

22. Kolloquium

Bohr- und Sprengtechnik



Institut für Bergbau
Technische Universität Clausthal
3. und 4. Februar 2021

Tagungsband

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bohr- und Sprengtechnisches Kolloquium 2021

Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hossein Tudeshki

Organisation: Yusuf Jinadu, M.Sc.

Dipl.-Ing. Thomas Hardebusch

Redaktion: Jan Hußmann

Langefeld, O.; Tudeshki, H. (Hrsg.):

Bohr- und Sprengtechnik

22. Kolloquium, TU Clausthal,

3. und 4. Februar 2021

© Papierflieger Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld, 2021

Telemannstraße 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld

www.papierflieger-verlag.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, Clausthal-Zellerfeld, 2021

ISBN 978-3-86948-797-7

© 2021 bei den Autoren der Beiträge. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich. Der Herausgeber übernimmt keine Verantwortung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Univ.-Prof. Dr.-Ing. O. Langefeld	
Verzeichnis der Werbeseiten	VII
Die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II	1
Dr. T. Lautsch Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH	
Sicherheitsaspekte von Sprengstoffen im Kali- und Steinsalzbergbau	11
Prof. Dr. R. Triebel K+S AG & MSW-CHEMIE GmbH; Dr. F. Flach MSW-CHEMIE GmbH	
Beschleunigtes Abteufen von Schächten durch maschinellen Vortrieb	19
D. Iholka REDPATH DEILMANN GmbH	
Mechanische Verfahren zum Gesteinslösen versus Gesteinslösen mit Bohr- und Sprengtechnik	39
K.-H. Wennmohs M & R Consulting	
Die Grenzen des mechanischen Abbaus und Vortriebs im Bergbau 2020	49
Prof. Dr. N. A. Sifferlinger Montanuniversität Leoben	
Re-Entry time calculation using ventilation simulation software	65
F. C. D. Michelin, C. M. Stewart Howden	
Mögliche Auswirkungen von Stäuben und schädlichen Gasen auf den Betrieb von Ventilatoren	75
J. Kegehoff Korfmann Lufttechnik GmbH	
Die Online Analyse des Bohrkleins bei der Herstellung von Sprengbohrungen	89
Prof. Dr. H. Tudeshki, H. Korei TU Clausthal	
Wann ist krumm wirklich krumm? Einflussfaktoren auf die Elastizitätsgrenzen von Bohrgestängerohren	97
Dr. S. L. Schulze, Dr. A. Häse, S. Siegfanz, Dr. S. Zimmermann Mannesmann Precision Tubes GmbH	
Modernisierte Generation der Lang- und Großlochbohrgeräte der HAZEMAG Mining für den im Kali- und Salzbergbau	99
Dr. F. Bauer, S. Harhoff HAZEMAG Mining GmbH	
Epiroc und die digitale Zukunft in der Bohr- und Sprengtechnik	111
C. Füllenbach Epiroc Deutschland GmbH	
Chronik der Fachtagung	113

Vorwort

Liebe Freunde des Bergbaus, liebe Teilnehmer des Bohr- und Sprengtechnischen Kolloquiums!

seit 1976 findet das Clausthale Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ statt. Es bringt Bergbauunternehmen, Universitäten, Bergbauzulieferer, Bergbehörden und Forschungsgesellschaften zusammen. Diese wissenschaftliche Veranstaltung hat nun zwei wesentliche Aufgaben. Zum einen bietet sie eine einmalige Plattform für die Präsentation und Dokumentation der technologischen Entwicklung gemäß dem Stand der Technik und Forschung und stellt zugleich wegweisende Tendenzen der zukünftigen Entwicklungen vor. Zum Anderen ist das Kolloquium eine Network-Plattform, bei der man sich in größeren und kleineren Gruppen, zwanglos austauschen kann.



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Oliver Langefeld

Dieser zweite Teil muss in diesem Jahr leider aus den Ihnen bekannten Gründen ausfallen. Das bedauern wir sehr, wollen aber trotzdem kein weiteres Jahr verstreichen lassen, bevor wir uns wieder über Bohr- und Sprengtechnik in Clausthal austauschen.

Insofern halten Sie nun hier den Tagungsband einer Online-Veranstaltung in den Händen. Das Programm ist, dem Format geschuldet, etwas abgespeckt. Online Konferenzen, die über ganze Tage gehen, sind nicht durchführbar.

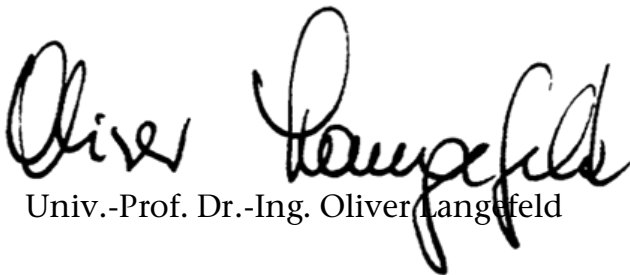
Trotzdem ist das Programm ausgewogen und rund. Im Fokus soll erneut das Thema: Sprengen oder Schneiden stehen. In diesem Jahr aber unter dem besonderen Aspekt der Sicherheit. Hierzu wollen wir auch eine Podiumsdiskussion anbieten. Die Vorträge spiegeln diese Themen wider. Zum Thema Schneiden wird es ein Beispiel aus dem Schachtabteufen geben, sowie einen Vortrag, der die Grenzen des Schneidens aufzeigt. Auf der anderen Seite geht es beim Sprengen um das Thema Sicherheit und weiterhin um einen Vortrag der das Sprengen und Schneiden gegenüberstellt.

Weiterhin werden wir Vorträge zum Thema Wettertechnik, Staubausswirkungen auf Lüfter und zur Online-Analyse sowie Vorträge zu Gestängerohren und Großlochbohrgeräten hören. Die Digitalisierung ist nicht nur ein Querschnittsthema, sondern wird in einem Vortrag noch einmal speziell behandelt.

Die Pandemie, so schlimm sie auch ist, hat auch einige positive Entwicklungen angestoßen. Zum Beispiel hat sie die Digitalisierung in der Lehre weit nach vorne gespült. Das konnten wir alles schon, haben es aber nicht angewendet. Die Lehre könnte davon wirklich profitieren und ein Plus für Lehrende und Lernende sein. Wir müssen es nur weiterhin anwenden. Die kostbaren Präsenzveranstaltungen müssen dann nicht mit jährlichen Wiederholungen vergeudet werden, sondern können interaktiv genutzt werden. Auch die vielen Webkonferenzen haben uns gezeigt, dass diese wirklich sinnvoll durchführbar sind. Sicherlich muss man sich hin und wieder physisch treffen, aber ich denke, so manche Dienstreise kann in Zukunft eingespart werden.

Und damit sind wir wieder bei unserem Bohr- und Sprengtechnischen Kolloquium. Vorträge halten und darüber etwas diskutieren ist sicherlich online möglich. Aber das ist ja nur die erste Aufgabe des Kolloquiums. Der für den einen oder anderen viel wichtigere Teil des Networkings fällt dabei völlig aus. Das ist sehr schade und wir bedauern das sehr, hoffen aber, dass wir im nächsten Jahr wieder ein Präsenz-Kolloquium veranstalten können. Lassen Sie uns alle hoffen, dass das gelingt.

Mit Clausthaler Glückauf



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Verzeichnis der Werbeseiten

K+S	10
MSW-CHEMIE	18
Uth + Partner – UPA digital solutions	48
PERFORATOR	88
SANDVIK	96
Austin Powder Germany	113

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II

Dr.-Ing. Thomas Lautsch
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

1 Ausgangslage

Zwischen Harz und Braunschweig liegt die Salzstruktur der Asse. Beim Aufstieg des Salinars wurden die Deckgebirgsschichten zerrissen und angehoben (siehe Abbildung 1). Die Struktur streicht von West nach Ost, sie ist im Strukturtop wenige 100 Meter schmal und im Streichen ca. 4 km lang (1).

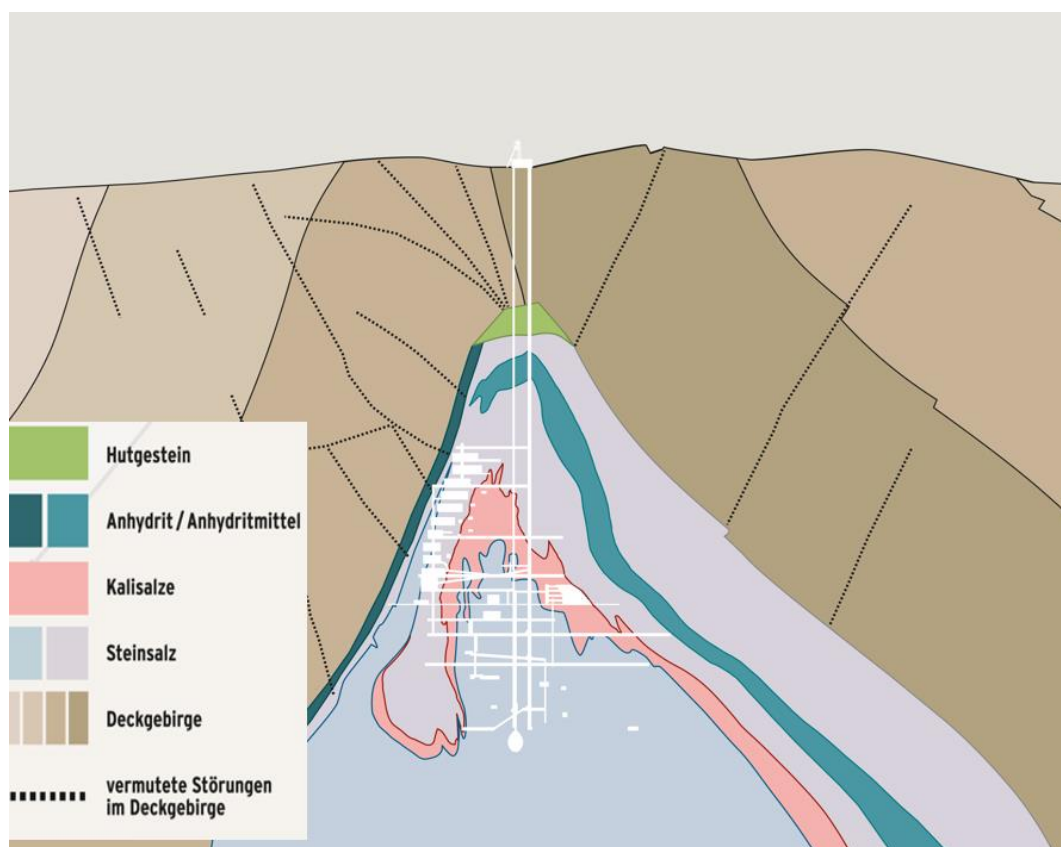


Abbildung 1: Vereinfachter Schnitt durch die Salzstruktur Asse (1)

Das Salzbergwerk Asse II befand sich im letzten Jahrhundert in Verhieb. Es wurden durch die Gewinnung von Stein- und Kalisalzen bis in die 70er Jahre hinein über 5 Mio. m³ Hohlraum geschaffen (siehe Abbildung 2). Nach der Gewinnungsphase wurden ca. 50.000 m³ radioaktive Abfälle in das Bergwerk eingelagert. Insbesondere in der Südflanke der Asse Struktur entstand durch den Abbau ein Durchbaugrad, dessen abbaubedingter Zusatzdruck die Langzeitstabilität des Tragwerks der Grube überforderte. In der Folge gab es zum Ende des letzten Jahrhunderts eine beschleunigte Verformung von Schweben und Pfeilern, mit einer Bewegung der Südflanke von bis zu 7 Metern in die Grube hinein (siehe Abbildung 3).

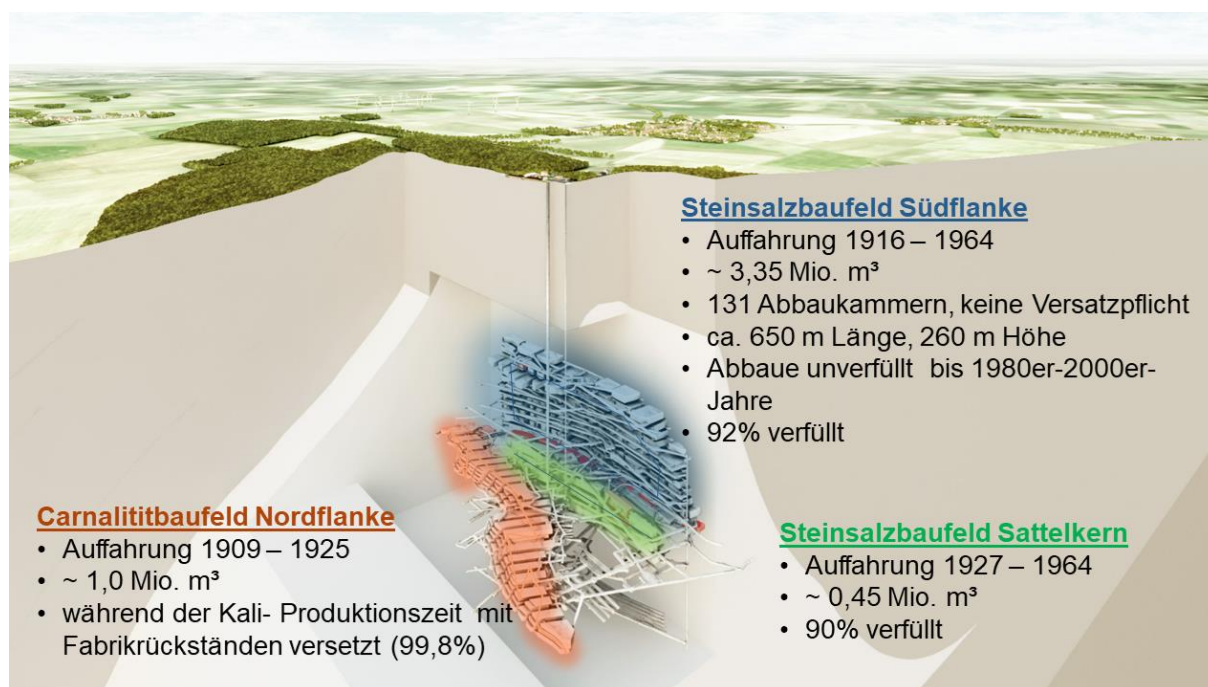


Abbildung 2: Übersicht der Abbauhohlräume (2)

Zunehmend entstanden bei dieser Bewegung Bruchverformungen, sowohl in den Tragelementen der Grube als auch in den Deckgebirgsschichten. Ungünstig ist dabei ein Zentralpfeiler im Abbau Feld, der eine Gleichmäßigkeit der Bewegung verhindert.

Dadurch entstanden Wegsamkeiten für tiefes Grundwasser von den wasserleitenden Schichten des Deckgebirges in das Bergwerk. Die ersten Zutritte wurden 1988 festgestellt. Zurzeit treten ca. 13 m³ Lösung je Tag dem Bergwerk zu, die oberhalb der eingelagerten radioaktiven Abfälle aufgefangen werden. Wegen der andauernden Bewegung der Südflanke in das Bergwerk hinein können sich die Wegsamkeiten für zutretendes Wasser jederzeit verändern. Im ungünstigen Fall ist dies verbunden mit einer Erhöhung der Zutrittsmenge oder aber einer Verlagerung des Zutrittsortes hin zu den radioaktiven Abfällen.

Ein Langzeitsicherheitsnachweis nach den strengen Anforderungen für Endlager kann wegen der Unbestimmtheit des geotechnischen und hydrogeologischen Umfeldes nicht geführt werden. Daher wurde in 2011 entschieden, die Abfälle zurück an die Tagesoberfläche zu holen.

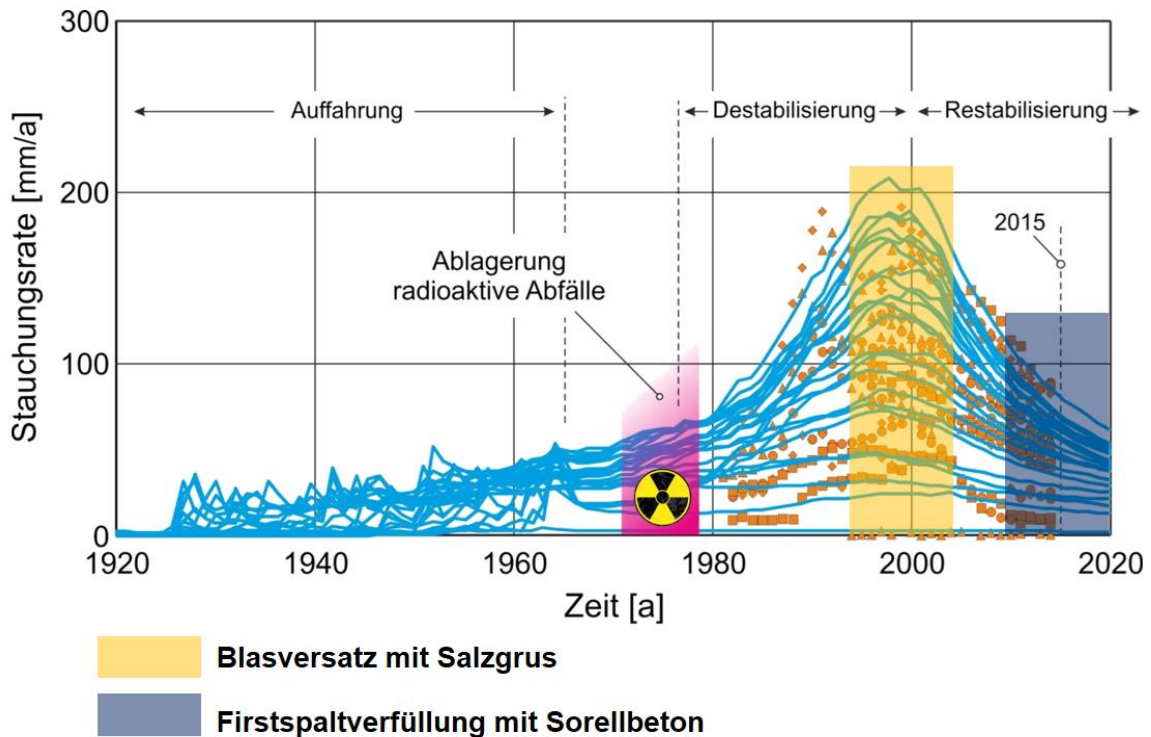


Abbildung 3: Gebirgsbewegungen über die Zeit, dem Abbau proportionale Verformungen während der Gewinnung, beschleunigte Bewegung nach der Einlagerung, Verlangsamung nach Versatz (3)

Zur Stabilisierung des Grubengebäudes wurden die Abbaukammern mit Steinsalz aus der Auffahrung des Tiefenaufschlusses des Bergwerkes und durch Steinsalzblasversatz mit Material der Halde Ronnenberg bei Hannover verfüllt. Durch Blasversatz eingelagerter Versatz konnte vor allem wegen der Porosität von Blasversatz nur zwei Drittel des Hohlräume füllen. Seit 2010 erfolgt als weitere Maßnahme eine Verfüllung der Resthohlräume mit Sorellbeton. Im Rahmen des Geomonitorings konnte nachgewiesen werden, dass die getroffenen Verfüllmaßnahmen ihre Wirksamkeit sukzessive entfalten, da die Bewegungsraten stetig abnehmen. Derzeit wird prognostiziert, dass die Bewegung der Südflanke bis zu einer vollständigen Kompaktion des Versatzes noch mehrere Jahrzehnte andauern wird und am Ende bis zu 9 Metern in der Summe betragen kann. Die damit einhergehenden Gebirgsbewegungen führen zu einer weiteren Beanspruchung des Bergwerkes. Dabei kann die Auslegung der Anlage zur Beherrschung des Lösungszutritts überschritten werden. Aus diesem Grund ist bei der Rückholung der Abfälle Eile geboten. Die Grundlagenermittlung wurde nach 2011 begonnen, im Frühjahr 2020 wurde mit dem Rückholplan die Grundstruktur des Rückholprojektes mit Zeitplan und Budget veröffentlicht (3). Im Herbst des Jahres 2020 wurde das Genehmigungsverfahren für die Rückholung der Abfälle eröffnet.

Die Rückholung ist ein aufwändiges Unterfangen, dessen Vorbereitung und Durchführung mehrere Jahrzehnte erfordern wird. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist im Plan zur Rückholung (BGE 2020) beschrieben (siehe Abbildung 4). Die besondere Herausforderung der Bergung besteht darin, im Grunde widersprüchliche Anforderungen im Rückholkonzept miteinander zu vereinbaren:

Einerseits ist das Bergwerk durch Verfüll- und Verschlussmaßnahmen so zu stabilisieren, dass die Arbeitssicherheit für die Beschäftigten untertage gegeben ist, dass ein auslegungsüberschreitender Lösungszutritt (aüL) möglichst vermieden und dass seine potenziellen Auswirkungen möglichst reduziert werden. Andererseits müssen Zugänge zu den Abfallkammern erhalten oder hergestellt werden, um die Abfälle zu bergen. Die dazu erforderlichen Auffahrungen und Maßnahmen untertage dürfen die Standsicherheit und die hydrogeologischen Verhältnisse nicht unzulässig beeinträchtigen.



Abbildung 4: Veröffentlichung Rückholplan (3)

2 Prozesse der Rückholung

In der Wertschöpfungskette von der Einlagerungskammer bis zum Zwischenlager lassen sich folgende Hauptprozesse benennen (siehe auch Abbildung 5). Beginnend unter Tage mit der Bergung der Abfälle aus den Einlagerungskammern (ELK) kommt noch zu entwickelnde Bergetechnik zum Einsatz. Auf verschiedenen Sohlen wird eine neue Infrastruktur (Rückholbergwerk) für den Transport der geborgenen Abfallgebinde zum neuen Bergungsschacht 5 und zur Durchführung aller weiteren notwendigen Prozesse errichtet. Nach dem Transport zum Tage werden die Gebinde auf über-tägige Transportmittel umgeschlagen und zur Abfallbehandlungsanlage verbracht. Es folgt eine Charakterisierung, Behandlung und Konditionierung für die nachfolgende Aufbewahrung im Zwischenlager.

