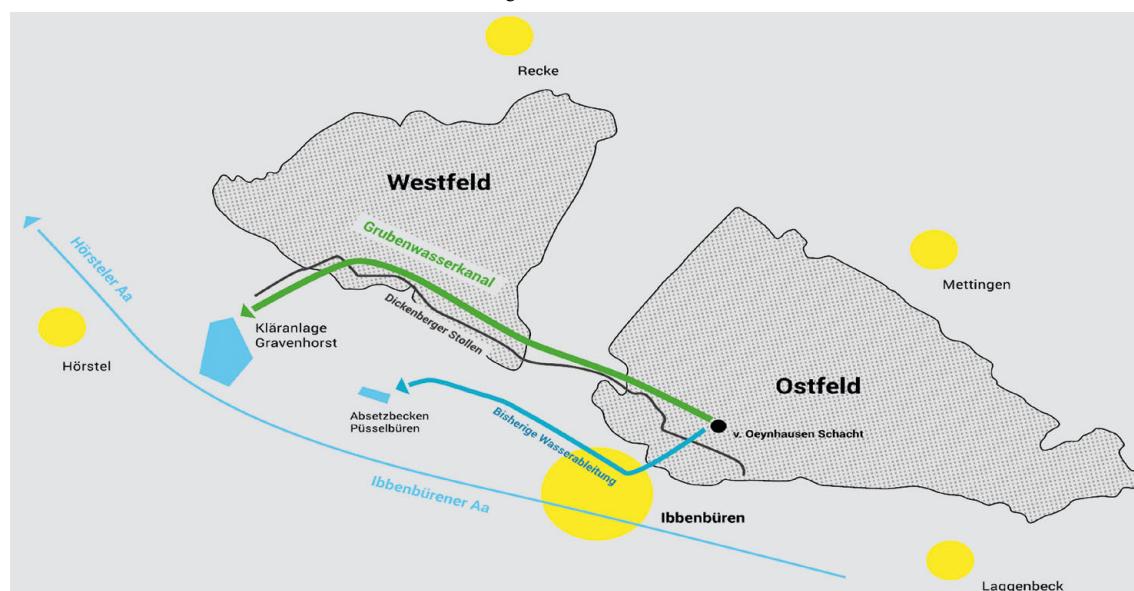
Die Grubenwasserhaltung des bis Ende 2018 aktiven Ostfelds erfolgt über die Oeynhausenschächte und den Ibbenbürener Förderstollen zu den Sedimentationsteichen in Püsselbüren. Im Anschluss erfolgt die

Die ARGE Grubenwasserkanal Ibbenbüren plant den Bau eines Grubenwasserkanals für das stillgelegte Steinkohlenbergwerk der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH. Dieser Artikel erläutert die technischen Herausforderungen, die mit maschinellem Tunnelvortrieb und Tübbingausbau bewältigt werden sollen.

### Tunnelbau • Bergbau • Grubenwasserhaltung • Kanalbau • TBM • Planung

Ableitung in die Ibbenbürener Aa. Das Bild 1 stellt die Entwässerungssituation schematisch dar.

Die Planungen im Rahmen der Schließung des Bergwerks Ibbenbüren sehen den Beginn des Anstiegs des Grubenwassers Ende 2019 vor. Auf dem Niveau von +63 mNN soll ab Ende 2023 das Grubenwasser angenommen und über den neu zu errichtenden Grubenwasserkanal gesammelt und im Freigefälle der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung Gravenhorst, in der derzeit ausschließlich das Wasser aus dem Westfeld be-



**Bild 1:** Übersicht über die aktuelle und zukünftige Entwässerung

Quelle: RAG

handelt wird, zugeführt werden. Um das Niveau ohne Aufstau über die gesamte Länge des Grubenwasserkanals zu gewährleisten, wird der Ausbau dränierend über planmäßige Durchdringungen in Kombination mit einer wasserdurchlässigen Hinterfüllung ausgebildet.

Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchungen und Vorplanung der RAG wurde ein maschineller Vortrieb mit Tunnelvortriebsmaschine und Tübbingausbau als Vorfahrtlösung definiert. Im Spätsommer 2018 wurde die ARGE Grubenwasserkanal Ibbenbüren, bestehend aus den Ingenieurbüros Dorsch International Consultants GmbH (Offenbach), IMM Maidl & Maidl GmbH & Co. KG (Bochum) und Dr. Pecher AG (Erkrath), mit den Planungsleistungen für den Grubenwasserkanal beauftragt.

## Geologie und Hydrologie

Auf Basis der im Vorfeld durchgeführten Erkundungsbohrungen und der Kartierung im Rahmen des Bergbaus erfolgt die Auffahrung des Grubenwasserkanals grundsätzlich im Festgestein des Karbongebirges mit unterschiedlichen Anteilen von im Wesentlichen Kalk/Mergel, Sandstein, Konglomerat und Sandschieferton. Die Gebirgsfestigkeiten liegen im Mittel bei 65 MPa mit Spitzenwerten von rund 140 MPa. Aufgrund des inhomogenen Baugrunds muss jederzeit mit Klüften und Kluftkommunikation gerechnet werden. Nicht anzunehmen, aber auch nicht völlig auszuschließen ist auch das Auftreten von in den Kohleflözen gebundem Methangas ( $\text{CH}_4$ ).

Die Mineralisation spielt hinsichtlich Dränagefähigkeit und Revisionsaufwand im Betrieb sowie Dauerhaftigkeitsaspekten eine wichtige Rolle. Das bis dato am Mundloch des Stollens zur Entwässerung des stillgelegten Westfelds beprobte Grubenwasser weist hohe Konzentrationen von Sulfat und Eisen auf. Das tiefen Grubenwasser des Ostfelds ist derzeit noch durch hohe Chloridgehalte dominiert. Mit Anstieg des Grubenwasserspiegels auf das geplante Niveau ist ein dem Westfeld ähnliches Wasser zu erwarten mit anfangs höheren Konzentrationen, welche sich über einen mehrjährigen Zeitraum deutlich reduzieren werden. Aufgrund der festgestellten Inhomogenität des Baugrunds sind Standwasserbereiche und je nach Lage auch größere Druckhöhen (bis ca. 2 bar) möglich.

Seit Anfang 2019 läuft ein ergänzendes Baugrunderkundungsprogramm mit rund 20 Bohrungen, mit dem die bisherigen Informationen einerseits besichert und andererseits zusätzliche, u. a. verfahrenstechnische Aspekte analysiert werden sollen.

## Bauwerke

Zu den Bauwerken gehören neben dem Grubenwasserkanal ein Mittelschacht, ein Auslaufbauwerk und der aus dem Bergbaubetrieb vorhandene von Oeynhausen-Schacht I. Der Schacht 1 (von Oeynhausen Schacht I) bildet den Anschlusspunkt des Grubenwasserkanals, da

hier die in das Grubengebäude des Ostfelds eingebauten Wasserhaltungen enden. Bisher förderten die Pumpenanlagen zur Absenkung des Grubenwasserspiegels zu dem in Schacht 1 auf 85 mNN beginnenden Ibbenbürener Förderstollen. Der Schacht 1 weist einen teilweise mit Stahlbetontübbings, teilweise mit Sandsteinmauerwerk ausgebauten Innendurchmesser von 4,40 m auf und soll Ende 2019 teilverfüllt werden (Hängedamm). Hierbei werden Hüllrohre für den Aufstieg des Grubenwassers eingebaut.

Ein neu zu erstellender Mittel- bzw. Zwischen schacht wurde im Bereich des Bockradener Grabens vorortet. Er liegt damit etwa in der Mitte des herzustellenden Kanals. Die Schachtteufe beträgt ca. 70 m bis zum projektierten Grubenwasserkanal. Die Abmessungen (Kreisquerschnitt) der Baugrube ergeben sich aufgrund von Vortriebsaspekten zu rund 30 m Durchmesser. Die Konstruktion der Baugrube stellt hohe Anforderungen an die Spezialtiefbauarbeiten (u. a. gestaffelter Bohrpfahl- und Schlitzwandbau). Innerhalb der Baugrube wird nach Abschluss der Vortriebsarbeiten ein Betriebs schacht errichtet.