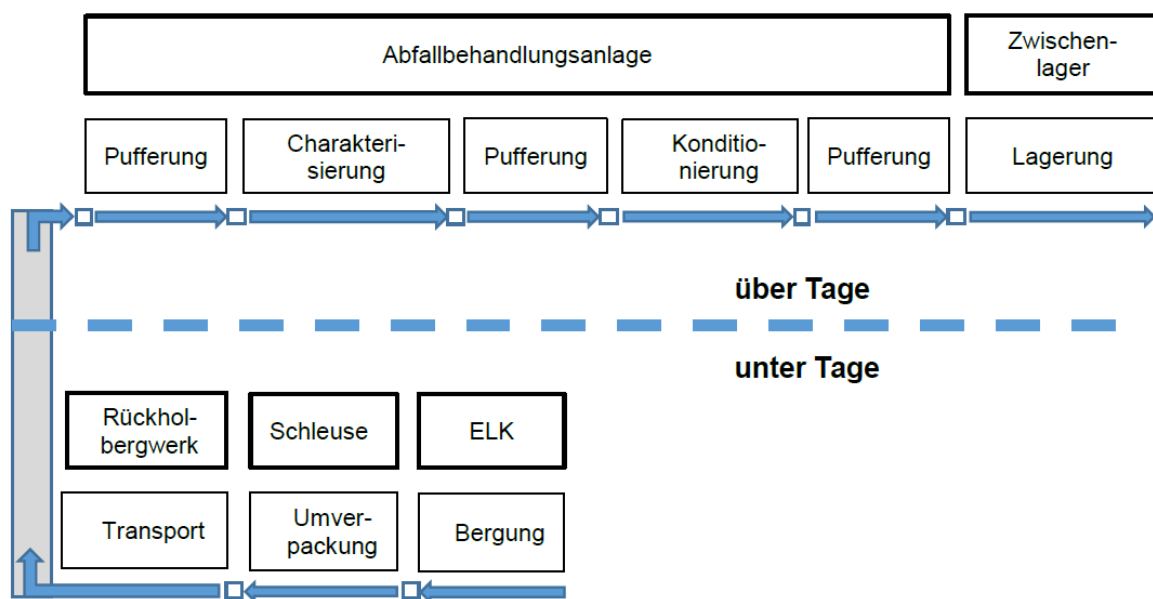


Abbildung 5: Prozesse der Rückholung (3)

2.1 Bergetechnik

Je nach dem geotechnischen Zustand der Einlagerungskammern und dem Zustand des Gebindehaufens kommen drei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz (siehe Abbildung 6). In Kammern mit stabiler Firste und nicht versetztem Gebindehaufen kommt eine sohlengeführte Bergetechnik mit Greifwerkzeugen auf Raupenfahrwerk zum Einsatz (obere Zeile Abbildung 6). In Kammern mit versetztem Gebindehaufen und intakter Firste wird das Haufwerk von oben nach unten mit firstgeführter Technik abgebaut (mittlere Zeile Abbildung 6). Versetzter Gebindehaufen in instabiler geotechnischer Umgebung wird hereingewonnen, indem kleinteilig von oben nach unten in kleinen Abschnitten direkt nach der Hereingewinnung von Gebinden Ausbau und Versatz eingebracht wird (untere Zeile Abbildung 6). Bei diesem letztgenannten Verfahren ist das Ziel, schnellstmöglich gebirgsmechanisch stabile Verhältnisse zu erreichen.

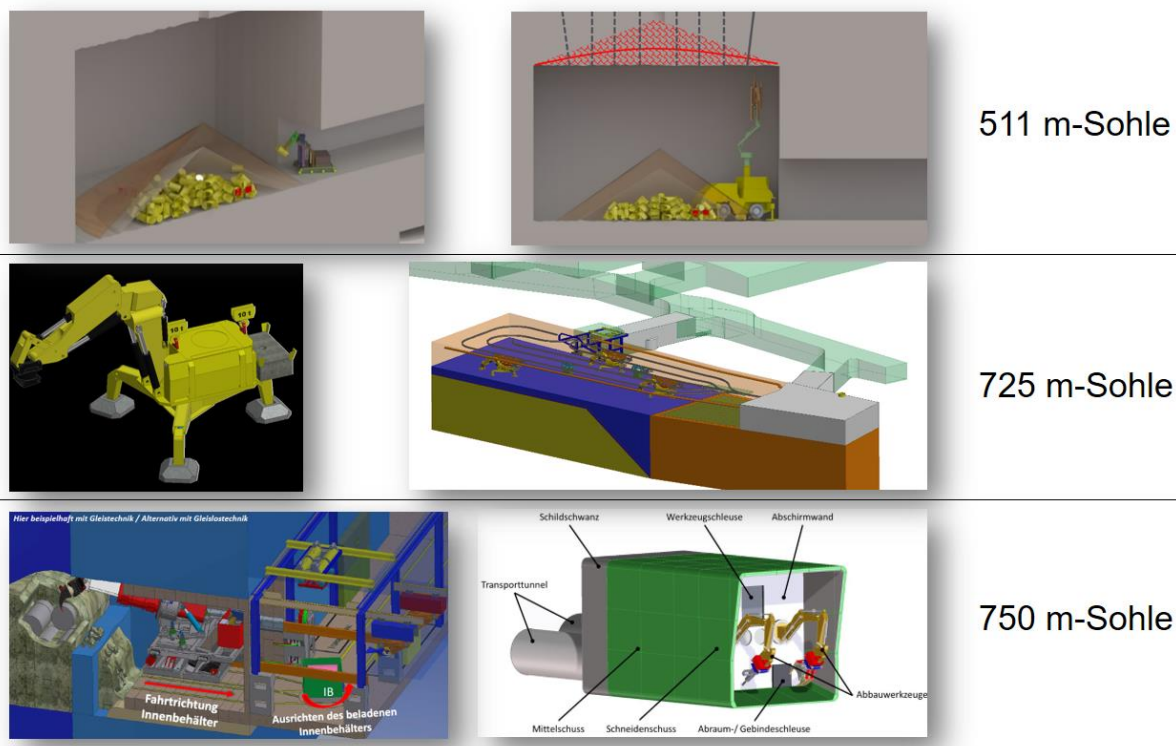


Abbildung 6: Übersicht der Rückholtechnik (2)

2.2 Rückholbergwerk und Schacht 5

Das Bestandsbergwerk Asse II kann die Anforderungen an eine Rückholung für sich genommen nicht erfüllen. Im unverritzten östlichen Teil der Salinar-Struktur wird aus diesem Grunde ein qualifizierter Zugang zu den Abfällen mit neuem Schacht 5 nebst zugehörigem Rückholbergwerk errichtet. Aus den Komponenten Bestandsbergwerk, Rückholbergwerk und Schacht 5 entsteht somit eine leistungsfähige Gesamtanlage für eine Rückholung der Abfälle unter den Bedingungen kerntechnischer Sicherheitsanforderungen (siehe Abbildung 7).

Der Schacht 5 wird dabei mehrere Funktionen innehaben. Über den Hauptzweck zum Transport der Abfälle nach über Tage werden über diesen auch für die Rückholung notwendige Anlagen, Systeme und Komponenten (ASK) nach unter Tage befördert. Weiterhin dient der Schacht zur Abführung sämtlicher Abwetter des Gesamtbergwerkes.

In der Abbildung 7 sind die Einlagerungskammern (ELK) innerhalb des Bestandsbergwerkes in Rot dargestellt. Östlich, in Abbildung 7 rechts davon schließt sich das zukünftige Rückholbergwerk mit seinem Schacht 5 inklusive Abwetterbauwerk an. Nördlich der Bestandsanlage befindet sich der Komplex der Charakterisierung, Konditionierung mit Zwischenlager.

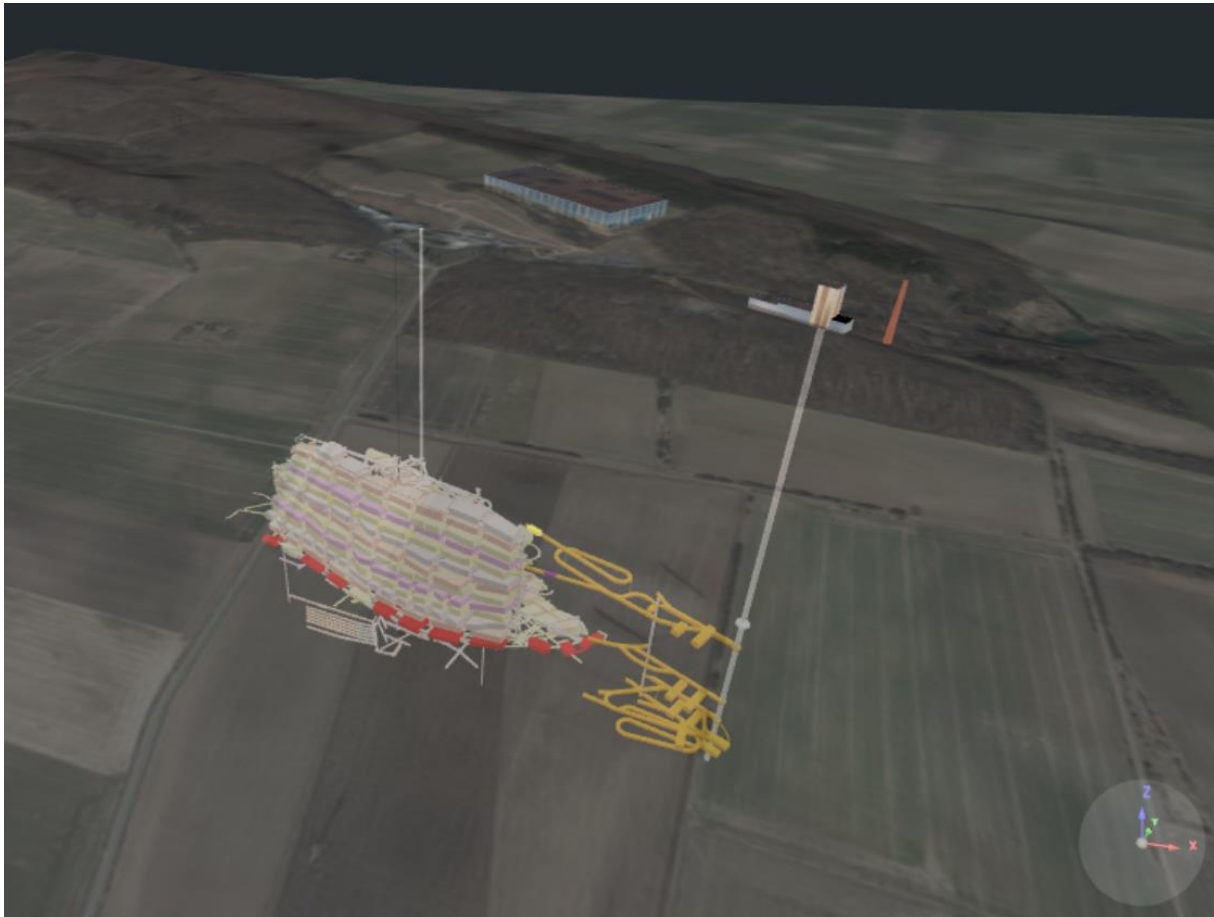


Abbildung 7: Geplante Gesamtanlage aus Bestandsbergwerk, Rückholbergwerk, Schacht 5 und Abfallbehandlung/ Zwischenlage, Blick aus Richtung Süden (2)

2.3 Transport zur Abfallbehandlung

Der Transport über Tage zwischen Schacht 5 und Abfallbehandlung erfolgt gemäß den Anforderungen an Strahlen- und Objektschutz über eine eigens zu errichtende Trasse, die zum Betriebsgelände gehören wird und eine öffentliche Straße quert.

2.4 Abfallbehandlung und Zwischenlagerung

Eine direkte Verbringung in ein Zwischen- bzw. Endlager ist nicht ohne weiteres möglich. Aus diesem Grund müssen die Abfälle charakterisiert und anschließend konditioniert werden. Erst danach erfolgt das Einstapeln im eigens zu errichtenden Zwischenlager. Erst mit der Festlegung eines weiteren Endlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle kann eine Verbringung vom alten Standort stattfinden.

3 Genehmigung

Da es sich bei der Bergung der Abfälle um radiologische Schadensvorsorge handelt, ist das Trägerverfahren ein atomrechtliches. Ein vollständiger, genehmigungsfähiger Sicherheitsnachweis für die Rückholung kann zu diesem Zeitpunkt nicht geführt werden. Insbesondere die Sicherheitsnachweise der Bergetechnik, die direkt mit dem eingelagerten radioaktiven Abfall umgeht, können nicht geführt werden, da diese Maschinen erst den Reifegrad der Konzeptbeschreibung haben und noch entwickelt werden müssen. Auch aus diesem Grunde hat sich die BGE entschieden, die Rückholung in vier Genehmigungskomplexe aufzuteilen.

- Bergungsschacht 5 und Umstellung der Wetter im Verbundbergwerk
- Schachtförderanlage und alle übertägigen Einrichtungen zum Umgang mit den Abfallgebinden
- Bergung der Gebinde aus den Einlagerungskammern
- Abfallbehandlung und Zwischenlager

Die planerische Mitteilung zur Eröffnung des atomrechtlichen Verfahrens mit dem ersten Genehmigungskomplex wurde von der BGE an das Niedersächsische Ministerium für Umwelt (NMU) im September 2020 übermittelt, die Antragskonferenz für dieses Verfahren fand im Dezember 2020 statt.

Allen atomrechtlichen Genehmigungen vorgelagert ist die Einordnung des raumbedeutsamen Rückholvorhabens in die Planung des Regionalverbandes Braunschweig. Dazu wird derzeit eine raumplanerische Mitteilung verfasst. Eine Besonderheit ist die Lage der Anlagen für die Rückholung in einem Natur- und Landschaftsschutzgebiet mit Natura 2000 Schutzstatus.

4 Bauausführung

Schwerpunkt der Bauausführung bis heute ist die Erkundung des tiefen Untergrundes. In den Jahren 2015 bis heute sind insgesamt 5 horizontale Kernbohrungen aus der bestehenden Grube nach Osten sowie zwei Tiefbohrungen von über Tage in den weitgehend unbekanntem östlichen Teil des Asse Höhenzuges und die Südflanke gestoßen worden. Darüber hinaus wurde zu Beginn des Jahres 2020 eine sehr aufwändige übertägige geophysikalische Messkampagne realisiert (siehe Abbildung 8). Ziel aller Maßnahmen ist die Erstellung eines verlässlichen Lagerstättenmodells. Das Bestandsbergwerk mit den neuen Anlagen zur Rückholung wird nämlich vom Osten her aufgeschlossen, dabei sollen unkalkulierbare hydrogeologische Risiken vermieden werden. Es ist geplant, drei weitere Tiefbohrungen vom Tage sowie eine untertägige geophysikalische Kampagne bis 2024 zu realisieren. Die Betriebsflächen werden zurzeit erworben, die Vorbereitung der Flächen für die Errichtung der Anlagen ist für 2022 geplant, der Teufbeginn des Bergungsschachtes 5 soll in 2024 sein.

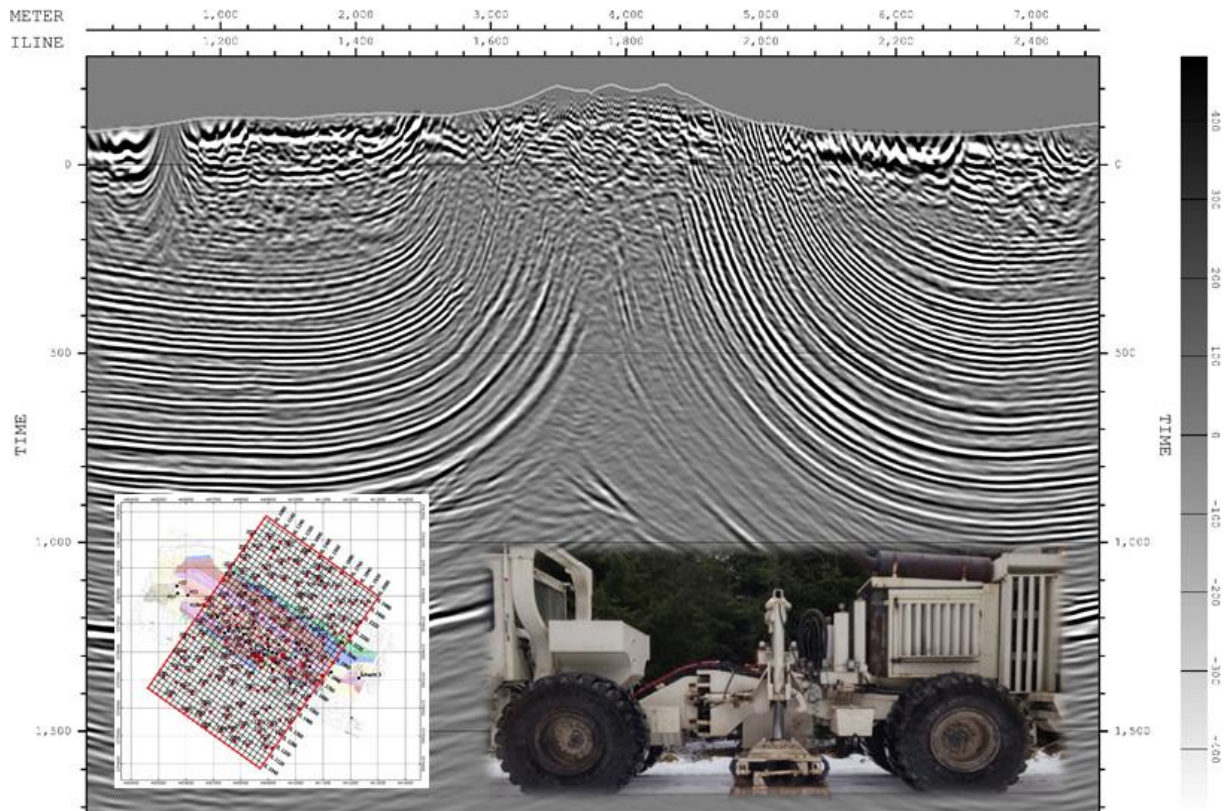


Abbildung 8: Seismische Erkundung 2019/2020, dargestellt sind erste grobe Linien des Asse Höhenzuges, links unten das enge Messraster und rechts unten ein Vibro-Truck (2)

5 Resumee

Bei der Rückholung der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II handelt es sich um ein mit einem Aufwand von 3,36 Mrd. Euro für die Errichtung der Anlagen und einem Betrieb der Anlagen bis in die 2060er Jahre aufwändiges und langwieriges Großprojekt. Es stellt eine spannende technische Herausforderung dar und wird in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre die Errichtung des Endlagers Konrad als umsatzstärkstes Bauprojekt der BGE ablösen

6 Quellen

- (1) Dr. Ing. Oleksandr Dygtyev: Numerische Analyse des Tragverhaltens komplexer gebirgsmechanischer untertägiger Systeme mit filigranen Strukturen bei Anwesenheit von Imponderabilien, Dissertation, TU Clausthal, 2017
- (2) Unterlagen BGE
- (3) Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II – Rückholplan, BGE 2020

Dr.-Ing. Thomas Lautsch
thomas.lautsch@bge.de

BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstr. 55
31224 Peine



Weil unser Netzwerk Ihr Leben bereichert.

Wir bereichern das Leben durch nachhaltige Förderung und Veredelung von Mineralien zu unverzichtbaren Produkten und durch eine Arbeitswelt, die einzigartig ist. Weil sie über und unter Tage dafür steht, was wirklich zählt im Leben: Vertrauen, Teamgeist und Sinnhaftigkeit für über 14.000 Mitarbeiter*innen an mehr als 90 Standorten auf fünf Kontinenten. Starten Sie jetzt Ihre Karriere mit einem Traineeprogramm bei K+S.



www.kpluss.com/traineeprogramme



Sicherheitsaspekte von Sprengstoffen im Kali- und Steinsalzbergbau

Prof. Dr. Rüdiger Triebel

K+S Aktiengesellschaft & MSW-CHEMIE GmbH

Dr. Frederik Flach

MSW-CHEMIE GmbH

1 Einleitung

Die sicherheitsrelevanten Eigenschaften von Spreng- und Zündmitteln sind von herausragender Bedeutung für die Arbeitssicherheit – nicht nur, aber insbesondere im Bergbau unter Tage. Die historische Entwicklung der Sprengstoffe ist maßgeblich von Verbesserungen zugunsten der Handhabungssicherheit geprägt. Weiterhin stellen die Anpassung der sprengtechnischen Eigenschaften auf den jeweiligen Anwendungsfall und die Optimierung der Kosten wesentliche Treiber für Neuentwicklungen dar.

Für den Kali- und Steinsalzbergbau sind hier insbesondere folgende Entwicklungen bei den Sprengstoffen zu nennen:

- um 1913 Einführung von Chlorat-Sprengstoffen
- ab 1960 Einführung von ANC-Sprengstoffen
- ab 2023 Einführung von Emulsionssprengstoffen

Gefördert durch den Mangel an Dynamit und Grundstoffen zur Herstellung von Ammonsalpetersprengstoffen in Krisen- und Kriegszeiten erlangten die Chlorat-Sprengstoffe Anfang des 20. Jahrhunderts wesentliche Bedeutung im Bergbau. Die anwendungstechnischen Eigenschaften konnten insbesondere bei der Gewinnung von Kali- und Steinsalzen überzeugen, sodass die Verbreitung im Kali- und Steinsalzbergbau in Deutschland schnell Einzug hielt (Winter, 1928).

Mitte des 20. Jahrhunderts erwiesen sich lose ANC-Sprengstoffe aufgrund ihrer sicherheitlichen und wirtschaftlichen Vorzüge als besonders gut geeignet für den Einsatz im Kali- und Steinsalzbergbau und führten dadurch zur sukzessiven Substitution der bisher eingesetzten Sprengstoffe (Lück, 1964).

Mit Ablauf der inzwischen verlängerten Übergangsfrist für die Anwendung der neuen Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide im Bergbau zum 21. August 2023 ergibt sich für viele Bergwerke, dass neben anderen umfangreichen und meist sehr kostenintensiven technischen Maßnahmen auch emissionsarme Sprengstoffe eingeführt werden müssen. Die K+S Gruppe hat für die Bergwerke in Deutschland die Umstellung auf Emulsionssprengstoffe beschlossen und bereitet die Umsetzung vor.

Die Weiterentwicklung des von MSW-Chemie GmbH hergestellten ANC-Sprengstoffs (ANDEX, ANDEX 2000, ANDEX LD) richtete sich primär auf die Reduzierung der toxischen Sprengschwadenbestandteile, jedoch ist es nicht möglich, Emissionswerte wie beim Einsatz moderner Emulsionssprengstoffe zu erreichen.

Der Sprengstoff ANDEX LD hat insbesondere für den Kali- und Steinsalzbergbau entscheidende anwendungstechnische Vorteile und bietet ein Höchstmaß an Sicherheit im Umgang. Das bestehende Sicherheitsniveau und der Arbeitsschutz stellen für K+S den mindestens einzuhaltenden Maßstab für zukünftig einzusetzende Sprengstoffe bzw. Sprengstoffsysteme dar.