Derzeit wird in Abhängigkeit des Vortriebskonzepts überprüft, wie eine Reduzierung der Baugrubenabmes sungen erfolgen kann und ob eine Durchfahrt im verfüllten bzw. noch nicht gänzlich ausgehobenen Zu stand möglich ist. Hier müssen die betrieblichen Aspekte und auch sicherheitstechnische Belange berücksichtigt werden.

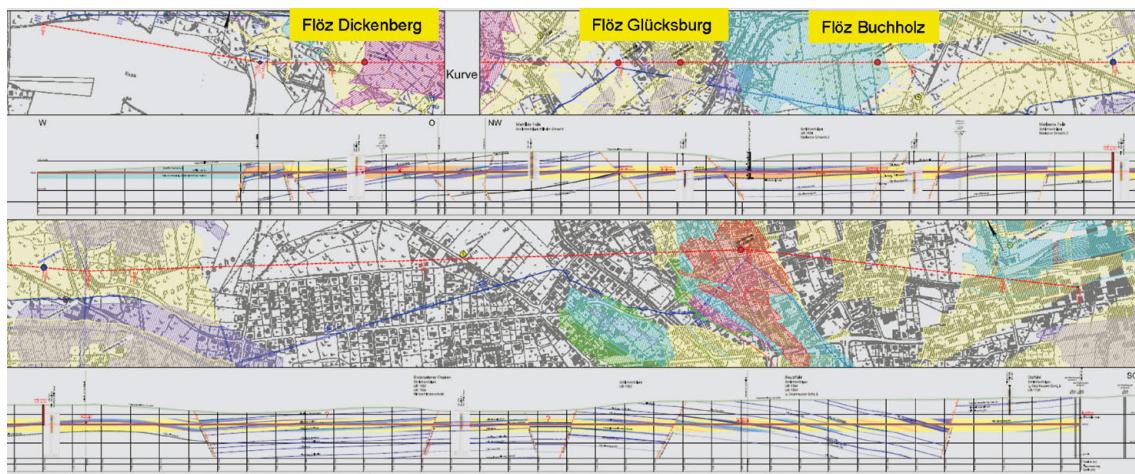
## Trasse und Gradienten

Für den Grubenwasserkanal wurde ursprünglich eine Trasse entwickelt, die, beginnend mit einem Anschluss an das Grubengebäude über die Schächte 1 und 2 der Zeche Oeynhausen, nahezu gradlinig auf einer Länge von ca. 6 km in nordwestliche Richtung und im Weiteren in Richtung Südwesten bis zum Stollengraben abknickt. Auf einer Gesamtlänge von ca. 7,2 km war der Gruben wasserkanal angelehnt an den Dickenberger Stollen.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung umfasste im Zusammenspiel mit der Weiterführung der Trassen-/ Gradientenplanung die Durchfahrt von Alten Männern (ehemalige Abbaubereiche; Kohleflöze, die je nach Abbauverfahren verbrochen oder noch teilweise offen sind, ggf. mit vorhandenem Verbaumaterial und Wasser), um die Entwässerung dieser Bereiche sicherzustellen. Die relevanten alten Abbaubereiche befinden sich in den Flözen Dickenberg, Glücksburg, Buchholz sowie Flottwell. Im Bild 2 ist die Verortung der Flöze dargestellt.

Im Zusammenwirken mit der RAG wurde eine Optimierung der ursprünglichen Trasse durchgeführt, bei der die Alten Männer nicht mehr direkt durchörtert werden. Die hierfür ursächlichen Randbedingungen werden im Abschnitt zum Bauverfahren beschrieben.

Um dennoch die Wasserfassung aus diesen Bereichen zu gewährleisten, wird eine nachträgliche Verbindung aus dem aufgefahrenen Grubenwasserkanal heraus



**Bild 2:** Übersicht Flöze/Alte Männer

Quelle: RAG

hergestellt. Neben der Trassenentwicklung wurde die Gradienten des Grubenwasserkanals so festgelegt, dass eine Entwässerung im Freigefälle mit 0,25 bis 0,050 % erfolgt.

### Bauverfahren des Grubenwasserkanals und Kanalquerschnitt

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden die Maschinentypen Gripper-TBM (rotierender Bohrkopf, jedoch kein Schild, Abstützung mittels Hydraulikpratzen an der Gebirgslaibung, Sicherung mittels Spritzbeton,

Ausbaubögen und Bewehrungsmatten) und TBM-S (Schildmaschine mit Materialaustrag über Förderband, keine aktive Stützung der Ortsbrust) sowie Tunnelvortriebsmaschinen/Schildmaschinen mit Flüssigkeits- und Erddruckstützung diskutiert. Im Zuge der weitergehenden Entwurfsplanung wurden die Typen Gripper-TBM und TBM-S aufgrund der prognostizierten Grubenwassersituation verworfen. Die Schildmaschinentypen mit Flüssigkeitsstützung und -förderung (im Allgemeinen Mix-/Hydroschild) sowie mit Erddruckstützung und Schneckenförderung wurden aufgrund ihrer Eignung für wasserführende Geologien



**Bild 3:** Tunnelvortriebsmaschine und Lagerplatz für Tübbingsegmente (beispielhaft)

Quelle: IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

weitergehend analysiert. Bei beiden Schildmaschinentypen erfolgt der Ausbau mit Tübbingringen. Beispieldhaft sind eine Tunnelvortriebsmaschine und Tübbingsegmente im **Bild 3** dargestellt.

### Prinzipien Schildmaschine

Das Prinzip der Hydro-/Mixschilde beruht auf der Stützung der Ortsbrust mittels einer Flüssigkeit, in der Regel einer Bentonit-Wasser-Suspension, deren Mischungsverhältnis sich auch unter Zugabe weiterer Additive unter anderem danach richtet, wie grob- bzw. feinporig die zu durchfahrenden Böden sind. Diese Flüssigkeit, in der sich das Schneidrad bewegt, wird in die mittels einer Druckwand vom Arbeitsraum des Schildes getrennte Abbaukammer gepumpt und mit Druck beaufschlagt (Zweikammersystem). Dies geschieht in der Regel über eine Luftblase, die hinter einer Tauchwand, die die Abbaukammer teilt, auf den Flüssigkeitsspiegel drückt. Das an der Ortsbrust abgebaute Material wird mit der Stützflüssigkeit vermischt, über Rohrleitungen an die Oberfläche gefördert (hydraulische Förderung) und der Separierung zugeführt. Die separierte und regenerierte Stützflüssigkeit wird dem Förderkreislauf wieder zugegeben [1, 2].

Bei einer Schildmaschine mit Erddruckstützung befindet sich ein plastischer Erdbrei in der Abbaukammer, der sich im Gleichgewichtszustand zwischen der Beaufschlagung durch den Vortriebsdruck der Schildmaschine einerseits und der Einwirkung des Erd- und Wasserdrucks andererseits befindet. Dieser Zustand ist erreicht, wenn bei konstantem Vortriebsdruck keine weitere Verdichtung des Erdbreis mehr auftritt. Erhöhungen des Drucks in der Abbaukammer und eine weitere Verdichtung des Erdbreis und dadurch des anstehenden Bodens können zu Hebungen der Oberfläche, zu Verringerungen des Drucks, zum Nachdrängen des anstehenden Bodens und zu Senkungen der Oberfläche führen. Die daraus resultierende Notwendigkeit eines permanenten Abgleichs des Vortriebsdrucks und der Abförderung von Material aus der Abbaukammer, für gewöhnlich mittels eines Schneckenförderers, stellt hohe Anforderungen an die messtechnische Überwachung des Systems [1, 2].

### Durchfahrung der Alten Männer

In der Detailanalyse der Vorplanung und unter Zugrundelegung von Projektreferenzen musste die geplante Trassenführung mit direkter Durchfahrung von Alten Männern ausgeschlossen werden. Hierfür ursächlich ist die unklare Beschaffenheit der Alten Männer. Als grundsätzlich mögliche Zustände können offene und stabile Strukturen bis hin zu teilverbrochenen und teilverbauten Bereichen angetroffen werden. Darüber hinaus kann erschöpfliches und nicht erschöpfliches Grubenwasser in den Alten Männern anstehen. Die theoretischen Spaltweiten, d.h. Mächtigkeiten und Nachfall, können mit Werten bis zu 2,50 m aus dem Risswerk entnommen werden.