Bei der Umstellung auf Emulsionssprengstoff sind die besonderen Anforderungen des Kali- und Steinsalzbergbaus zu berücksichtigen. Aus den langjährigen Einsätzen im Tunnelbau, in Bergwerken, die bereits gepumpte Emulsionssprengstoffe verwenden und anhand verschiedener Versuchseinsätze, konnte für K+S abgeleitet werden, dass die bestehende Technologie für die Verwendung im Kali- und Steinsalzbergbau angepasst werden muss (Triebel & Flach, 2020).

2 Sprengstoffauswahl

Die Auswahl des für den jeweiligen Anwendungsfall am besten geeigneten Sprengstoffs richtet sich nach vielen Kriterien, in der folgenden Tabelle sind die aus Sicht von K+S wichtigsten zusammengestellt. Die meisten davon sind direkt oder indirekt sicherheitlich relevant.

Tabelle 1: Kriterien und Anforderungen für die Sprengstoffauswahl

Initiierbarkeit, Zündweise	Mit elektrischen Sprengzündern, möglichst ohne Verstärkungsladungen
Innerbetrieblicher Transport	Förderung über Falleitung bzw. in Großbinden oder Großbehältern
Investitions- und Betriebskosten	insgesamt: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
Ladearbeiten	ergonomisch, Vermeidung von elektrostatischer Aufladung
Lagerung	Produktstabilität über mehrere Monate auch bei hohen Temperaturen und bei Luftfeuchte
Logistik und Transportsicherheit	ADR Klasse 1.5 oder 5.1
Produktkritische Inhaltsstoffe und Rückstände	möglichst keine
Qualifikation des Personals	entsprechend den jeweiligen Anforderungen
Qualität des Sprengergebnisses	optimales Lösen und Zerkleinern von Kali- und Steinsalzen
Qualitätssicherung	in Verantwortung des Herstellers

Rohstoffe	Verfügbarkeit, Qualität, Preisstabilität
Sprengtechnische Umsetzung	mittlere Detonationsgeschwindigkeit, großes Schwadenvolumen
Sprengwirkung	im Salzgestein: Schiebend
Trägerfahrzeug und Ladegerät	geeignet auch für niedrige Lagerstättenbedingungen, Sprengstoffmenge ausreichend für Ladearbeit einer Schicht
Umwelteinfluss	optimale Ressourceneffizienz
Verwendung	möglichst einfaches Umfüllen und Laden mit Erreichung definierter Produkteigenschaften auch unter verschiedenen Temperaturbedingungen
Wasserfestigkeit	für K+S nicht grundsätzlich erforderlich

3 Prüfverfahren

Die in der EU vorgeschriebenen Prüfverfahren für Sprengstoffe im Hinblick auf den Transport und die sichere Verwendung sind unter anderem in der harmonisierten Norm DIN EN 13631 Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe beschrieben.

In diesem Zusammenhang sind hauptsächlich folgende Teile der Norm relevant:

Tabelle 2: Normierte Prüfverfahren für die Zulassung von Sprengstoffen

DIN EN 13631 Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe	
Teil 1	Anforderungen
Teil 2	Bestimmung der thermischen Stabilität
Teil 3	Bestimmung der Reibempfindlichkeit
Teil 4	Bestimmung der Schlagempfindlichkeit
Teil 5	Bestimmung der Wasserfestigkeit
Teil 10	Überprüfung der Zündweise
Teil 16	Unter Tage – Nachweis und Messung von toxischen Schwadenbestandteilen

Für Hersteller sind die Prüfungen bzw. die Einhaltung der normativen Anforderungen verpflichtend, da sie in die EG-Baumuster-Prüfbescheinigung bzw. in die Verwendungsbestimmungen der Zulassung des jeweiligen Sprengstoffs eingehen. Sie sind jedoch offensichtlich nicht allein hinreichend für eine umfassende Bewertung der zuvor aufgezählten anwendungsbezogenen Kriterien aus Sicht der Verwender.

Aktuell beschäftigen sich verschiedene Sprengstoffhersteller nicht nur mit Emulsionssprengstoffen, sondern auch mit Sprengstoffen auf Basis von Peroxiden bzw. Perchloraten. Diese flüssigen bzw. pastösen Sprengstoffe emittieren aufgrund der Tatsache, dass als Sauerstoffträger insbesondere kein Ammoniumnitrat zum Einsatz kommt, keine Stickoxide. Für MSW und K+S kommen diese Sprengstoffe nicht in Betracht, vor allem da sie nach aktuellem Stand der Technik wesentliche Sicherheitsanforderungen bei der Herstellung, beim Transport, bei der Lagerung und bei der Verwendung nicht erfüllen.

Auch die zahlreichen anderen Sprengstoffarten, die im Bergbau bereits eingeführt sind oder waren, scheiden entweder aufgrund der Sicherheitsanforderungen oder aufgrund des nicht hinreichenden Minderungspotentials bei den Stickoxid-Emissionen, spätestens jedoch mit der nicht hinreichenden Eignung für den Anwendungsfall bei K+S aus.

4 Anforderungen für den Einsatz im Kali- und Steinsalzbergbau

Grundsätzlich ist es dringend zu empfehlen, dass im Zuge der Einführung neuer Sprengstoffe oder Sprengstoffsysteme umfassende Analysen und betriebliche Folgeabschätzungen bereits in der Planungsphase vorgenommen werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Einführung gepumpter Emulsionssprengstoffe in den K+S Bergwerken und umfassen nicht die Aspekte der Herstellung von Vorprodukten (Triebel & Flach, 2020).

Die Einführung von Emulsionssprengstoffen unter Tage ist bei K+S und sicherlich auch in anderen Bergwerken mit dem Erfordernis einer grundlegenden Umstellung der Sprengmittellogistik verbunden. Daher müssen, in Abhängigkeit von standortspezifischen Anforderungen, passende Konzepte für den effizienten, produktschonenden und sicheren Transport ausgearbeitet werden. Definiert man als erste Schnittstelle für den Einsatz im Grubenbetrieb die Anlieferung über Tage, so sind geeignete Konzepte für den Umschlag, die Zwischenlagerung und den Schachttransport zu entwickeln. Die Möglichkeit der vertikalen Förderung der Emulsionsmatrix über eine Schachtleitung ist ebenso zu prüfen, wie der Transport in maßgeschneiderten Logistikeinheiten. Letztendlich muss für spezifische Varianten ggf. auch eine gezielte Anpassung der Produktformulierung an die Logistikkette berücksichtigt werden. Dies erfordert insbesondere eine umfassende Betrachtung in Hinblick auf die Sicherheit und die Produktqualität. Der Transport, die Lagerung und Umschlagvorgänge bis zur Befüllung der Mischladeeinheiten müssen so ausgelegt werden, dass Restmengen in Transportbehältern minimiert werden und bedarfsweise Reinigungsprozesse durchgeführt werden können.

Insbesondere Verunreinigungen durch Restmengen können Kristallisationsvorgänge innerhalb der Emulsionsmatrix auslösen und damit zur Beeinträchtigung der Produktqualität sowie der Sicherheit führen. Grundsätzlich wird die Stabilität der Emulsionsmatrix für die Lagerung und Verwendung bei Temperaturen bis zu 50 °C über mehrere Monate vorausgesetzt.

Für das Laden der Bohrlöcher und die Sensibilisierung an der Verwendungsstelle muss zudem eine Anpassung der Mischladetechnologie erfolgen. Diese ist insbesondere durch den Einsatz in Gewinnungsbereichen mit geringen Lagerstättenmächtigkeiten begründet. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Trägerfahrzeuge, die derzeit ausgewählt werden, sind Höhenbeschränkungen durch ein geeignetes Design zu kompensieren.

Darüber hinaus werden weitere wesentliche Anforderungen an die Mischladetechnologie gestellt. Das Laden der Sprengbohrlöcher ohne wesentliche Einflussmöglichkeiten des Sprengberechtigten auf die Rezeptur des Sprengstoffes ist als Verwenden im Sinne des SprengG zu betrachten. Dennoch müssen, neben der rechtlichen Anforderung der automatischen Dokumentation der geladenen Mengen, auch Grundsätze und Messgrößen zur Qualitätssicherung festgelegt werden. Es müssen ein Höchstmaß an Sicherheit sowie eine gleichbleibend hohe Produktqualität gewährleistet sein, sodass Sprengarbeiten definiert geladen und zuverlässige Sprengergebnisse erreicht werden. Der Grad und die Güte der Sensibilisierung der Matrix bestimmen maßgeblich die sprengtechnischen Eigenschaften des Emulsionssprengstoffes. Aus diesem Grund ist eine geeignete Vorrichtung zur Unterstützung des Ladevorgangs zwingend erforderlich. Die Vorrichtung muss eine ergonomische Führung des Ladeschlauchs ermöglichen und die exakte Einstellung der Rückzugsgeschwindigkeit gewährleisten, damit insbesondere lange horizontale, aber auch vertikale Sprengbohrlöcher mit definierten Mengen geladen werden können. Zur Vermeidung eines Dichtegradienten über die Bohrlochlänge muss die Matrix radial expandieren können, dies ist nur bei partiell gefüllten Bohrlöchern, die mittels Schlauchrückzugseinrichtung geladen werden, möglich. Zudem ist eine intelligente Steuerungstechnik erforderlich, die Temperatureinflüsse und Dichtevorgaben berücksichtigt und für den Sprengberechtigten möglichst einfach und sicher zu bedienen ist.

Der Ladevorgang erfordert darüber hinaus eine exakte Festlegung und zeitliche Koordination der Arbeitsabläufe, da die Vermischung von Gassing-Reaktiv und Emulsionsmatrix zu einem Druckanstieg im Ladeschlauch führt. Bei längeren Betriebsunterbrechungen kann dies zu Störungen und im ungünstigsten Fall zum Bersten des Ladeschlauchs führen. Zur Vermeidung dieses Effektes muss der Ladeschlauch vor längeren Unterbrechungen freigespült werden. Der Spülvorgang ist so auszulegen, dass Rest- und Abfallmengen minimiert werden.

Dies kann zum Beispiel, wie in den Einsätzen bei K+S bereits durchgeführt, durch rechtzeitiges Umstellen der Förderpumpe auf Spülwasser während des Ladens der letzten Bohrlöcher einer Sprengarbeit erreicht werden. Dabei muss allerdings auch gewährleistet sein, dass kein Spülwasser in das Bohrloch gepumpt wird, damit der Sprengstoff in seiner Zusammensetzung qualitativ nicht beeinträchtigt wird. Ein derartiger Vorgang kann nicht allein durch die Erfahrung des Sprengberechtigten wirtschaftlich und sicher gestaltet werden, es bedarf ebenso einer geeigneten technischen Unterstützung durch das Mischladesystem. Bei den anfallenden Spülmengen muss zudem die Einführung eines Recyclingkonzeptes geprüft werden.

Die saubere und exakte Dosierung ist grundsätzlich eine wesentliche Anforderung des Kali- und Steinsalzbergbaus. Bei den Ladetätigkeiten muss die Verunreinigung des Rohsalzes durch Emulsionsmatrix oder Reaktive vermieden werden. Produkte und Anwendungen in der Chemie oder Pharmaindustrie sowie im Futter- und Lebensmittelbereich erfordern die Gewinnung hochreiner Salze, die auch durch das Sprengstoffsystem nicht kontaminiert werden dürfen. Ebenso müssen der sichere Umgang mit Gefahrstoffen und die Arbeitssicherheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gewährleistet werden.

5 Fazit und Ausblick

Die Einhaltung der zukünftig anzuwendenden, stark reduzierten Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide stellt für den Bergbau eine große Herausforderung dar. Die K+S Gruppe setzt vor allem aufgrund der Lagerstättenbedingungen auch zukünftig auf die Gewinnung mit Bohr- und Sprengarbeit und hat nach eingehender Prüfung der Ergebnisse von entsprechenden Versuchseinsätzen entschieden, Emulsionssprengstoffe in allen Bergwerken der Gruppe in Deutschland einzuführen. Die Vorbereitungen werden intensiv vorangetrieben und es ist eine Vielzahl von organisatorischen, logistischen und technischen Anpassungen erforderlich, bevor die Mischladetechnologie bei K+S eingesetzt werden kann. Voraussichtlich werden sich die Arbeitsabläufe im Sprengwesen für die Beschäftigten wesentlich ändern. Weiterhin müssen die hohen Anforderungen an die Produktqualität zur Sicherstellung der erforderlichen Emissionsreduzierung, aber auch die Anpassung der technologischen Prozesse an die Erfordernisse der K+S Bergwerke berücksichtigt werden.

Letztlich muss auch gewährleistet sein, dass durch Emulsionssprengstoffe, deren Einsatzstoffe und Restmengen keine Kontamination der Rohsalze erfolgt. Der Zeitbedarf für die Umstellung der Bergwerke ist erheblich, die K+S Gruppe ist mit MSW-Chemie einer der bedeutendsten Hersteller und mit den eigenen Bergwerken einer der größten Verbraucher von gewerblichen Sprengstoffen in Deutschland.

Die hohe Bedeutung der Sicherheitsaspekte zieht sich wie ein roter Faden durch die Kriterien und Anforderungen der Sprengmittelwirtschaft im Bergbau. Rückblickend hatten alle bedeutenden Umstellungen in den Sprengstoffsystemen der Kali- und Steinsalzbergwerke in Deutschland zum Anlass und zum Ziel, wesentliche Verbesserungen in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz zu bewirken. Dieser Anspruch hat auch bei der kommenden Umstellung auf emissionsarme Emulsionssprengstoffe zur Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide oberste Priorität. Für die erfolgreiche Einführung eines neuen und sicheren Sprengstoffsystems im Kali- und Steinsalzbergbau sind genau deshalb noch einige grundlegende Schritte und anwendungsgerechte Verbesserungen erforderlich.

6 Quellenangaben

- DIN EN 13631-1:2005-07. Explosivstoffe für zivile Zwecke - Sprengstoffe - Teil 1: Anforderungen. Deutsche Fassung EN 13631-1:2005.
- Lück, H. 1964. Schießen mit neuen nitroglycerinfreien AN-Sprengstoffen. [Hrsg.] Kaliverein e. V. Kali und Steinsalz. 1964, Nr. 1.
- Triebel, R. und Flach, F. 2020. Emulsionssprengstoffe für den Kali- und Steinsalzbergbau. [Hrsg.] Deutscher Sprengverband e. V. Sprenginfo 42. 2020, Nr. 2.
- Winter, M. 1928. Miedziankit und seine Fabrikation in Langelsheim am Harz. [Hrsg.] Deutscher Kaliverein e. V. Kali und verwandte Salze. 1928, Nr. 11-13.

Prof. Dr. Rüdiger Triebel
trieb@msw-chemie.de

Dr. Frederik Flach
flach@msw-chemie.de

MSW-CHEMIE GmbH
Seesener Straße 19
38685 Langelsheim

K+S Aktiengesellschaft
Bertha-von-Suttner-Str. 7
34131 Kassel

Ihr Spezialist für ANFO

ANDEX LD

- ✓ handhabungssicher
- ✓ rieselfähig
- ✓ hohes Schwadenvolumen mit reduzierten Stickoxidgehalten



Ihr Ansprechpartner:
Herr Markus Weinhold
Tel. 0 53 26 91 08 -33 · anfo@msw-chemie.de
Seesener Str. 19 · 38685 Langelsheim

Beschleunigtes Abteufen von Schächten durch maschinellen Vortrieb

Dzianis Iholka
REDPATH DEILMANN GmbH

1 Einführung

Je nach den berggeologischen Verhältnissen der Lagerstätten können die Teuf- und Ausbaukosten von Schächten durchschnittlich 15 – 50 % der gesamten Investitionen für den Bau eines Bergwerks betragen. Die Erschließung von Lagerstätten durch Schächte ist in der Regel auf dem zeitlich kritischen Weg bei Umsetzung solcher Projekte, und es ist deshalb besonders wichtig diese Arbeiten mit hoher technologischer Sicherheit und mit schnellem Tempo umzusetzen.

Die REDPATH DEILMANN GmbH (Dortmund) hat 2017 den Vertrag über den Bau von zwei Schächten zur Erschließung der Starobinskoe Kalisalzlagerstätte (Republik Belarus) über ein neues Bergwerk des Bergbauunternehmens Slavkaliy IOOO unterzeichnet. Kalium wird in Belarus seit über 60 Jahren von OAO Belaruskali gewonnen und aufbereitet, die zu den weltweit führenden Kaliproduzenten zählen. Bis dato war OAO Belaruskali, die sieben Kalibergwerke betreibt, der einzige Kaliumproduzent in Belarus. Schließlich wurde 2015 nahe der Stadt Luban auf dem östlichen Teil des Nezhinsky Reviers der Starobinskoe Kalisalzlagerstätte der Bau des Bergwerks Nezhinsky GOK begonnen. Nach Ergebnissen der Projektierung ist geplant, jährlich ca. 2 Mio. t Kalidüngemittel herzustellen. Die REDPATH DEILMANN GmbH verfügt über 130 Jahre Erfahrung im Schachtbau – weltweit wurden über 560 Schächte gebaut, wobei 200 davon unter Einsatz des Gefrierverfahrens geteuft wurden. Teilweise wurden bereits maschinelle Teufverfahren angewendet.

Auf Entscheidung der Gesellschaft IOOO Slavkaliy sollen die Schächte maschinell, unter Einsatz der Vortriebsmaschinen SBR (Shaft Boring Roadheader), hergestellt von der Gesellschaft Herrenknecht (Schwanau, Deutschland), vorgetrieben werden.

Das Konzept dieser Entscheidung bestand in dem Vortrieb der Schächte mittels des sichereren Verfahrens ohne Einsatz von Sprengstoffen sowie in der Beschleunigung des Vortriebs, die vollständige Parallelisierung der Arbeiten zum Abbau und Verladen des Gebirges und Ausbau des Schachtes vorsah. Diese Entscheidung erwies sich als förderlich für die termingerechte und kurzfristige Aufnahme der Gewinnung der Bodenschätze und anschließende Aufbereitung zu Kalidüngemittel durch Slavkaliy IOOO.

2 Arbeitsvolumen und geologische Verhältnisse

Es wurde beschlossen zuerst das neue Revier der Lagerstätte mit zwei Schächten je 700 und 725 m tief zu teufen. Derzeit werden der Skip- und Großkorbschacht fertiggestellt und der II. Kalihorizont aufgeschlossen. Schacht 1 wird nach der Fertigstellung die Funktion des Förder- und Frischwetterschachtes übernehmen; Schacht 2 ist für die Seilfahrt und Materialförderung bestimmt und dient als Abwetterschacht. Grundlegende Parameter der Schächte sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: **Grundlegende Parameter der Schächte**

Parameterbezeichnung	Skipschacht	Großkorbschacht
Schachttiefe, m	725	700
Durchmesser (lichter), m	8	8
Gefriertiefe, m	160	160
Tiefe des Abdichtungsausbaus, m	325	325

Da gemäß der Auswertung der hydrogeologischen Erkundungen Wasserzuläufe im größeren Umfang bis zur Teufe von 150 m sowie im geringeren Umfang bis zur Teufe von 305 m zu erwarten waren, wurde beschlossen das schachtumgebende Gebirge bis zur Teufe von ca. 160 m zu gefrieren. Die geologische Formation besteht bis zum Steinsalzhorizont (Teufe 520 m) hauptsächlich aus wenig standfesten Ton-, Mergel- und Argillit Schichten (Abbildung 1). Die Projektierung sah daher einen Gusseisen-Tübbingausbau bis -320 m und einen Beton- und Stahlbetonausbau in den größeren Teufen vor.

Auf Abbildung 1 ist das grundsätzliche Schema des Schachtes mit den projektierten Parametern des Ausbaus und generalisierten geologischen Angaben dargestellt.

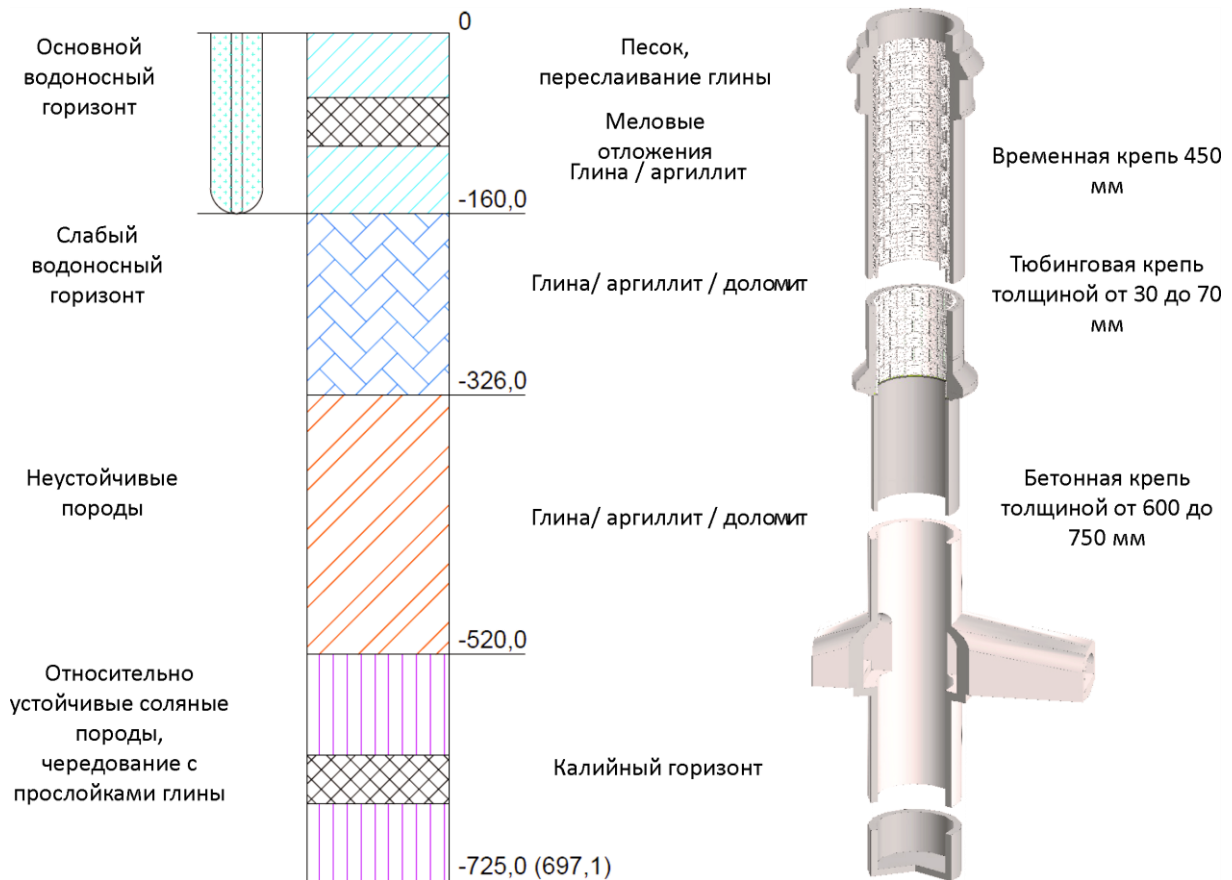


Abbildung 1: generalisierte geologische und hydrogeologische Angaben der Schächte und Ausbaumvorgaben

Nach dem Abschluss des Schachtabteufens werden zur weiteren Entwicklung des Bergwerkes sofort die schachtnahen Grubenbaue des Füllortes aufgefahren, inkl. des Ladekomplexes und des Schachtbunkers (ca. 40 m hoch mit dem lichten Durchmesser von 8 m). Das Gesamtvolumen dieser Arbeiten beträgt ca. 90.000 m³ Haufwerks, was einer Gesamtlänge von rund 10 km Strecken entspricht (das Schema dieser Grubenbaue ist auf der Abbildung 2 dargestellt). Dabei variiert die Grubenbaubreite hauptsächlich zwischen 3 und 4,5 m; bei der Höhe von 3 – 4 m, abgesehen von abgesonderten Sondergrubenbauen und dem Bunker. Die Geologie ist geprägt durch Steinsalz- und Kalisalzschichten mit Zwischenschichten von Ton in unterschiedlichen Mächtigkeiten – von einigen Millimetern bis zu zwei Metern. Da die Standsicherheit der Füllörter für die gesamte Betriebsdauer des Bergwerkes gewährleistet sein muss, werden diese unter dem Kaliflöz in den Steinsalzschichten aufgefahren.

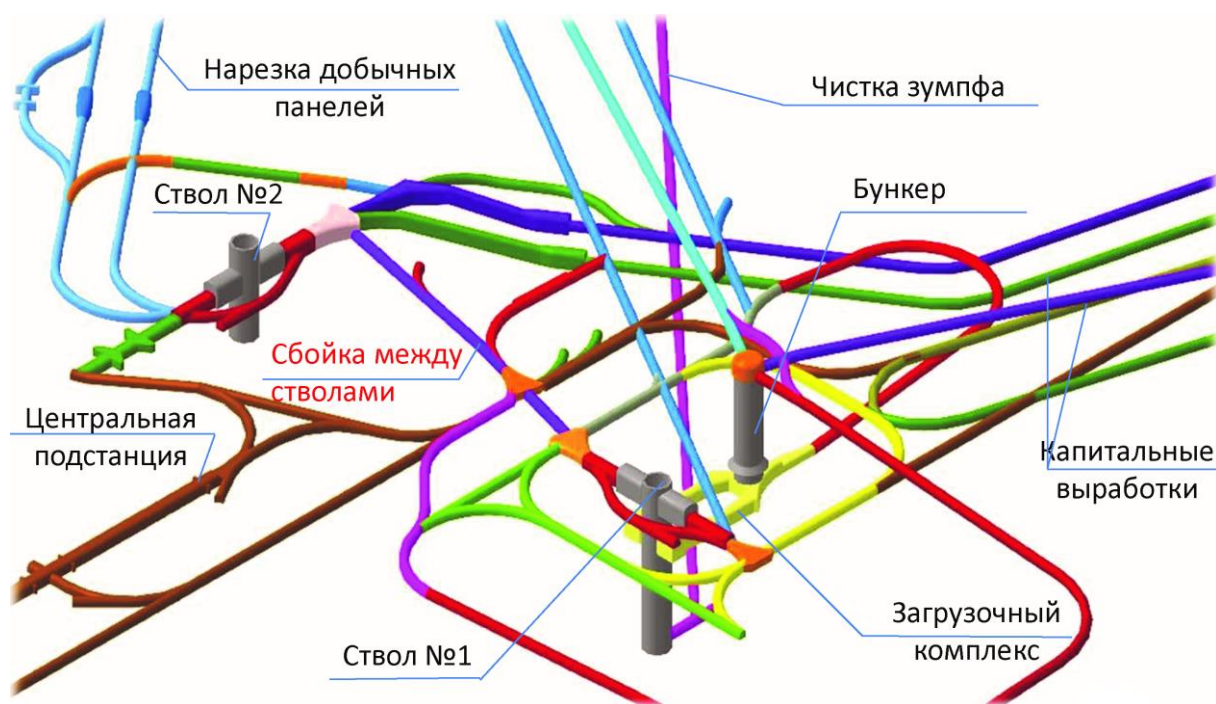


Abbildung 2: Umfang der Vorrichtungsauffahrung und der schachtnahen Bereiche

3 Beschleunigtes Schachtabteufen mit dem mechanisierten Verfahren

3.1 Ausrüstung und Vorbereitung der Übertage-Einrichtung

Zur Aufnahme der Teufarbeiten mit der SBR im Rahmen des Nezhinsky Projektes sollte für jeden Schacht folgendes ausgeführt werden:

- Bodenvereisung
- Abteufen des Vorschachtes
- Montage des endgültigen Fördergerüsts
- Ausrüstung der übertägigen Einrichtung mit FöMA und Winden
- Montage der SBR
- Ausrüstung der Übertage-Einrichtung mit Haupt- und Hilfsinfrastruktur des Schachtabteufens

Es wurde beschlossen die Schächte am Nezhinsky Revier mit dem Gefrierverfahren bis zur Teufe von 160 m bei Temperatur -35°C zu teufen, was das Gefrieren des Hauptwasserhorizontes ermöglicht. Also wurden an jedem Schacht je 40 Gefrierbohrlöcher und je vier Temperaturmessbohrungen niedergebracht, anschließend wurde die Gefrierhalle mit der Gesamtleistung von 4 MW in Betrieb gesetzt. Grundlegende technische Kenndaten und Gefrierparameter sind der Abbildung 3 zu entnehmen.

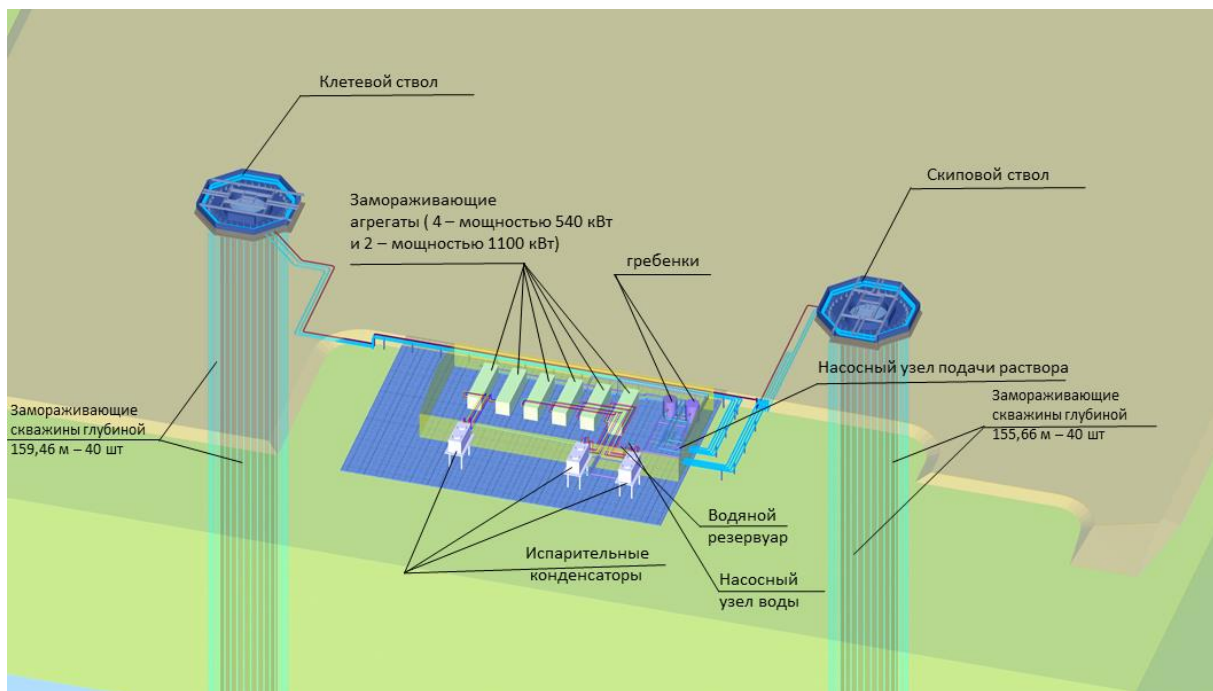


Abbildung 3: Gefrieranlage für Bodenvereisung

Tabelle 2: Grundlegende Kenndaten der FöMa und Winden

	Motorleistung der Asynchronmaschinen	Seildurch- messer (in mm)	max. Geschwindigkeit	Nennlast
FöMa 215 kN	2x710 kW	40	6 m/s	215 kN
FöMa 252 kN	2x1350 kW	40	9,5 m/s	252 kN
Winde SBR	4x132 kW	54	0,2 m/s	455 kN
Notfahrwinde	4x55 kW	19	0,35 m/s	50 kN
Tragseilkabelwinde	4x55 kW	30	0,16 m/s	313 kN

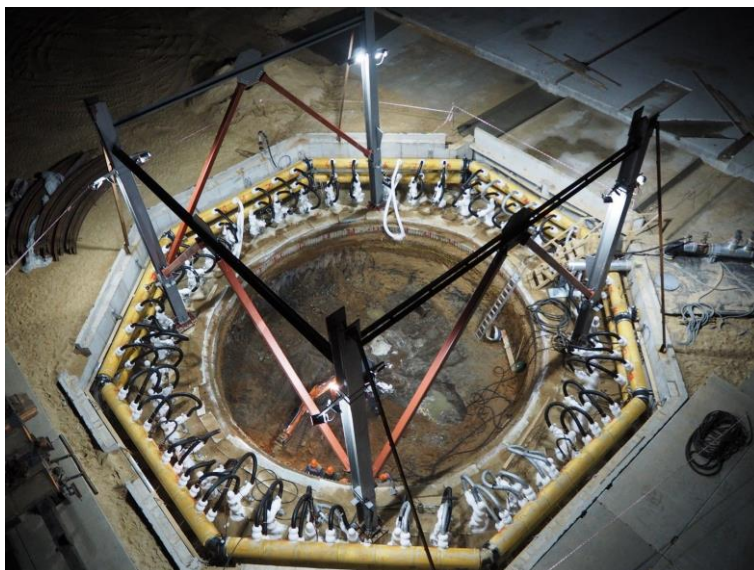


Abbildung 4: Schachtkopf am Anfang des Teufens des Vorschachts mit Gefrierbohrlochsköpfen

Das Abteufen der Vorschächte begann nach der vollständigen Schließung des Frostkörpers. Jeder Vorschacht war 52 m tief – das Lösen und das Laden des Gesteins in einen Bergekübel erfolgte mittels Bagger und die Förderung wurde durch einen Mobilkran realisiert. Parallel wurde hinter einer Umsetzschalung der Schachtstoß betoniert. Hierfür wurde der frostbeständige Beton der Sorte C25/30 verwendet. Die Stärke des Ausbaus betrug 550 mm. Danach wurde auf dem Boden des Vorschachtes ein Betonfundament zur anschließenden SBR-Montage hergestellt, das endgültige Fördergerüst aufgebaut und zur weiteren Montage der Teufeinrichtung ausgerüstet.

Parallel zum Teufen der Vorschächte wurden übertägige Hallen aufgebaut, die wichtigsten sind die Fördermaschinen- (FöMa) und Windenhallen. Grundlegende Kenndaten dieser Anlagen sind der Tabelle 2 zu entnehmen.



Abbildung 5: Übersicht der FöMa und Windenhalle

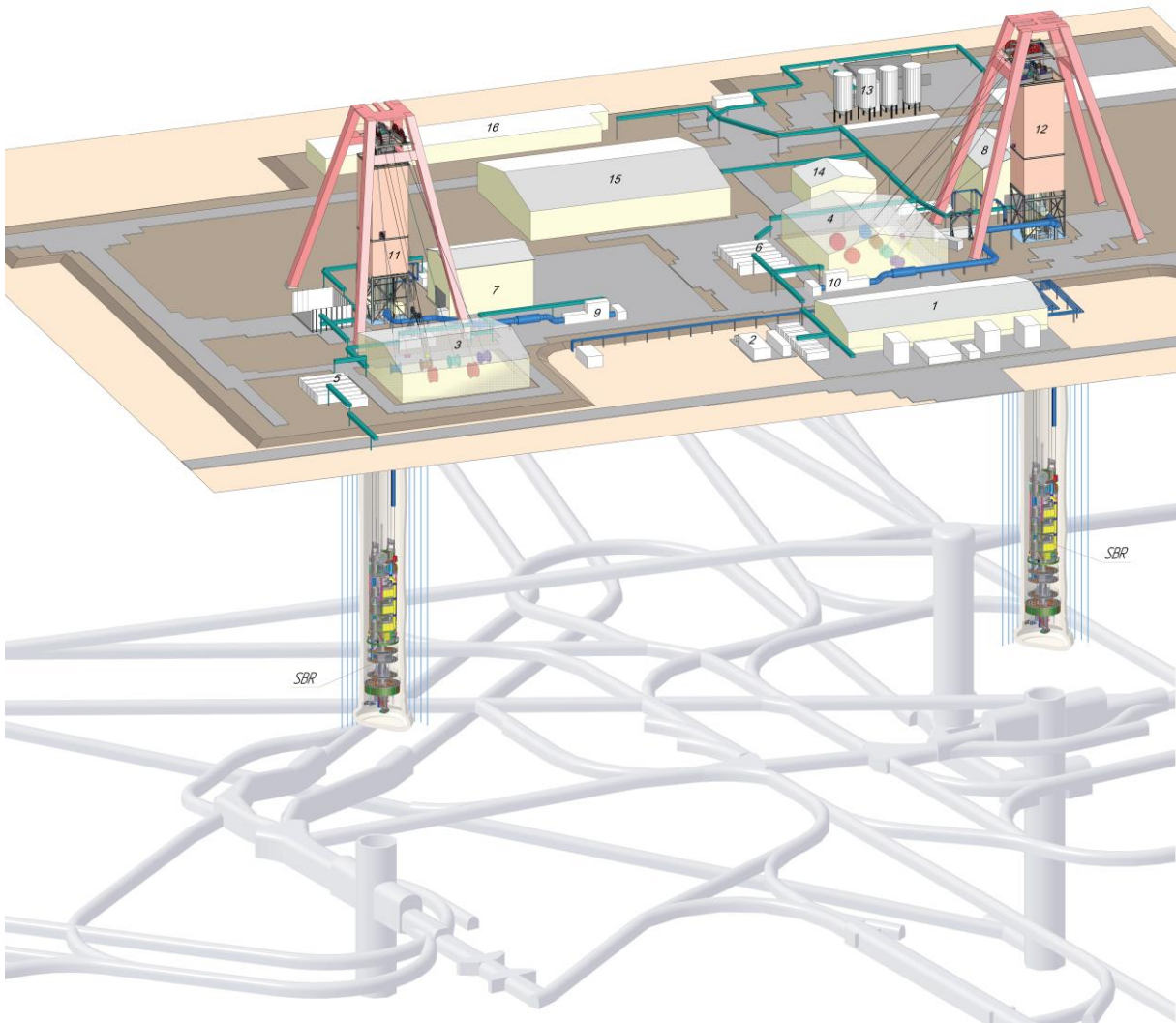


Abbildung 6: Vorbereitung der Übertage-Einrichtung zum Schachtabteufen:

- 1 Gefrierhalle
- 2 Kompressorhalle
- 3 Winden- und FöMa-Halle 2
- 4 Winden- und FöMa-Halle 1
- 5 E-Container Schacht 2
- 6 E-Container Schacht 1
- 7 Schachthalle 2
- 8 Schachthalle 1
- 9 Bewetterungsanlage 2
- 10 Bewetterungsanlage 1
- 11 Fördergerüst Großkorbschacht (Abteufen)
- 12 Fördergerüst Skipschacht (Abteufen)
- 13 Betonmisanlage
- 14 ABK 1
- 15 Lagerhalle mit der Werkstatt
- 16 ABK 2

Für die Ausführung der Teufarbeiten wurde die Baustelle ebenfalls mit der notwendigen Haupt- und Hilfsinfrastruktur ausgerüstet, inkl. Lüfter, Stromversorgung der Baustelle und SBR, Betonmischanlage, Lager- und Verwaltungshallen. Die Übersicht der Baustelle ist auf der Abbildung 6 dargestellt.

Der Vorbereitungszeitraum wurde mit der Montage von 2 SBR und deren Aufhängung an den Windenseilen abgeschlossen, anschließend wurde die SBR in Betrieb genommen und das mechanisierte Teufen mit SBR begann mit dem Hereingewinnen des Betonfundamentes.

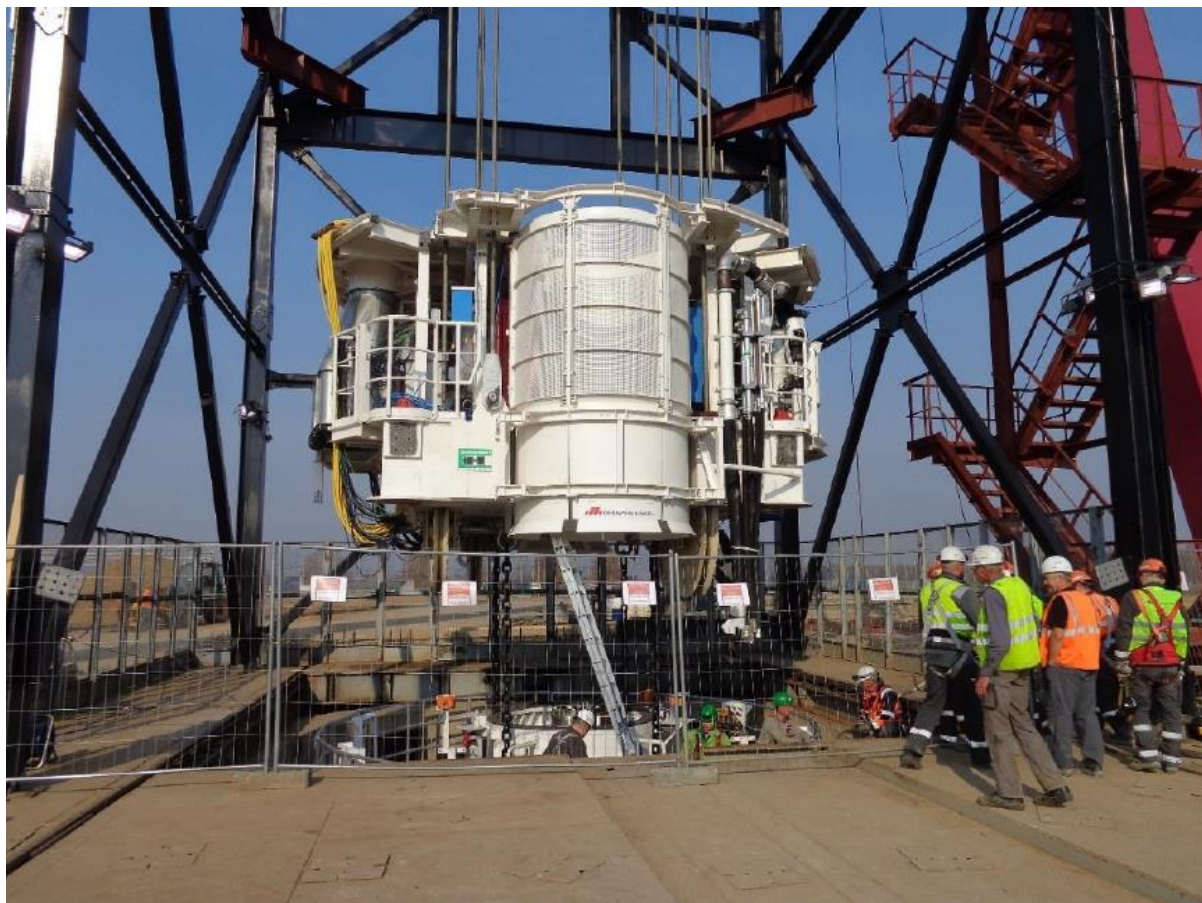


Abbildung 7: Einförderung der SBR-Module in den Vorschacht

4 Ausführungsverfahren und Aufbau der SBR

Bis -326 m wurden die Schächte mit der SBR geteuft und die Schachtstöße wurden mit vorläufigen Vorbeton ausgebaut. Die Stärke des vorläufigen Betonausbaus der Sorte C25/30 betrug 450 mm. Danach wurde bei -326 m ein Stützfundament hergestellt und von unten nach oben die Tübbingsäule montiert und der Ringraum zum vorläufigen Betonausbau (350 mm) mit Beton hinterfüllt. Insgesamt wurden 215 Tübbingringe an jedem Schacht montiert. Nach der Fertigstellung der Tübbingmontage wurden die Schächte mit der SBR bis zum Füllort der Schächte weiter geteuft. Die Betonausbaustärke Sorte C40/50 betrug auf diesem Abschnitt 600 - 750 mm. Die Reihenfolge der Teuf- und Ausbaurbeiten ist auf der Abbildung 8 dargestellt.