Im **Bild 4** ist eine dreidimensionale Durchdringungssituation des Grubenwasserkanals (ursprüngliche Trassierung) mit dem Flözbereich Glücksburg West und Ost dargestellt. Wie aus der Darstellung interpretierbar ist, können einige Situationen bei Durchfahrung der prognostizierten Alten Männer eintreten, die zu schwerwiegenden Störungen des Bauablaufs bis hin zur Aufgabe des Vortriebs führen können. Hierbei ist insbesondere eine große (offene) Spaltweite in Kombination mit Verbau und einem unerschöpflichen Wasserangebot zu nennen. Eine Begehung der Abbaukammer unter Druckluft Einsatz zur Bergung von Hindernissen oder Schadensbehebung ist ggf. nur eingeschränkt möglich. Ebenfalls ist keine ausreichende Stabilität für die TVM und Nachläufer bei Annäherung an die schräg einfallenden Alten Männer gewährleistet, sodass ein Einbruch bzw. Verkippen der Vortriebsmaschine möglich sind.

Unter Berücksichtigung der möglichen Störszenarien und in Abwägung möglicher Beherrschungsmaßnahmen (Injektionen, Vorauskundung, Vereisung etc.) sowie Berücksichtigung arbeitssicherheitsrelevanter Aspekte ist ein Vortrieb mit TVM (Schildmaschine) durch die Alten Männer mit erheblichen Risiken verbunden und wird daher planerisch nicht weiterverfolgt.

Im Rahmen der Vorüberlegungen wurden auch Untersuchungen zu alternativen Vortriebskonzepten durchgeführt, um der ursprünglichen Aufgabenstellung gerecht zu werden. Hierzu zählten Machbarkeitsanalysen zu einer konventionellen, bergmännischen Auffahrung im Spreng- oder Fräsvortrieb. Hinsichtlich möglicher Vortriebsleistungen und Geräteeinsatz wurden Gespräche mit Herstellern von Teilschnittmaschinen geführt und Schneidleistungsberechnungen durchgeführt. Ebenfalls fanden erste Gespräche mit einem Sachverständigen für Sprengtechnik zu den Besonderheiten von Sprengarbeiten in Bereichen von Kohlenflözen sowie Erschütterungsemissionen statt. Die ursprüngliche Intention, die Nachteile eines TVM-Vortriebs durch Alte Männer durch den größeren Auf Fahrquerschnitt im konventionellen Vortrieb ( $\sim 30 \text{ m}^2$ ) und die damit auch verbundene, größere Flexibilität zu kompensieren, konnte nach weiterer Planungs- und Analysearbeit nicht bestätigt werden. Analog der TVM-Variante ist eine sichere Beherrschung einer gro-

ßen Spaltweite in Kombination mit einer unerschöpflichen Wasserspeisung mit ggf. großer Druckhöhe nicht gewährleistet.

Zur Realisierung des Grubenwasserkanals wurde die bereits dargestellte Trassenanpassung vorgeschlagen und im Zusammenwirken mit der RAG durchgeführt. Hierbei erfolgt keine direkte Durchörterung von Alten Männern, diese werden mit einem Abstand von ca. 8 bis 10 m überfahren. Der Anschluss dieser teilweise wasserführenden Bereiche erfolgt im Nachgang aus der Tübbingröhre heraus.

Mit der aktuellen Trassen- und Gradientenführung liegen die maschinen- und verfahrenstechnischen Herausforderungen in der Beherrschung von Klüften mit und ohne Wasserzufluss. Als grundsätzliche Verfahrensvariante ist derzeit ein kombiniertes Schildmaschinenkonzept mit Flüssigkeitsstützung/-transport und Erddruckstützung in der Detailanalyse. Hinsichtlich der grundsätzlich auf jedem Vortriebsmeter anzutreffenden Wasserzuflüsse – teilweise in großer Kubatur und mit großer Druckhöhe – ist nach derzeitigem Kenntnisstand ein geschlossener, druckdichter Kreislauf von der Abbaukammer bis nach über Tage zielführend.