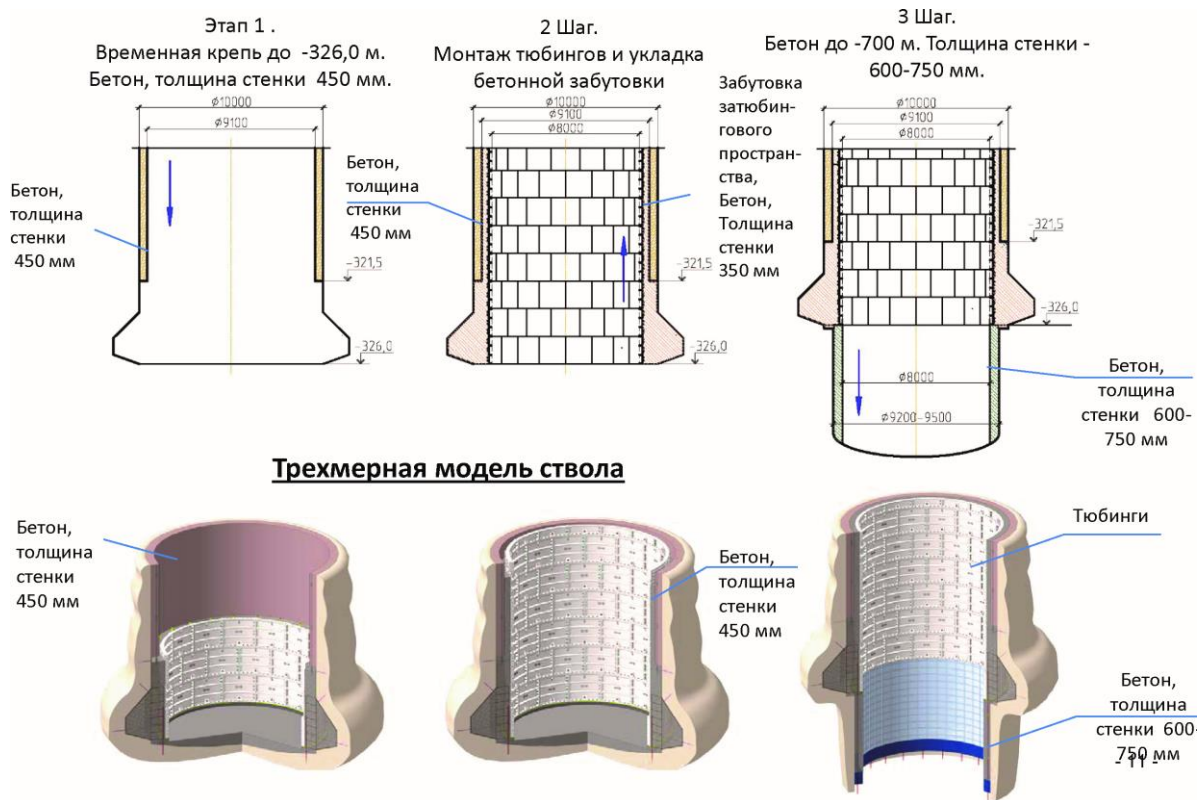


Abbildung 8: Reihenfolge des Schachtausbaus

Das mechanisierte Prinzip des Schachtabteufens mit der SBR besteht im gleichzeitigem Schneiden des Gebirges und Herstellung des Betonausbaus an den Schachtstößen. Bei der SBR wird das Gebirge mit einer Schneidwalze gelöst, die an einem Ausleger unter der Maschine positioniert ist. Der Ausleger ist um 360° drehbar, sodass alle Sektoren der Schachtsohle erreicht werden können. Die Schneidwalze ist dabei in einem Antriebsgehäuse gelagert. Die Leistung des hydraulischen Antriebs des Schneideorgans beträgt 600 kW. Die Schneidtrommel hat einen Durchmesser von 1,2 m und eine Breite von 1,5 m ist mit Rundschaftmeißeln besetzt (Abbildung 9)



Abbildung 9: Ansicht des Schneideorgans der SBR

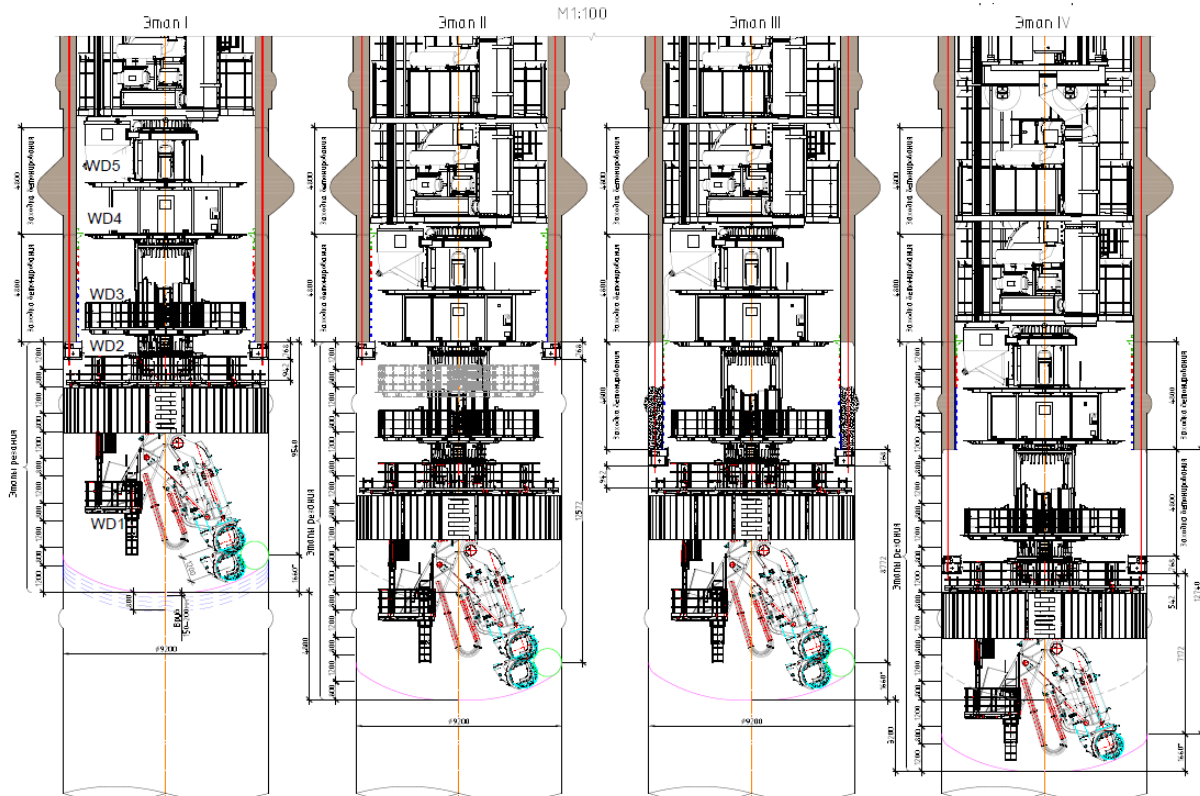


Abbildung 10: Regelmäßige Teufabläufe des Schachts mit der SBR

Das Gebirge wird immer von der Schachtmitte zu Querschnittsrändern geschnitten. Dabei bildet sich aufgrund der Bewegungsgeometrie des Auslegers eine Senke mit dem tiefsten Punkt in der Schachtmitte. Der Schneidradius kann entsprechend der Anforderungen an den Ausbruchdurchmesser über die Steuerung der SBR eingestellt werden. So lassen sich beispielsweise Bereiche von Fundamenten, wo ein größerer Ausbruch benötigt wird, komfortabel mit der SBR vorbereiten. Die maximale Einschnitttiefe des Schneideorgans in das Gebirge beträgt konstruktionsbedingt 0,2 m. Für den üblichen 1,2 m Abschnitt muss dieser Vorgang entsprechend sechsmal wiederholt werden. Auf der Abbildung 10 sind Hauptteufabläufe dargestellt, die aus folgenden Arbeitsabläufen bestehen:

- Schichtenweiser Vortrieb des 1,2 m hohen Abschnittes und Verfahren der SBR um 1,2 m;
- Ausführung von 4 Zyklen je 1,2 m für die Höhe von 4,8 m und paralleles Nachsetzen der Tragstangen vom Stützring und Verfahren der Umsetzschalung;
- Weiterteufen des Schachts und Betoneinbringung hinter die Schalung.

Beim Schneiden ist das pneumatische Ansaugsystem vorgesehen, um das Haufwerk in die Zentralrohrleitung auf die Höhe von ca. 30 m zu fördern und über einen Zyklon von der Saugluft getrennt in einen Kübel eingefüllt zu werden. Die angesaugte Luft wird oben aus dem Zyklon zum einem Abluftfilter hin abgeleitet. Zur Vakuumerzeugung sind an der Frischwetterseite drei Rotations-Kolbenkompressoren mit einer Antriebsleistung je 315 kW installiert. Hierbei wird die Abluft mit zusätzlichen Anlagen gekühlt, damit hohe Temperaturen den Frostkörper nicht beeinträchtigen. Das Ansaugsystem der pneumatischen Förderung ist über die Gesamtbreite der Schneidtrommel als Ansaugbergebox direkt hinter der Trommel ausgeführt. Vergrößert ist der Aufbau der SBR auf der Abbildung 11 dargestellt.

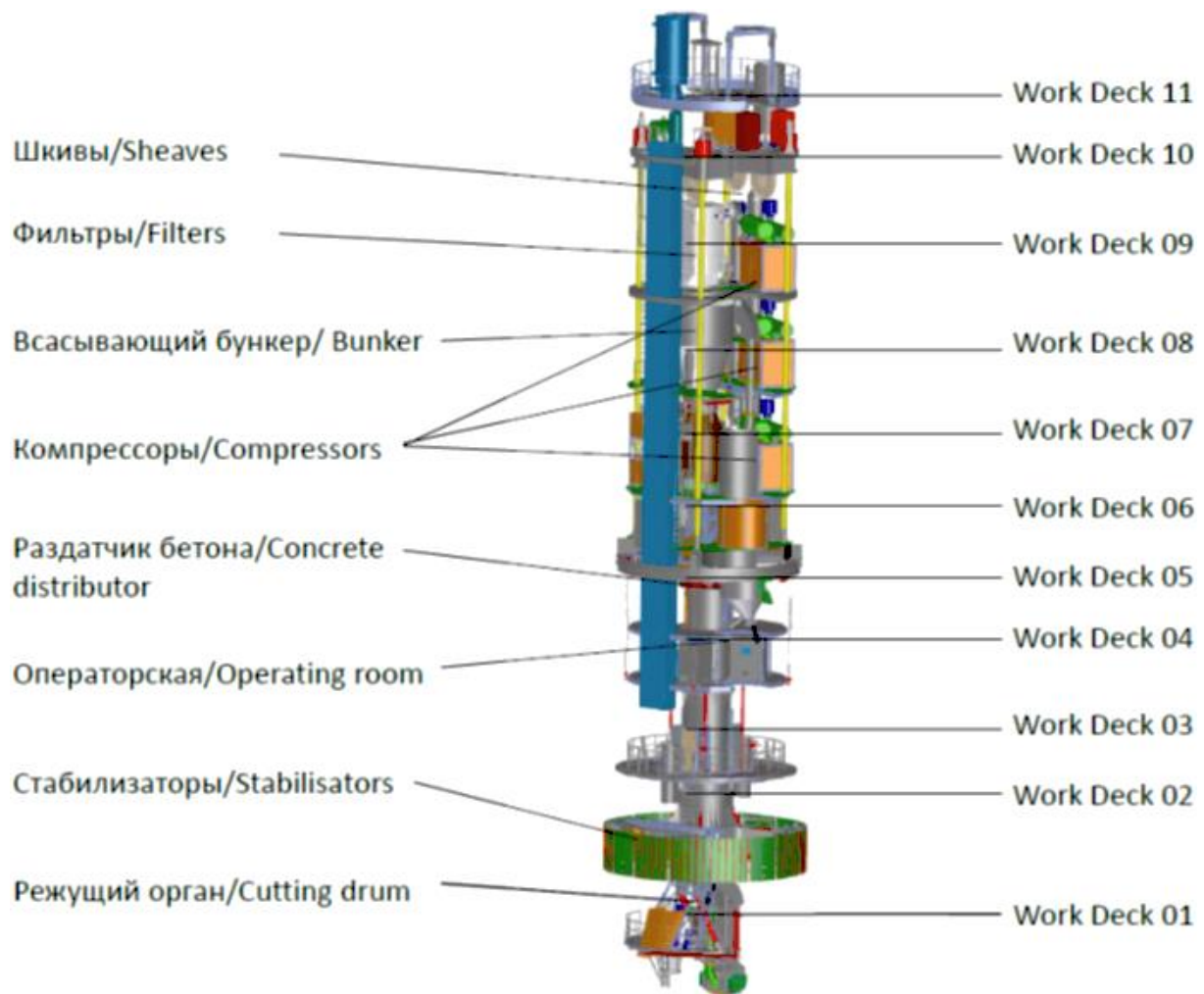


Abbildung 11: Vergrößerter Aufbau der SBR

Für die Entwicklung der Teufanlage, basierend auf den vorgegebenen Randbedingungen, wurden folgende technische Kenndaten festgelegt:

- Abbautiefe – bis 1000 m
- Ausbruchdurchmesser – bis 12 m
- Durchschnittliche Teufleistung – 3 m/Tag
- Gesamtgewicht – ≈ 400 t
- Durchmesser des Schneideorgans – 1,2 m
- Breite des Schneideorgans – 1,5 m
- Hydraulikmotor – 600 kW
- Bergförderung: pneumatisches System
- max. Festigkeit des Gebirges – 100 MPa

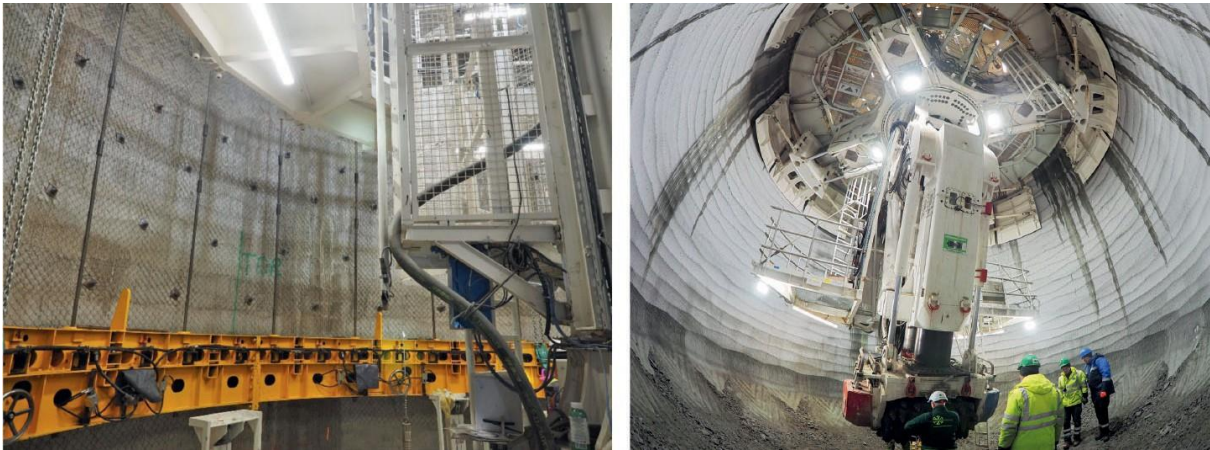


Abbildung 12: Stützring mit hydraulischem Stabilisatorschilden – a) Schachtsohle beim SBR-Teufen – b)

Es sei darauf hinzuweisen, dass während der Arbeiten bestimmte Schwierigkeiten auftraten, verbunden mit Besonderheiten der geologischen Struktur und des SBR-Aufbaus, jedoch wurden alle Schwierigkeiten operativ behoben, und weder der Arbeitsablauf noch die Sicherheit wurde beeinträchtigt. Diese Schwierigkeiten sind in der Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3: Beschreibung der Schwierigkeiten und deren Behebung

Schwierigkeit	Lösung
Starker Verschleiß der SBR-Rohrleitungen im Gefrierbereich	Austausch der Rohrleitung gegen die Rohrleitung mit der Beschichtung «Hardox»
Nicht vollständige Kübelentleerung beim Umkippen wegen des engen Oberteils	Installation der zusätzlichen inneren Rinnen im Kübel und zusätzliche Bearbeitung der inneren Kübeloberfläche
Verklebungen innerhalb der Rohrleitungen beim Teufen der nicht gefrorenen Ton- und Kreideschichten sowie der lehmigen wasserführenden Schichten	Die Rohrleitung und der Aufnahmebunker wurden mit zusätzlichen Injektionspulanlagen ausgerüstet
Mehrausbrüche auf den Abschnitten der instabilen Schichten unterhalb des Gefrierbereichs	Verfahren der Schalung näher zur Schachtsohle unterhalb der Stabilisatoren, Reduzierung der Schalungshöhe

5 Abdichtung der Schächte

Die Abdichtung des Tübbingsausbaus gegen Wasserzuläufe wird hauptsächlich durch das Verstemmen der Bleidichtungen an den Tübbingflanschen und durch Injektion in den Hinterfüllraum, inkl. Einrichtung von zwei Zementschirmen, die die Überströmung des Wassers durch den Hinterfüllungsraum verhindern, erreicht. Dabei ist es bekannt dass der Tübbingausbau kein effektiver wasserdichter Ausbau ist, insbesondere unter den Voraussetzungen saisonbedingter Temperaturänderungen während des Betriebs der Schächte. In Deutschland ist beispielsweise diese Ausbauart noch in den 1970er Jahren gegen wasserdichten Komposit-Stahlbetonausbau getauscht worden. Zwecks zusätzlicher Abdichtung wurde neben den Bleidichtungen ein spezieller Dichtstoff eingesetzt, welcher die sichere Abdichtung in erster Linie der schwer abzudichtenden T-förmigen Tübbingfugen sowie die verbesserte Abdichtung der Gesamtfläche von Tübbingflanschen ermöglichte. Auf Abbildung 13 ist das Arbeitsschema der Schachtabdichtung vergrößert dargestellt.

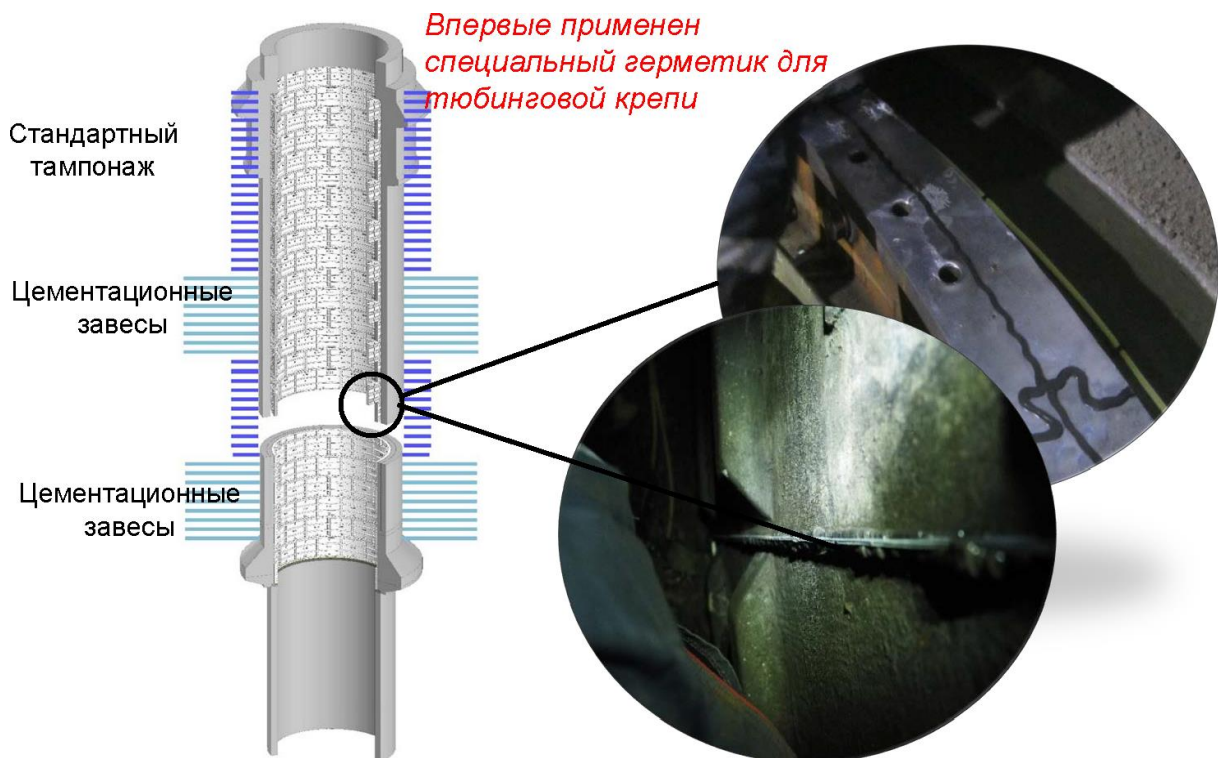


Abbildung 13: Abdichtungsschema des Schachts

6 Auffahren und Ausbau der Füllörter und Dosierkammern

Die Füllörter und Ladetaschen wurden ebenfalls ohne Bohrsprenngarbeiten aufgefahren und ausgebaut. Zur Auffahrung der Füllörter wurde eine Teilschnittmaschine eingesetzt, das ermöglichte das genaue Erreichen der vorgegebenen Kontur der Grubenräume und schonte gleichsam das umgebende Gebirge durch die fehlenden Erschütterungen. Die Füllörter und Ladetaschen wurden mit 500 – 750 mm starken Stahlbeton ausgebaut. Als Schalung beim Ausbau der Füllörter wurden individuell hergestellte Bogenausbauprofile eingesetzt; für die Ladetaschen wurde die Sektionsbretterschalung zur gleichzeitigen Betonage des Schachtes und der Kammern von unten nach oben verwendet.

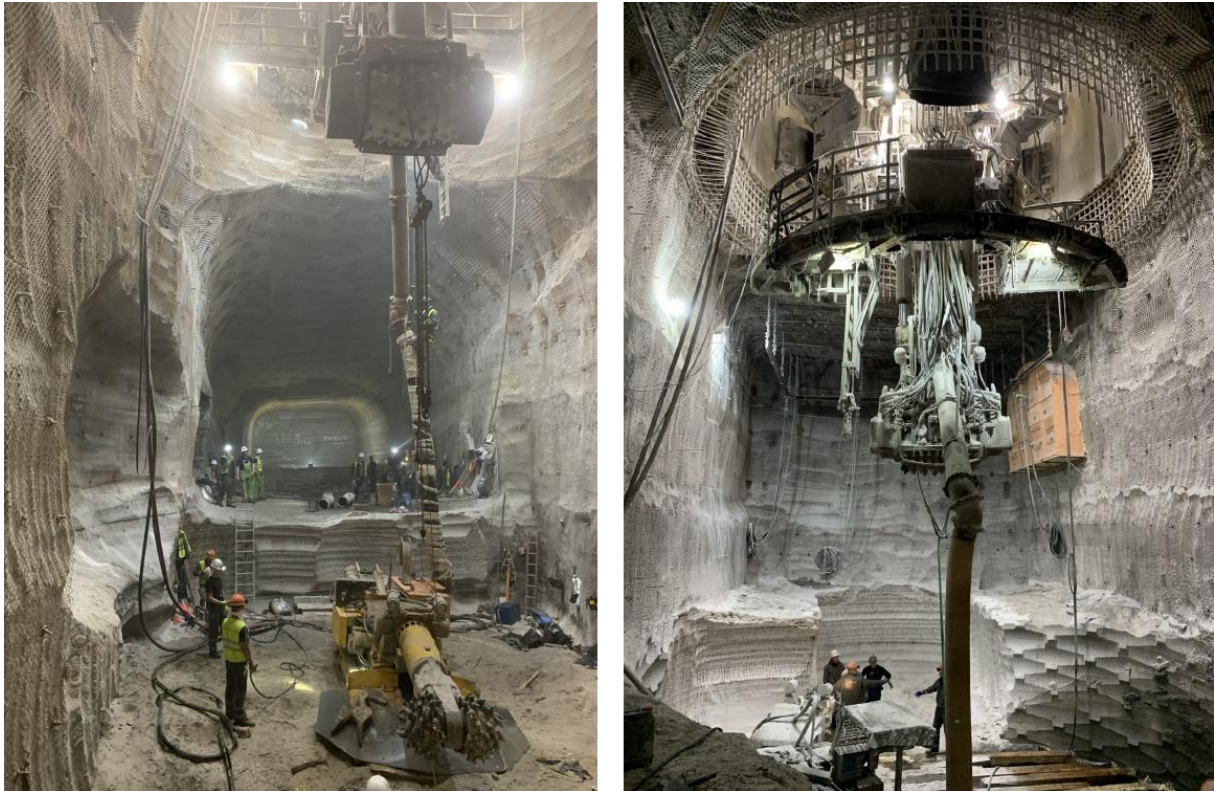


Abbildung 14: Auffahren der Füllörter (links) und Ladetaschen (rechts)

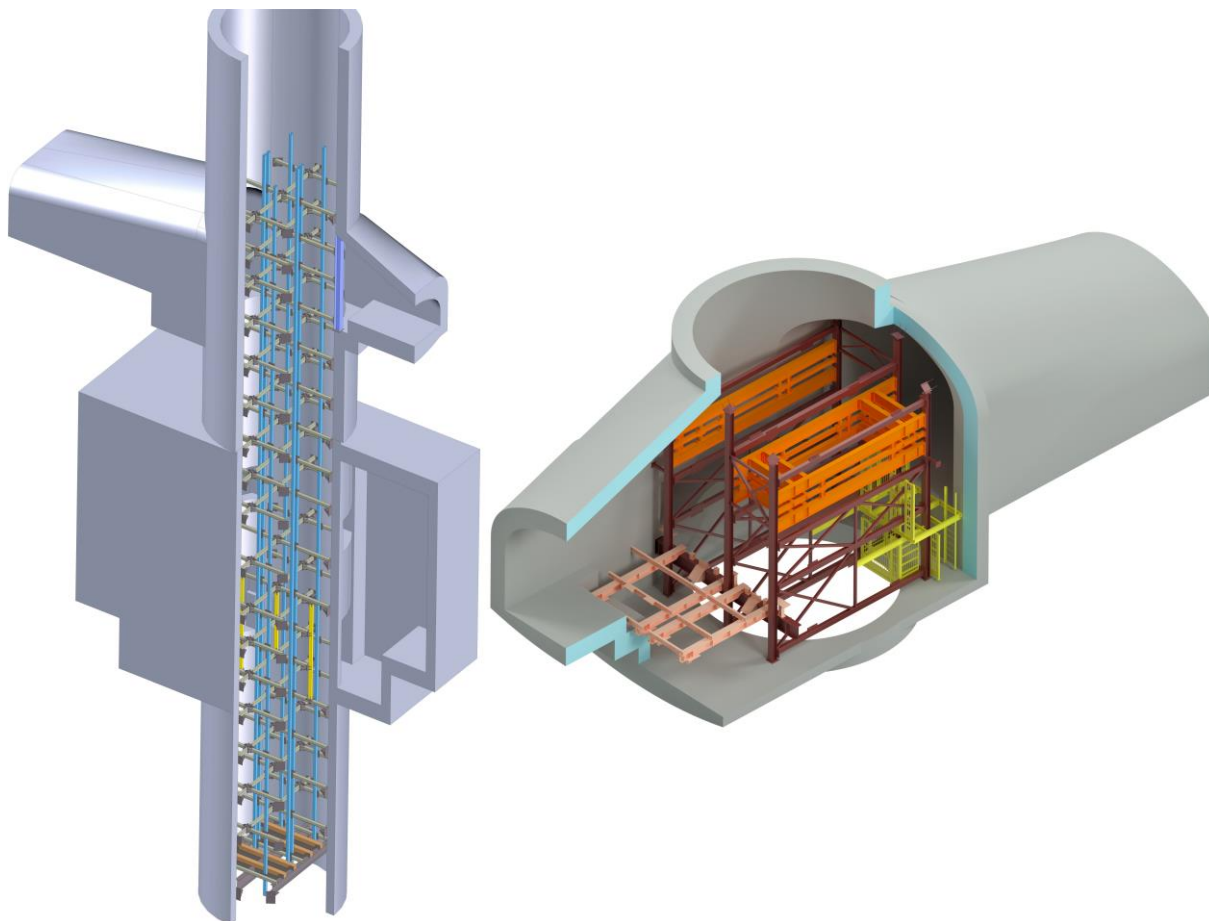


Abbildung 15: Schachteinbauten-Modelle, links – Skipschacht im Bereich der Ladetaschen und des Füllortes; rechts – Schachtstuhl des Füllortes Großkorbschacht

7 Schachteinbauten

Der Skip- und Großkorbschacht werden mit konventionellem Fördersystem unter Einsatz der Skips und Förderkörbe versehen und entsprechend Schachteinbauten mit Spurlatten eingebaut. Der Großkorbschacht wird mit dem Konsolensystem, der Skipschacht mit dem Einstrichsystem ausgerüstet. (Abbildung 16).

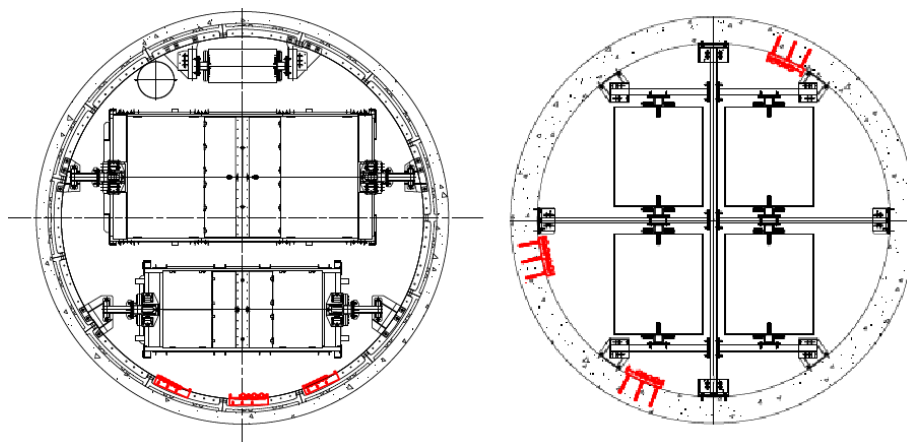


Abbildung 16: Anordnungspläne der Förderkörbe und Schachteinbauten (links Großkorbschacht, rechts Skipschacht)

Die Stahlkonstruktionen werden von unten nach oben mittels der speziellen Bühnen mit mehreren Decks ca. 40 m hoch montiert, dadurch lässt sich die notwendige zusätzliche Umrüstung des Fördergerüsts vermeiden und die Schachteinbautenmontage beschleunigen (Schema der Schachteinbautenbühne ist auf der Abbildung 17 dargestellt).

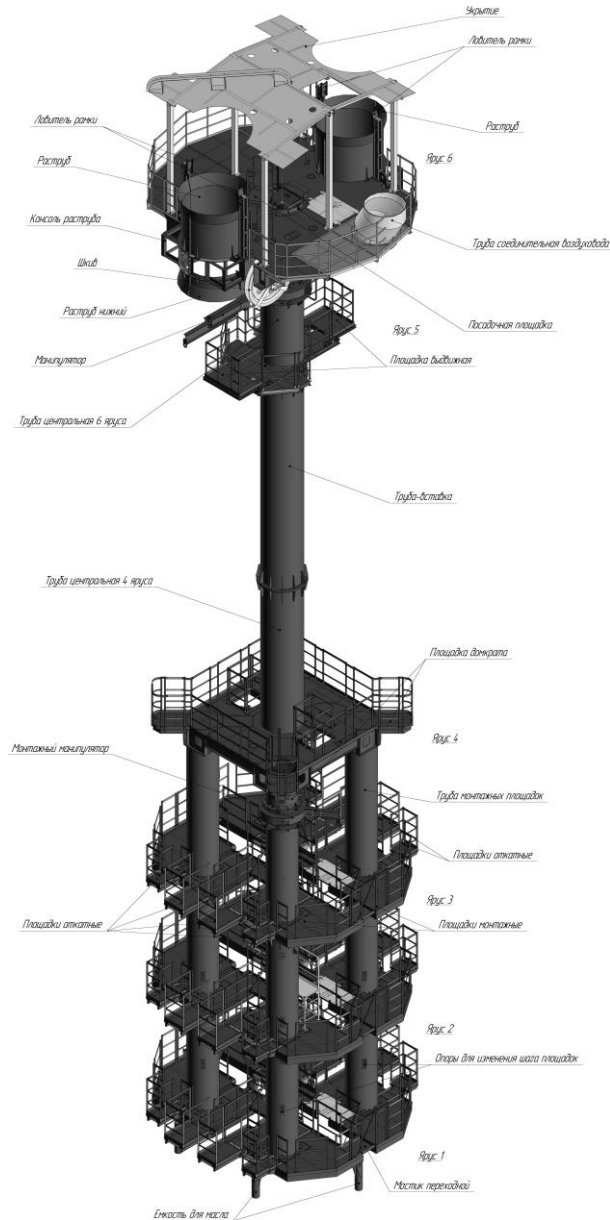


Abbildung 17: Schema der Schachteinbautenbühne

8 Arbeitsablauf und Zeitpläne

Im Oktober 2017 wurde mit der Montage der Gefrierhalle und im Februar 2018 mit dem aktiven Gefrieren begonnen. Im April 2018 wurde der Vortrieb der Vorschächte parallel mit der Ausrüstung der Übertage-Einrichtung aufgenommen. Zu dieser Zeit wurde in Deutschland die Herstellung der SBR abgeschlossen. Anschließend erfolgten der Vortrieb der Vorschächte, die Montage der Fördergerüste und der beiden SBR.

Im Dezember 2018 wurde das Abteufen des Großkorbschachtes und ein Monat später das Abteufen des Skipschachts aufgenommen. Stand November 2020 ist das Abteufen und der Ausbau des Großkorbschachts vollständig fertiggestellt, inklusive Ausbau der Füllörter mit Stahlbeton, 8 und 13 m vom Schachtrand entfernt. Dabei ist am Skipschacht das Abteufen und der Ausbau des Hauptschachtbereichs fertiggestellt, inklusive des Füllortes und der Ladetaschen, Abschlussarbeiten zum Abteufen und Ausbau des Schachtsumpfes werden ausgeführt. Der Arbeitsablauf und der Übersichtszeitplan sind auf den Abbildung 18 und Abbildung 19 dargestellt.

Развитие площадки



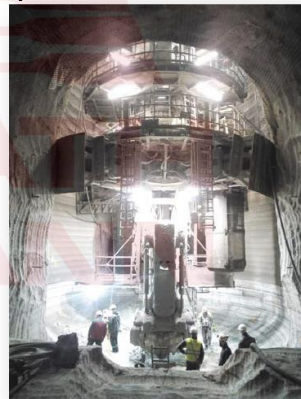
Май 2018 Проходка обоих техотходов



Декабрь 2018 SBR 1 введен в эксплуатацию



Октябрь 2019
320м стволы пройдены/тубинги смонтированы/ гидроизоляция



Май 2020
Вскрыт второй калийный горизонт и проходка ствола закончена

- 11 -

Abbildung 18: Ausführung der Arbeiten

Nach der Fertigstellung der gesamten Teufarbeiten werden die Schachteinbauten montiert und die Schächte mit den Fördermaschinen für den endgültigen Betrieb umgerüstet. Anschließend ist die Teufausrüstung für die Untertagearbeiten einzufördern und die Grubenbaue des schachtnahen Bereichs und des Schachtbunkers sind aufzufahren. Es ist geplant das gesamte Arbeitsvolumen im dritten Jahresviertel 2022 fertigzustellen.

Es sei zu betonen, dass die durchschnittliche Teufleistung der Schächte ca. 3 m/Tag betrug, die maximale Teufleistung betrug bis zu 7,5 m/Tag. Im April 2020 wurde die Höchstleistung beim Teufen und Ausbau von 144 m/Mon. erreicht. Nähere Informationen über die erzielten Teufleistungen im April 2020 und die Tagesleistung der Komplexe ist in der Abbildung 20 dargestellt.

ГРАФИК РАБОТ

Вид работы	Год	1	2	3	4	5
1. Подготовительные работы / замораживание / оборудование поверхности						
2. Проходка техотхода, клетового ствола до отм. -697,100 м и его сопряжений						
3. Проходка техотхода, скипового ствола до отм. -725,000 м и его сопряжений						
4. Армирование стволов						
5. околоствольный двор / загрузочный комплекс						

Abbildung 19: Übersichtszeitplan der Bauausführung beim Schachtabteufen und Auffahren der schachtnahen Grubenbaue

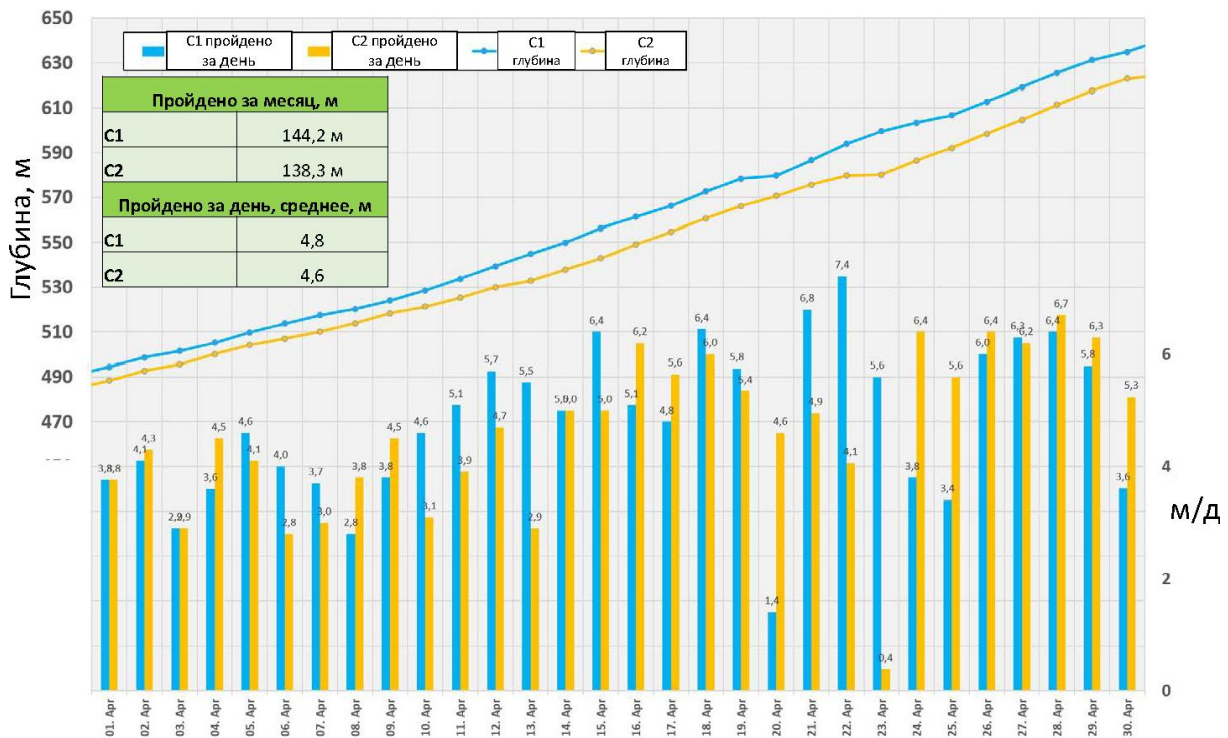


Abbildung 20: Höchstleistungen beim Schachtabteufen im April 2020 (144 m/ Mon. – Schacht 1, 138 m/ Mon. – Schacht 2)

9 Zusammenfassung und wirtschaftlicher Effekt des beschleunigten Schachtabteufens

Die Sicherheit der Arbeitsausführung ist die Priorität bei der Durchführung aller technischen Ingenieurösungen für die Organisation der Bergbauarbeiten. Das mechanisierte Abteufverfahren ermöglicht den Betrieb der Vortriebsmaschinen ohne Aufenthalt der Menschen auf der Schachtsohle – die Maschine wird vom Bedienungsraum aus ferngesteuert. Folglich wird das Einsturz-Risiko oder ähnliche Situationen für Mitarbeiter minimiert. Keine Bohrsprengarbeiten, die immer mit einem bestimmten Risiko verbunden sind, verbessern die gesamte Arbeitssicherheit.

Beim Abteufen der Schächte auf dem Nezhinsky Revier in RB wurde beim Einsatz der SBR eine Leistung erreicht, die einen wesentlichen technologischen Fortschritt bedeutet. Die meisten Lösungen sind innovativ, weil das Schachtabteufen unter Einsatz dieser Ausrüstung einen hochtechnologischen Vorgang darstellt. Die Arbeitsverfahren unter Einsatz neuer Verfahrenstechniken und Materialkonstruktionen des Ausbaus von Schächten und Grubenbauen werden weiter verbessert. Insbesondere für Salz- und Kalibergwerke ist es notwendig das Aufbauverfahren des absolut wasserdichten Ausbaus einzusetzen, was unter Anderem die Reduzierung der Baufristen und der Betriebskosten ermöglicht.

Das Teuf- sowie Ausbaurverfahren der Schächte und Untertagebaue fordert eine ständige Verbesserung und neue effektive Lösungen. Die unter so zu sagen komfortablen Verhältnissen lagernden Vorräte werden immer geringer, meistens muss man anstatt des Tagebaus den Untertagebau einsetzen. Und die Ressourcenbenutzer stehen vor schwierigeren Aufgabenstellungen, das Abteufen der tieferen Schächte unter komplizierten geologischen Verhältnissen ist notwendig. Die Aufgabe wird dadurch erschwert, dass unter Beachtung der Marktsituation die Schächte beschleunigt geteuft werden müssen. In Annahme dieser Herausforderung beschäftigen sich die Ingenieure und Wissenschaftler mit neuen Entwicklungen, um die Aufgabenstellungen der Ressourcennutzung am effektivsten zu lösen. Derzeit wird bspw. ein grundsätzlich neues Verfahren des mechanisierten Schachtabteufens entwickelt, was eine Maschine der neuen Generation für mechanisiertes Abteufen des vollständigen Schachtquerschnittes darstellt. Mit deren Hilfe kann das maschinelle Teufen mit hohen Teufleistungen auch in geologischen Schichten mit hoher Festigkeit umgesetzt werden.

Das Schachtabteufen ist eine der längsten und aufwändigsten Bauphasen, die auf dem kritischen Weg der Inbetriebnahme eines oder anderes Kombinats liegt. Folglich ermöglichen hohe Teufleistungen bei angemessener Vorbereitung der Übertageeinrichtung – Bau des übertägigen Aufbereitungs- oder Infrastrukturkomplexes – den schnelleren Eintritt der Endprodukte in den Markt. Eine vorzeitige Inbetriebnahme des Bergwerks lässt riesige Beträge dank der Reduzierung der Anleihemittel und Kosten der allgemeinen Bauarbeiten, der beschleunigten Rücklaufzeit der Investitionen und dem früheren Markteintritt sparen.

Dzianis Iholka

infogermany@redpathmining.com

Deilmann-Haniel GmbH

Haustenbecke 1

44319 Dortmund

Mechanische Verfahren zum Gesteinslösen versus Gesteinslösen mit Bohr- und Sprengtechnik

Karl-Heinz Wennmohs
M & R Consulting

Lösen von Gestein durch Muskelkraft mit Schlägel und Eisen war über einen sehr langen Zeitraum bis zur ersten Sprengung die einzige Möglichkeit untertägige Hohlräume für verschiedene Zwecke zu erstellen und auch um Bodenschätze zu gewinnen.

Mit der Härte des Gesteins sank die Löseleistung pro Mann und Schicht. Im Streckenvortrieb wurde unter diesen erschwerten Bedingungen zunächst ein Minimal-Querschnitt gewählt, der nach der späteren geplanten Verwendung erweitert werden konnte.

Mit Hilfe des Feuersetzens konnten auch härtere Formationen für das manuelle Lösen mit Schlägel und Eisen vorbereitet werden. Erst mit Einführung der Bohr- und Sprengtechnik wurden auch die harten Gebirgsformationen für das Lösen und für die Vortriebsarbeit beherrschbar. Zeitaufwendig war, bis zur Einführung der maschinellen Bohrtechnik und der Verwendung von Hartmetall an den Bohrkronen, die manuelle Bohrarbeit.

Unsere Vorfahren erkannten, dass es eine wesentliche Arbeitserleichterung ist, wenn man wie man sprichwörtlich sagte „hinter den Stein“ gelangen konnte. Mit anderen Worten: Gestein, Erz, Kohle usw. lassen sich wesentlich einfacher aus dem Verband lösen, wenn man es statt auf Druck auf Zug belastet.

Die Kombination aus Druckfestigkeit des Gesteins und Anteil an schleißscharfen Mineralen stellt auch bei den heutigen Tunnelvortriebsmaschinen sehr hohe Anforderungen an die Standzeiten der Werkzeuge und Ladeeinrichtungen, gleichzeitig sinkt die Vortriebsgeschwindigkeit, da die Werkzeuge (Rundschaft und Rollenmeißel) nur eine geringe Eindringtiefe und eine wesentlich kürzere Standzeit haben.