## Querschnittsgestaltung

Der Querschnittsgestaltung wurde von Anfang an große Aufmerksamkeit gewidmet, da sich hier wesentliche Abhängigkeiten für die Konstruktion, Dauerhaftigkeit und Wasserführung bündeln. Infolge eines Auffahrkonzepts mit Schildmaschine wird der Grubenwasserkanal aus Tübbingringen hergestellt, deren Detailausbildung (Anzahl Segmente, Bauteildicke, Bauteillänge etc.) derzeit noch erfolgt.

Ein Beispiel der zahlreichen, diskutierten und designten Konzepte enthält Bild 5. Die darin dargestellten Querschnitte berücksichtigen die getrennte Ableitung des Grubenwassers aus dem Ost- und Westfeld, bis sich die Mineralisation des Wassers aus dem Ostfeld dem des Westfelds angeglichen hat. Des Weiteren stellt die Abbil-

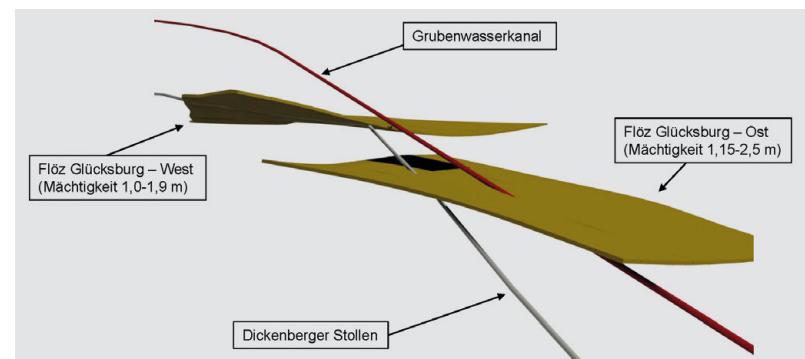


Bild 4: Durchfahrung Alter Mann (Schema)

dung den jüngsten Planungsstand zur Querschnittsdimension dar, mit der sich die bisherigen Überlegungen hinsichtlich eines DN 3200-Querschnitts aufgrund der Anforderungen aus Gerinneausbildung, Baulogistik und Sicherheitskonzept geändert haben (Vergroßerung auf DN 3600).

Neben der Wasserableitung im Kanalquerschnitt besteht ein planerischer Schwerpunkt in der Konstruktion und dauerhaften Ausbildung der Dränagebohrungen und der zwischen Tübbingring und Gebirge befindlichen Verfüllung (Einkornkies). Hier sind die Einwirkungen aus hohen Sulfat- und Eisenkonzentrationen zu berücksichtigen.

## Betriebliche Anforderungen

Aufgrund der Tiefenlage und der großen Schachtabstände ergeben sich besondere Anforderungen an das Betriebskonzept.

Für die Begehung des Grubenwasserkanals ist eine entsprechende Bewetterung notwendig. Wenn möglich, sollte der Lufteintrag über die Schächte erfolgen und auf einen durchgehenden Lüftungskanal in der Strecke verzichtet werden. Die Anordnung und Bemessung der Lüftungsanlagen werden im Rahmen der Planung der technischen Ausrüstung weiter unter-