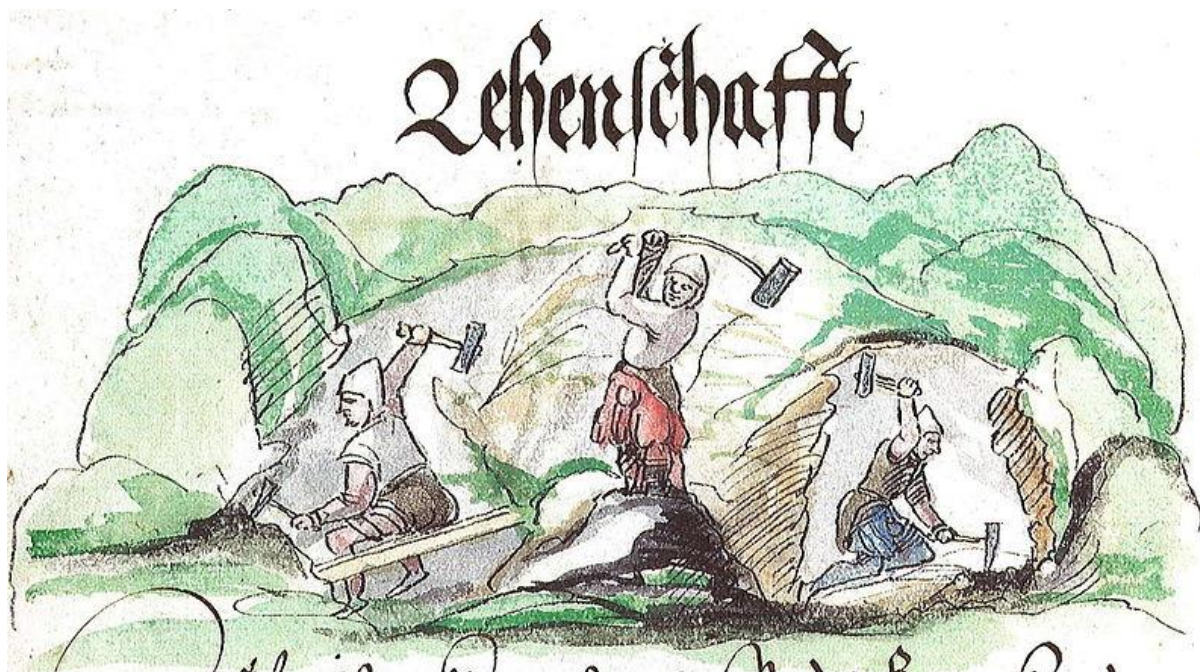


Abbildung 1: Gestein/Erz lösen mit Schlägel & Eisen (Bartels, Bingener, Slotta (Herausgeber): "1556 Perkwerch etc.". Das Schwazer Bergbuch, Bochum 2006)

1 Mechanisches Gesteinslösen

Das mechanische Gesteinslösen begann mit Schlägel und Eisen. Bei dieser Technik wurde zunächst eine Nut in das Gestein geschlagen genauer gefräst. Je nach Härte und Sprödigkeit des Gesteins (Minerals) wurden diese Nuten in Abständen nebeneinander geschlagen. Diese Technik wurde im Zeitalter von Vortriebs- und Gewinnungsmaschinen verfeinert. Der Abstand dieser sogenannten Fräsnuten wird bei den Tunnelvortriebsmaschinen „Spacing“ genannt.

Auch das Lösen von Gestein mit Teilschnittmaschinensystemen basiert auf diese Grundtechniken. Die verwendeten Rundschaftmeißel mit Hartmetallspitze, sogenannte „Picks“, ritzen das Gebirge und erzeugen „Frässpuren“.



Abbildung 2: Frässpuren in einem sehr alten Grubenbau (Von Markscheider, CC BY-SA 3.0 de)

Eine weitere Technologie im Arbeitssegment Teilschnittmaschinen hat sich in den vergangenen Jahren im Markt etabliert. Bei dieser Technik werden Rollenmeißel eingesetzt. Diese Lösesysteme werden derzeit im Strecken und Tunnelvortrieb und beim Abteufen von Schächten erprobt.



Abbildung 3: Teilschnittmaschine mit Rollenmeißel (Epiroc)

Alle diese Techniken aus Teilschnitt- und Vollschnittmaschinen wirken gegen die Druckfestigkeit des anstehenden Gesteins. Unter diesen Bedingungen und durch die Erweiterung der Einsatzbereiche in sehr harte Gesteinsformationen, ist es verständlich, dass die Dimensionierung der Rollenmeißel im Durchmesser immer größer wurde, und bei den Hartgestein-Tunnelvortriebsmaschinen mittlerweile bei 19 - 20“ beträgt. Diese Werkzeuge (Rollenmeißel) haben Gewichte bis ca. 200 kg und können Lagerbelastungen (Andruckkräfte) bis 35 t übernehmen.

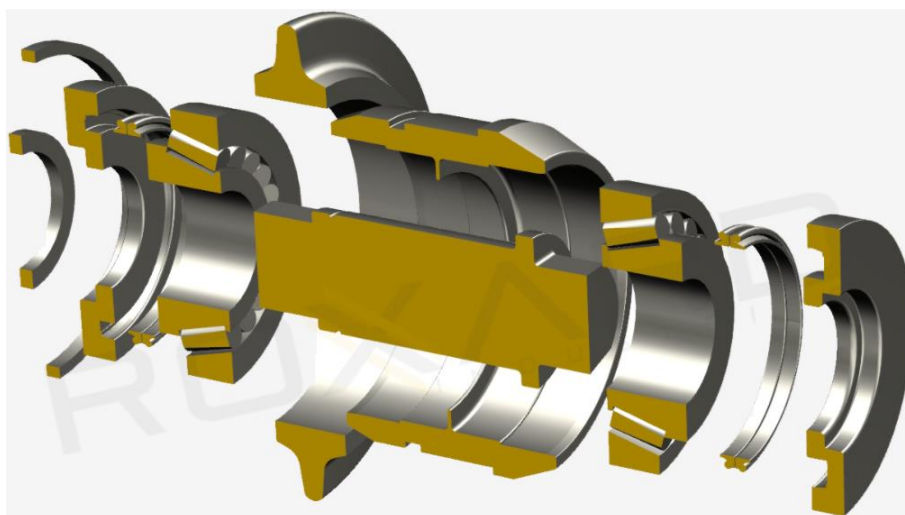


Abbildung 4: Rollenmeißel für den TBM Einsatz (Roxard Industries)

Die Anforderungen bei den Werkzeugen für das „Raiseboring-Verfahren“ sind anwendungsbezogen höher, da ein Werkzeugwechsel während eines Bohrvorganges nicht möglich ist, müssen die Rollenmeißel mit Hartmetallstiften entsprechend dimensioniert sein. So können Rollenmeißel für diese Anwendung bei einem Durchmesser von 17 ½“ mit maximalen Lagerbelastungen bis 70 t genutzt werden.

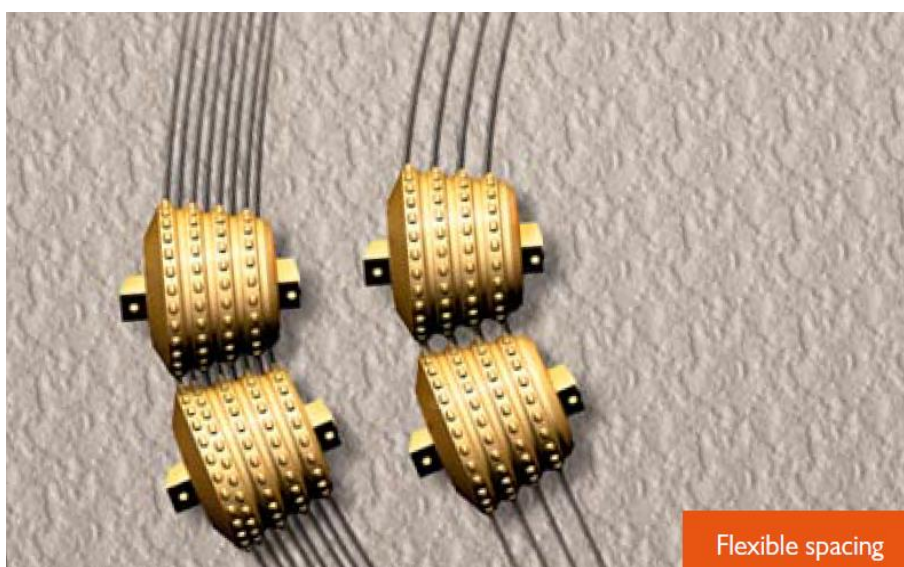


Abbildung 5: Rollenmeißel für das Raiseboring Verfahren (Sandvik Mining & Rock Technology)

In den 60er Jahren wurden erste Forschungen mit Schneidköpfen begonnen, mit dem Ziel, „hinter den Stein zu kommen“. Der Begriff Hinterschneidtechnik war geboren. Die ersten Erfolge mit dieser Technik gelangen mit der Habegger / Wohlmeyer Maschine aus der Schweiz.

In den 90er Jahren wurde die Hinterschneidtechnik durch Versuche der Firma Wirth mit Rollenmeißel wieder aktuell. Es wurden einige Maschinen mit beweglichen Auslegern für nicht kreisförmige Querschnitte gebaut und getestet.



Abbildung 6: Hinterschneidtechnik mit Rollenmeißel (Wirth)

2 Mechanisches Lösen – Bohren und Sprengen

Zahlreiche Thesen über Vergleiche und Bewertungen dieser Lösetechniken wurden in den vergangenen Jahren veröffentlicht.

„Bohren und Sprengen ist systembedingt von Natur aus gefährlicher.“

Mit einer derartigen Aussage wird pauschal behauptet, dass von Industriesprengstoffen, wir sprechen hier von zugelassenen Sprengmitteln, eine Gefahr ausgeht. Es muss an dieser Stelle nicht betont werden, dass die Anzahl der Unfälle in Verbindung mit Sprengarbeiten sehr gering ist. Dazu tragen Schulungen der verantwortlichen Personen und hohe Sicherheitsstandards bei den Sprengmitteln bei. Niemand würde einen Abschlag zünden, wenn er vor Ort stehen würde.

Die Bohr- und Sprengtechnik kann sich in sehr harten und abrasiven geologischen Formationen durch einen größeren Bohrlochaufwand und den damit verbundenen erhöhten Sprengstoffeinsatz behaupten. Der Verschleiß an Bohrwerkzeugen steigt und die Bohrgeschwindigkeit wird etwas geringer. Der Kostenaufwand steigt zwar, ist aber immer im Vergleich zur mechanischen Gewinnungswettbewerbsfähig. Der technische Stand der Vortriebs- und Gewinnungsbohrgeräte ermöglicht hohe Bohrleistungen auch in härtesten Gesteinen. Die Kombination mit modernen pumpbaren Sprengstoffen unterstreicht die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit dieser Lösetechnik. Bei der Anwendung dieser Technik kann niemand von einem systembedingten Gefahrenpotential sprechen.

3 Kontinuierlicher Betrieb

Der kontinuierliche Betrieb, besonders hervorgehoben aus dem Umfeld der mechanischen Lösetechnik und im Besonderen bei den Tunnelvortriebsmaschinen spielt mittlerweile eine zentrale Rolle in der Presse, wenn es um die Bewertung von Löse- und Vortriebstechniken geht.

Es ist verfahrensbedingt vorgegeben, dass bei einem Vortrieb mit Bohr- und Sprengtechnik während der Arbeit mit Sprengstoffen nur ein eingeschränkter Betrieb für Tätigkeiten vor Ort oder bei nachgeschalteten Arbeiten möglich ist und dass nach dem Abtun der Sprengung eine Wartezeit von ca. 30 min den Vortrieb unterbricht.

Analysiert man den mechanischen Vortrieb auf den herausgestellten kontinuierlichen Betrieb, bleibt von der möglichen 100 % Laufzeit des Maschinensystems (Schneidzeit) nur ein wesentlich kleinerer Anteil übrig. Dieser Anteil kann bei 50 % und weniger der theoretischen Schneidzeit liegen. Diese Stillstände werden durch hohen Verschleiß an den Schneidwerkzeugen und Ladeeinrichtungen häufig verursacht. Das tritt besonders bei zunehmender Gesteinsfestigkeit und einem höheren Anteil an abrasiven Mineralen auf.

Alle diese Faktoren unterstreichen, dass ein mechanischer Vortrieb bezogen auf einen kontinuierlichen Vortrieb keine Unterschiede zum Bohr- und Sprengvortrieb aufweist.

4 Mechanische Lösetechniken sind schneller im Vortrieb

Wenn in der Presse über mechanische Vortriebe, speziell Tunnelbohrmaschinen, berichtet wird, werden Vortriebsleistungen genannt. Dabei werden die erreichten Spitzenwerte pro Tag, pro Woche und pro Monat besonders herausgestellt. Einen direkten Vergleich zwischen den Lösesystemen kann man nicht vornehmen, da es immer Unterschiede in der Geologie gibt. Jedoch kann festgestellt werden, dass die durchschnittlichen Auffahrleistungen von beiden Systemen über die Projektzeit nur geringfügig differieren.

5 Kostenvorteile für das eine oder andere Verfahren

Ein neutraler Kostenvergleich kann nicht gemacht werden, da die Voraussetzungen beim Einsatz der beiden Lösesysteme immer Unterschiede aufweisen. Es ist bekannt, dass für eine Tunnelbohrmaschine erhebliche Investitionen notwendig sind. Eine Mehrfachnutzung einer TBM für weitere Projekte ohne Erneuerung von Schlüsselbauteilen ist selten.

Die Ausrüstung für einen konventionellen Vortrieb erfordert nur einen Bruchteil gegenüber der Maschineninvestition. Alle eingesetzten Maschinen können für weitere Vortriebe eingeplant werden. Bei neuen Projekten wird zunehmend, wenn die Möglichkeit besteht, die Auffahrung von mehreren Angriffspunkten aus vorzunehmen, als Alternative für einen Kosten- und Leistungsvergleich untersucht.

6 Qualität des Arbeitsplatzes

Ein Hauptargument bezieht sich auf die Arbeitsbedingungen. In einigen Ländern wird es immer problematischer Arbeiter, speziell junge Leute, für diese Tätigkeiten zu finden. Natürlich ist ein Arbeitsplatz in einem Steuerstand sehr attraktiv für Berufseinsteiger. Auch ist der Faktor Sicherheit ein wichtiger Punkt, da in mechanischen Vortrieben mit geschlossenen TBM-Systemen (Schildbauweise) im normalen Betrieb nur das geförderte Haufwerk als Gestein wahrgenommen wird. Bei offenen Tunnelbohrmaschinen und Teilschnittmaschinen ist der Unterschied zu einem konventionellen Vortrieb mit Bohren und Sprengen nicht sehr groß.

Kommt es zu Maschinenstörungen werden die Arbeitsbedingungen anspruchsvoller und es werden spezielle Anforderungen an die ausführenden Mitarbeiter gestellt. Dazu gehört auch das Freilegen einer feststehenden TBM.



Abbildung 7: Kontrolle und Wechsel der Rollenmeißel (Robbins)

7 Fazit

Jedes Gestein ist mechanisch lösbar. Ich möchte den Begriff „schneidbar“ in diesem Kontext bewusst vermeiden. Die Einsatzgrenzen werden durch mögliche Kosten oder durch andere Vorgaben gesetzt. Beide Lösetechniken haben Stärken und Schwachpunkte, die von den Anwendern abgewogen werden sollten, ehe eine Entscheidung für ein Verfahren gefällt wird. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass im Vortrieb von Strecken und Tunnelprojekten mit steigender Gesteinsfestigkeit die Vorteile eines Bohr- und Sprengvortriebes steigen. Auch bei druckhaften Formationen und bei der Gefahr von Gebirgsschlägen sind Vorteile für einen konventionellen Vortrieb mit Bohren und Sprengen deutlich. Das mit dieser Technik erzeugte Profil der Strecken und Tunnel wird häufig als Kostenverursacher dieser Technik dargestellt. Das trifft zu, wenn zweischalige Bauweisen erforderlich sind. Bei einer einschaligen Bauweise mit Spritzbeton und Anker im Hartgestein, kommt es nicht auf die Profilgenauigkeit an. Die Bohr- und Sprengtechnik hat hier erhebliche Vorteile.

Bei Projekten mit wechselnden Geologien und nicht standfester Ortsbrust, liegen mechanische Vortriebe im Trend des Marktes. Auch die Kombination mit Einbau von Tübbing während des Vortriebes ist ein wesentliches Merkmal dieser modernen Tunnelbauweise.

Sprengstoffhersteller haben sich in den vergangenen Jahren wenig um den wachsenden Markt der mechanischen Gewinnung gekümmert. Öffentlichkeitsarbeit, neue Sprengstoffe und detaillierte Informationen genügen nicht.

Eine interessante Entwicklung wurde von den Firmen Epiroc und Orica gemeldet. Diese Idee kann eine Bewegung in einem entwicklungstechnisch „eingefrorenen Markt“ auslösen.



Abbildung 8: Automatisieren der Sprengarbeit (Epiroc - Orica)

Es wird auch in der Zukunft einen Markt für beide Lösetechniken geben. Bergbau betreiben bedeutet nicht nur Strecken und Schächte aufzufahren, der wirtschaftliche Abbau von Gesteinen/Erzen ist die wirkliche Aufgabe und das Ziel.

Karl-Heinz Wennmohs
khw-wit@t-online.de

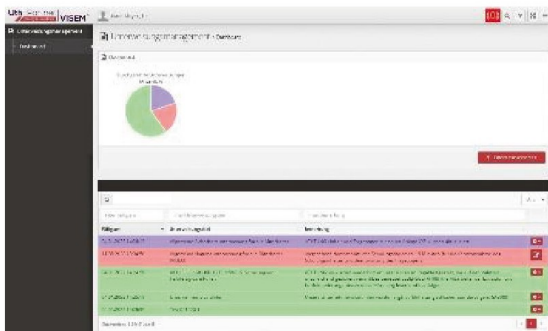
M & R Consulting
Wilhelmshöhe 34c
58454 Witten



VISEM®

DIE webbasierte eLearning-Plattform.

- ✓ Speziell entwickelt für Arbeitsschutz- und andere sicherheitsrelevante Unterweisungen
- ✓ Mitarbeiter, Besucher und Fremdfirmen unterweisen
- ✓ Erfolgreich auditiert durch Behörden und Zertifizierungen
- ✓ Unterweisungen unabhängig von Zeit und Ort durchführen – optional auch anlassbezogene Präsenzveranstaltungen
- ✓ Vielfältige Interaktions- und Controllingfunktionen
- ✓ **MEHR Effizienz, Nachhaltigkeit und Rechtssicherheit durch lückenlose Dokumentation**



Achten Sie auf
unser Video in den
Vortragspausen!

Die Grenzen des mechanischen Abbaus und Vortriebs im Bergbau 2020

Prof. Dr. Nikolaus A. Sifferlinger
Montanuniversität Leoben

1 Einleitung

Während die Sprengtechnik zur Gewinnung großer Tonnagen im Erzbergbau optimal genutzt werden kann, hat sie im Vortrieb in den zunehmenden Teufen des Untertagebergbaus Nachteile, welche die Geschwindigkeit des Vortriebes limitieren.

Bedingt durch die Notwendigkeit die giftigen Sprenggase mit der Ventilation abzuführen, können Sprengungen nur durchgeführt werden, wenn der betroffene Bereich evakuiert ist. In größeren Bergwerken ist das meist nur zu Schichtwechsel praktikabel und das limitiert die Vortriebsgeschwindigkeiten. Auch wird beim Sprengvortrieb das Gebirge mehr geschädigt als im mechanischen Vortrieb.

Allerdings gibt es derzeit noch Grenzen für den mechanischen Vortrieb im Hartgestein. Daher ist für den Bereich des mechanischen Vortriebs in den letzten Jahren sehr viel Forschung und Entwicklung im Gange [1], [2] und dieser Artikel bringt kurz den Stand der mechanischen Lösetechnik im Jahre 2020.

2 Mechanische Gewinnung

2.1 Kohle

In der Kohle hat die mechanische Gewinnung den Sprengbetrieb ersetzt. Die Auffahrung der Strecken oder die Gewinnung im Room-and-Pillar Mining erfolgt durch Teilschnittmaschinen oder Continuous Miner. Auch Bolter Miner kommen zum Einsatz, welche die Funktion des Schneidens, Förderns und Ankersetzens in sich vereinen. Als Schneidwerkzeuge dienen hauptsächlich Rundschaftmeißel, welche den Anforderungen in der Kohle und bei Bedarf auch im Nebengestein gut entsprechen.

Die modernsten Longwall Mining Systeme im Kohlenbergbau laufen in guten Bedingungen bis zu 98 % im Automatik-Betrieb, überwacht aus der Leitzentrale. Ein Walzenschrämlader der Type CAT EL 3000 kann bis zu 5000 t Kohle pro Stunde gewinnen [3].

2.2 Salz

Wenn Salz nicht als Sole gewonnen wird, geht der Trend weg vom Bohren und Sprengen zur mechanischen Gewinnung. Damit werden Verunreinigungen durch den Sprengstoff und die Zündeinrichtungen vermieden und die Schädigung des umliegenden Gebirges reduziert.

So hat das deutsche Salzbergwerk Heilbronn seit 2006 die Gewinnung auf Continuous Miner umgestellt, auch um die Sprengerschütterungen unter der Stadt zu vermeiden. Die großen Continuous Miner vom Typ Sandvik MB770 sind in der Lage im Schnitt 100.000 t Steinsalz pro Monat abzubauen [4]. Dabei ist es wichtig die Schneidtrommel und den Schneidvorgang so zu optimieren, dass möglichst wenig zu feines Salz gewonnen wird.

Kritisch für die schneidende Gewinnung von Salz sind Einlagerungen von Anhydrit, der durchaus einaxiale Druckfestigkeiten von 100 MPa UCS (Uniaxial Compressive Strength) erreichen kann. Dies ist zwar für die schneidende Gewinnung auch kein Problem. Da aber die Schneidtrommel für Gewinnung des Steinsalz ausgelegt sind, welches üblicherweise einen UCS-Wert von 15 - 30 MPa besitzt, ist der Werkzeugabstand für das Schneiden von Anhydrit auf einer „Salzschneidtrommel“ zu groß und es müssen Schutzvorkehrungen gegen die Beschädigung der Schneidtrommel getroffen werden (Veränderung der Schneidgeschwindigkeiten; zusätzliche Meißel auf der Schneidtrommel).

2.3 Kali

Im mechanischen Kalibergbau kommen neben Continuous Minern auch sogenannte Miner Borer zum Einsatz. Diese besitzen zwei Schneidräder und in der Sohle und in der Firste je eine Schneidtrommel. In guten Bedingungen schneiden diese Miner Borer je nach Baugröße bis zu 7.000 t Kali pro Schicht. Solche Höchstleistungen sind aber nur mit nachgeschalteten kontinuierlichen Fördersystemen erreichbar. Wird diskontinuierlich mit Muldenkippern abgefördert, sinken die möglichen Gewinnungsleistungen wegen der Wartezeiten während der Fahrzeugwechsel.