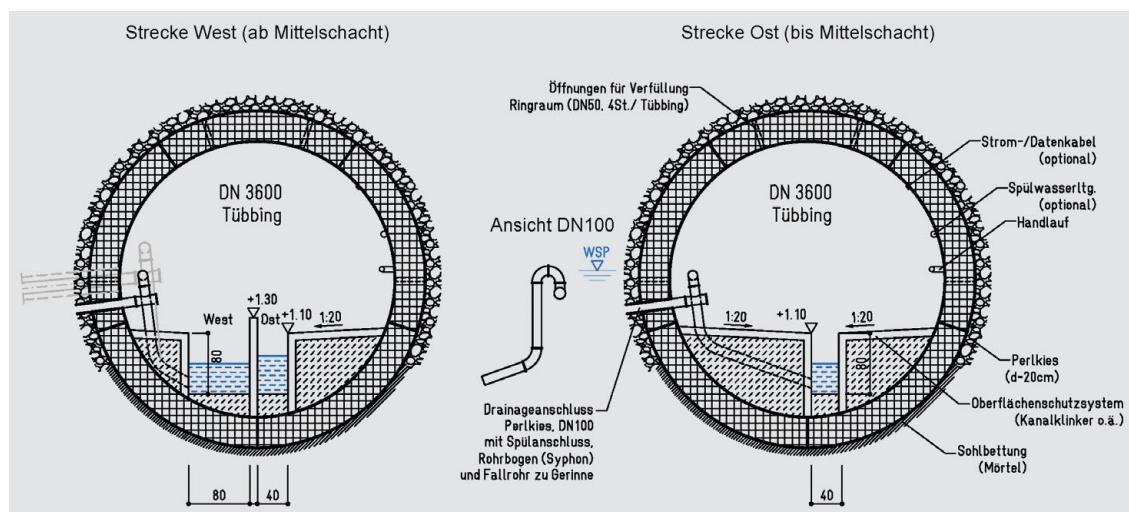


Bild 5: Querschnittsgestaltung Grubenwasserkanal (Zwischenstand der Planung)

sucht. Aufgrund der Tiefe der Schächte von rd. 100 m (Schacht 1) und rd. 70 m (Mittelschacht) müssen ggf. Aufzüge für den Personen- und Materialtransport vorgesehen werden.

Aufgrund der Eisenausfällungen ist von einer regelmäßigen Reinigung des Fließgerinnes auszugehen, auch weil sich Eisenausfällungen im Laufe der Zeit verfestigen (Goethit) und dann schwerer zu entfernen sind. Bei der Reinigung werden die bisherigen Erfahrungen der RAG Anthrazit Ibbenbüren (z. B. am Stollenbach) und die künftig zu erwartenden Eisenkonzentrationen im Grubenwasser berücksichtigt.

Zur Reinigung des Gerinnes werden verschiedene Varianten betrachtet (Hochdruckreinigung, Bürsten o. Ä.). Auf Grundlage eines in Bearbeitung befindlichen Gutachtens der Ruhr-Universität Bochum zur Verocke rung wird in der weiteren Planung ein auf den zu erwartenden Eisenhydroxidanfall, die Reinigungsintervalle und die hydraulischen Randbedingungen ausgelegtes Reinigungssystem festgelegt bzw. entwickelt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Der Grubenwasserkanal Ibbenbüren stellt aufgrund der beschriebenen Besonderheiten, wie z. B. der Grund- und Grubenwassersituation und der Klüftigkeit, hohe

Anforderungen an die Maschinen- und Verfahrenstechnik. Die Dimensionen des Zwischenschachts stellen hohe Ansprüche an die Tragwerksplanung und die Bauausführung. Infolge der Mineralisation des Wassers sind diverse Fragestellungen zur Dauerhaftigkeit des Dränagekonzepts sowie zur Baustoffwahl zu berücksichtigen.

## Literaturverzeichnis

- Edelhoff, D.; Kunz, J.; Pollmann, H.-D. (2019): Ingenieurtunnelbau trifft Bergbau – Besondere technische Herausforderungen bei der Projektierung und Planung des Grubenwasserkanals Ibbenbüren. Mining Report Glückauf 155 (2019), No. 3, S. 261-269
- [1] Thewes, M. (2014): Tunnelbau im Schildvortrieb. Verfahrenstechniken und Planungsgrundlagen. In: Bergmeister, K. (Hrsg.): Beton-Kalender 2014. Unterirdisches Bauen, Grundbau, Eurocode 7. 103. Jahrgang. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
- [2] Maidl, B.; Herrenknecht, M.; Maidl, U.; Wehrmeyer, G. (2011): Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb. 2. Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG

### Dipl.-Ing. Dennis Edelhoff, MBA

ist Bereichsleiter für maschinellen Tunnel- und Rohrvortrieb der IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH, Bochum, Deutschland.



**Kontakt:** d.edelhoff@imm-bochum.de

### Dipl.-Ing. Jürgen Kunz

ist Prokurst bei der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, Deutschland.



**Kontakt:** juergen.kunz@rag.de

### Dr.-Ing. Carsten Peter

ist Gesellschafter der IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH, Bochum, Deutschland.



**Kontakt:** c.peter@imm-bochum.de

### Dip.-Ing. Heinz-Dieter Pollmann

ist Leiter der Markscheiderei der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, Deutschland.



**Kontakt:** heinz-dieter.pollmann@rag.de