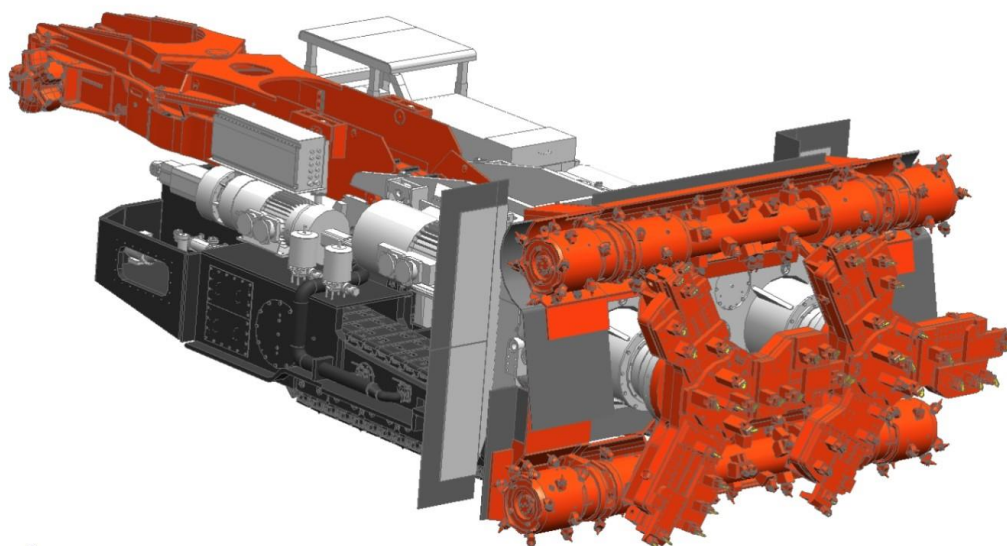


Abbildung 1: Sandvik Miner Borer MF 420 Übersichtsbild. Schneidhöhe 3,6 m, Schneidbreite 5,6 m. Installierte Gesamtleistung 1,1 MW bei einem Gewicht von rund 210 t. Diese Maschine kann in guten Bedingungen bis zu 23 t pro Minute gewinnen (Sandvik)

2.4 Reef-Erze

Die Platingruppenelemente (PGE) bilden eine Gruppe von seltenen und edlen Metallen, zu denen Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium und Platin gehören. Diese treten oft in flachen Lagerstätten, dem sogenannten Reef, gemeinsam mit Chromit und Fe-Ni-Cu-Sulfiden auf. Die UCS-Werte für Platinerze im südafrikanischen UG2-Reef sind mit bis zu 140 MPa schneidbar, aber die hohe Abrasivität nach Cerchar Abrasivity Index (CAI) von 5,4 ist eine große Herausforderung für die mechanische Gewinnung [5].

Bisher erfolgt die Gewinnung im PGE-Reef sehr personalintensiv durch Bohren- und Sprengen, wobei das Reef meist nur eine Abbauhöhe von 1 - 1,7 m ermöglicht.

2.4.1 Reef Miner

Sandvik hat gemeinsam mit dem Kunden Longmin den Reef Miner MN 220 entwickelt. Die Maschine hat die Aufgabe ferngesteuert eine Länge von 200 m im Reef aufzufahren, bei einer Schneidhöhe von 1,1 m und einer maximalen Schneidbreite von 4,3 m. Zu Beginn der Erprobung gab es Probleme mit der Lebensdauer der Schneidwerkzeuge, welche die Strecke von 200 m ohne Tausch durchhalten müssen. Diese Probleme konnten im Laufe der Erprobungen gelöst werden. Allerdings zeigte sich, dass natürlich diese 32 t schwere Maschine zum Betrieb und Wartung höher qualifiziertes Personal benötigte und das eine Maschine an die 50 Mann im herkömmlichen Bohr- und Sprengbetrieb ersetzen würde. Daher verliefen die weiteren Einsätze sehr schleppend und der Kunde sah von einer Einführung ab.



Abbildung 2: Sandvik Reef Miner MN 220 im Probeinsatz bei Longmin im UG2 Reef (Sandvik)

Anglo American kündigte 2019 den Einsatz eines Reef Miners MN 220 im Rahmen seines FutureSmart Mining Programmes im südafrikanischen Platinbergbaues im Bergwerk Twickenham an. Ziel sind dabei 3,9 m Fortschritt pro Schicht und 1.200 m³ Erz pro Monat. Sandvik gab im November 2020 bekannt, dass gemeinsam mit Anglo Platinum ein neuer Reef Miner MN 330 in Entwicklung sei. Wenn sich die Nomenklatur der Maschinenbezeichnung nicht geändert hat, wäre das ein System für 1,65 m Schneidhöhe.

2.4.2 CAT System

Beim Prototyp des Rock-Straight-System von Cat handelt es sich um ein voll mechanisiertes Strebbausystem zum kontinuierlichen Abbau von flachen und plattenförmigen Hartgestein-Lagerstätten wie Platin oder Kupfer. Es kommt ein Hartgestein-Walzenlader zum Einsatz, der mit der speziell für den Abbau von geschichteten Erz-Lagerstätten entwickelten Aktiv-Unterschrämtechnik von Cat arbeitet. Der Hartgesteins-Walzenlader HRM220 ist laut Hersteller für Gesteinsfestigkeiten bis zu 120 MPa UCS ausgelegt. Ein flacher Außenkettenförderer für Hartgestein und hydraulische Hartgestein-Schildausbauten komplettieren das System, das gleichzeitiges Schneiden, Laden und Abfordern, sowie Gebirgsicherung bietet.

Das Rock-Straight-System soll bei Reefen geringer Mächtigkeit von 1,3 - 2,0 m zum Einsatz kommen. Das System wurde ab 2012 bei KGHM in dem polnischen Kupferbergwerk Polkowice erprobt, ein verbessertes System folgte 2016. Als zukünftige Einsatzgebiete sieht Caterpillar den sambischen Kupfergürtel, die europäischen Kupferschieferlagerstätten und die Bushveld Lagerstätte [6].



Abbildung 3: CAT Rock Straight System Walzenlader HRM220 mit zwei Schneidsystemen mit je 132 kW Antriebsleistung auf der Las Vegas Mining Show 2016 (Sifferlinger)

2.5 Surface Miner

Im Obertagebergbau lassen sich bei entsprechender Lagerstätte Rohstoffe wie Kohle, Gips, Phosphat, Eisenerz, Bauxit oder Kalkstein auch mit Maschinen mit einer Schneidtrommel gewinnen. Die Firma WIRTGEN ist Weltmarktführer in der Herstellung von Surface Minern zur schneidenden Gewinnung im Tagebau. Als Schneidwerkzeuge kommen Rundschachtmeißel zum Einsatz. Der derzeit größte WIRTGEN Surface Miner 4200 SM hat ein Gewicht von 204 t, eine maximale Schneidbreite von 4,2 m und eine maximale Schneidtiefe 0,83 m. Unter optimalen Bedingungen können bis zu 3.000 t Material pro Stunde gewonnen werden. Die Schneidtrommel ist in ihrer Werkzeugbestückung an die Materialparameter angepasst. Es können Gesteine mit einer einaxialen Druckfestigkeit bis zu 80 MPa wirtschaftlich gelöst werden [7].

Auch für den Surface Miner in der derzeitigen Form ist die Verschleißfestigkeit der Schneidmeißel die Begrenzung gegenüber härteren Gesteinen.



Abbildung 4: WIRTGEN Surface Miner schneidet und lädt direkt auf einen Muldenkipper (WIRTGEN)

3 Mechanischer Vortrieb

Für den mechanischen Vortrieb ist das Forschungs- und Entwicklungsziel derzeit ein System zu entwickeln, welches die Flexibilität und Beweglichkeit einer Teilschnittmaschine besitzt und dabei Gesteinsfestigkeiten nach UCS bis 300 MPa lösen kann. Nach Möglichkeit sollte das System auch die Gebirgssicherung nahe der Ortsbrust einbringen können und möglichst automatisch arbeiten.

Dabei gibt es für Gesteinsfestigkeiten von 150 - 300 MPa und Abzweigadien <12 m immer noch eine „Lücke“, für die an alternativen oder hybriden Lösemethoden geforscht wird [1].

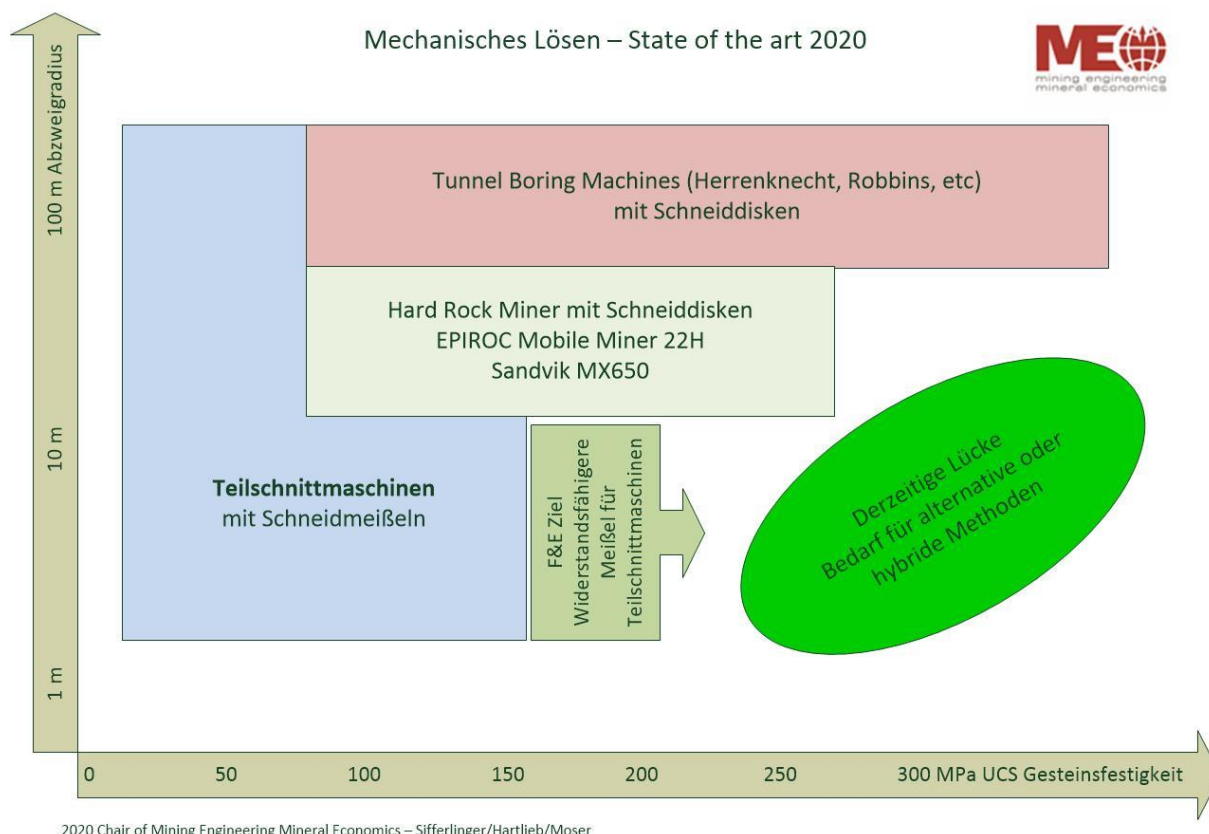


Abbildung 5: Mechanisches Lösen – State of the art 2020. Es fällt auf, dass für hohe Gesteinsfestigkeiten und große Flexibilität in Abzweigadien bis 10 m für mechanisches Lösen derzeit noch eine Lücke herrscht, die es durch Forschung und Entwicklung zu füllen gilt.

3.1 Teilschnittmaschinen

Die Teilschnittmaschine mit ihrem beweglichen Schneidkopf, ihrer Mobilität und der Fähigkeit, das geschnittene Material zu laden und fördern, ist für den Streckenvortrieb, der im Bergbau häufig sehr kleine Abzweiggradien erfordert, sehr gut geeignet. Eine Teilschnittmaschine kann einen 90° Abzweig im Streckenvortrieb schneiden solange die Strecke breit genug ist um der Teilschnittmaschine das Manövrieren zu ermöglichen (etwa 6 – 8 m Streckenbreite).

Die derzeit verfügbaren Schneidmeißel sind jedoch wegen des Verschleißes nicht in der Lage bei hohen Gesteinsfestigkeiten und hoher Abrasivität wirtschaftlich Material zu lösen. Dabei ist auch die Rock Mass Charakteristik wie in Abbildung 6 gezeigt wird von Einfluss. Kompaktes Material ist schwerer zu lösen als vorgeschädigtes Material mit zahlreichen Klüften [8].

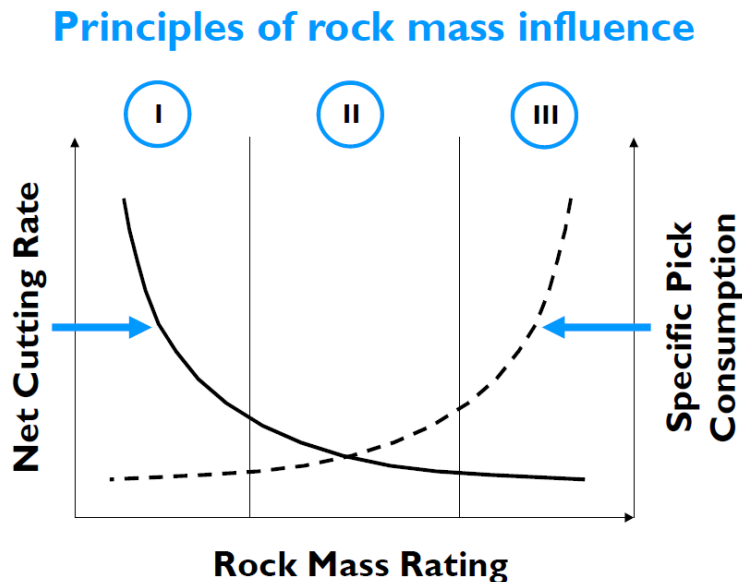


Abbildung 6: Der Einfluss der Rock Mass Charakteristik auf die Net Cutting Rate und auf den Spezifischen Meißelverbrauch von Teilschnittmaschinen (Restner und Gehring 2002)

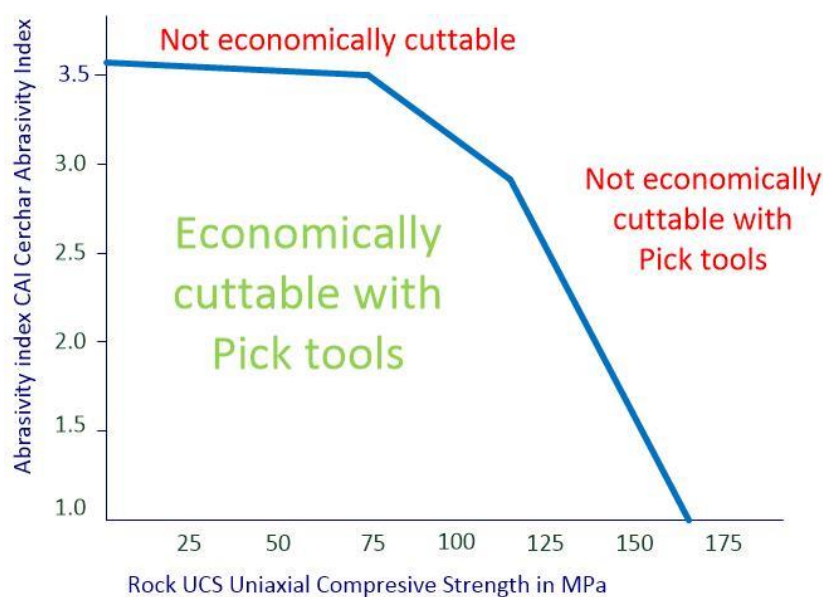


Abbildung 7: Bereich der wirtschaftlichen mechanischen Schneidbarkeit von Gesteinen in Abhängigkeit von der einaxialen Druckfestigkeit und der Abrasivität für die Schneidmeißel von Teilschnittmaschinen. Dabei ist die eingezeichnete Grenze abhängig von den Randbed

3.1.1 Meißelentwicklung für Teilschnittmaschinen

Grundsätzlich wären schwere Teilschnittmaschinen, bei Bedarf auch mit Abstützeinrichtungen gegen die Strecke, in der Lage Gesteinsfestigkeiten nach UCS von bis zu 250 MPa zu lösen. Allerdings sind wie in Abbildung 7 gezeigt die derzeit verfügbaren Schneidmeißel nicht in der Lage dies zu leisten.

Die Schneidmeißel mit Wolframcarbid-Spitzen haben trotz intensiver Forschung und Entwicklung in den letzten 20 Jahren nur eine Verbesserung im einstelligen Prozentbereich erfahren.

Sowohl Kennametal, Sandvik und Element Six haben daher im 21. Jahrhundert massiv in die Entwicklung von Schneidwerkzeugen mit synthetischen polykristallinen Diamanten (PCD) investiert.

Bei den bisherigen Tests haben PCD-Schneidmeißel am Teststand unter stabilen Bedingungen durchaus Gesteine mit einer einaxialen Druckfestigkeit nach UCS von 220 MPa ohne erkennbaren Verschleiß geschnitten. Und dann „zerfallen“ sie plötzlich – der genaue Mechanismus ist noch nicht klar – es scheint das Zug- oder Druckkräfte eine Ursache für diese Unstabilität sein könnten.

Noch ist die Lösung für die Instabilität der PCD-Schneidmeißel in höheren Gesteinsfestigkeiten nicht gefunden. Element Six, deren Technologieteil zu 100 % zur De Beers Gruppe gehört, forscht weiter auf diesem Gebiet [9]. Sowohl Element Six als wie auch Kennametal bieten derzeit PCD-Schneidmeißel für den Einsatz in der Kohle und für Straßenfräsen an.

Erst wenn mit der Weiterentwicklung der Schneidmeißel der Durchbruch zu höherer Verschleißfestigkeit gelingt wird dies den Teilschnittmaschinen neue Einsatzbereiche öffnen. Es ist dies auch die Begründung für die Forschung in alternative oder hybride Lösemethoden, welche in Kapitel 4 kurz angesprochen werden.

3.2 Tunnel Boring Machines (TBM)

Tunnel Boring Maschinen (TBM) können mit ihren kreisrunden Schneidrädern, welche mit Schneiddisken besetzt sind, Gestein mit einer einaxialen Druckfestigkeit bis 300 MPa schneiden [10]. Das wäre für Einsätze im Bergbau fast immer ausreichend.

Da aber mit Schneiddisken für die Penetration in das Gestein eine Andruckkraft von bis zu 320 kN pro Schneidwerkzeug erforderlich ist, müssen TBMs diese Kräfte aufbringen können. Daher haben diese Maschinen Gripper, mit denen sie sich abstützen können [11], [12]. Das bedingt große und schwere Maschinen mit mindestens 225 t Maschinengewicht für zum Beispiel 4,5 m Schneirad-durchmesser.

Bedingt durch das Schneirad können diese TBMs nur kreisrunde Profile schneiden und sind im tieferen Untertagebau in Gefahr durch die Gebirgssetzung eingeklemmt zu werden. Hier ist noch Forschung und Entwicklung im Gange um die Maschinen besser an diese Bedingungen anzupassen.

Der zweite große Nachteil der TBMs für den Vortrieb im Bergbau ist jedoch der große Abzweigeradius von über 60 m für die derzeit verfügbaren Systemen [1], [13].

Im Bergbau ist häufig das Schneiden von 90° Abzweigen und ähnlichen Streckenveränderungen notwendig. Daher soll das mechanische Vortriebssystem in der Lage sein, in der Streckenbreite solche Abzweige aufzufahren.

3.3 Mobile Miner mit Diskenschneidtechnik

Daher die Bemühungen ein Vortriebssystem mit Diskenschneidtechnik und der Flexibilität einer Teilschnittmaschine zu schaffen. Dabei ist zu beachten, dass eine gewisse Mindestanzahl von Disken immer im Schneideingriff sein muss um ökonomisch relevante Materialmengen zu lösen. Systeme, die nur eine Diske besitzen, können zwar lösen, aber die Menge ist für den Vortrieb bisher zu gering.

Systeme wie der Komatsu DynaMiner der mit dem DynaCut System eine aktivierte Schneiddiske zum Einsatz bringt, dürften aus Sicht des Autors in der Löseleistung zu begrenzt sein. Der DynaMiner Prototyp wurde in der australischen Newcrest Cadia East Mine erprobt [14].



Abbildung 8: Der Komatsu DynaMiner mit einer aktivierten Schneiddiske nach dem DynaCut Prinzip (Komatsu Mining)

Der Aker Wirth Mobile Tunnel Miner MTM 6 war mit sechs Schneidarmen mit je einer Schneiddiske ausgerüstet und der Prototyp begann im April 2013 im australischen Bergwerk North Parkes seinen Probeinsatz.

Der Verkauf von Aker Wirth im Jahr 2013 an China Railway Technology Equipment scheint alle Aktivitäten mit dem Mobile Tunnel Miner gestoppt zu haben [1], [15]. Allerdings würde es den Autor nicht überraschen, wenn eines Tages eine chinesische Version des Mobile Tunnel Miner MTM 6 am Markt erscheinen würde.



Abbildung 9: Aker Wirth Mobile Tunnel Miner MTM 6 Prototyp mit sechs Schneidarmen im Jahre 2012 (Aker Wirth)

Es bleibt anzumerken das natürlich auch die Vortriebsleistungen von Maschinen mit Diskenschneidtechnik von der Qualität und Lebensdauer der Disken abhängen. Der Tausch einer Schneiddiske ist wegen Größe und Gewicht eine schwere Arbeit. Auch in die Verbesserung der Schneiddisken geht daher entsprechender Forschungs- und Entwicklungsaufwand.

3.3.1 EPIROC Mobile Miner

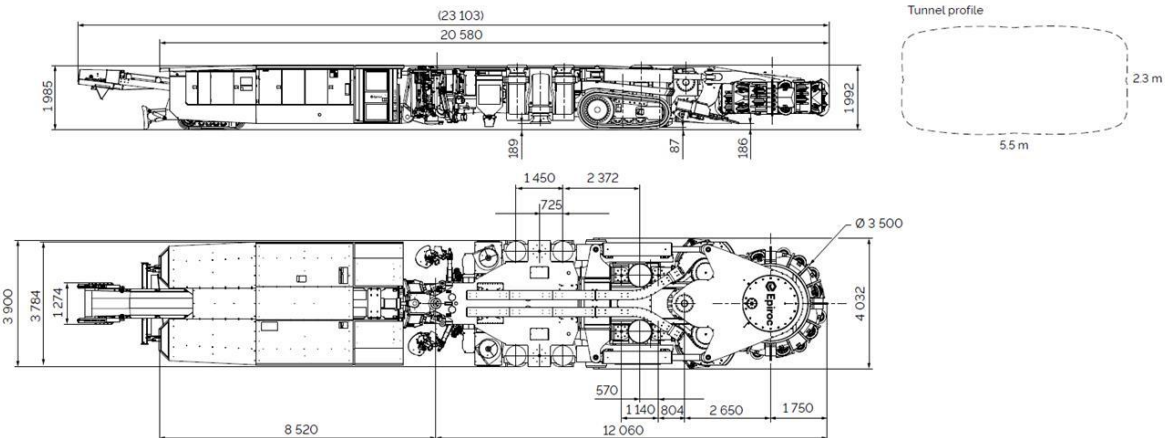


Abbildung 10: EPIROC Mobile Miner 22H und das mögliche minimale Schneidprofil von 5,5 m x 2,3 m (EPIROC)

EPIROC als Teil der Atlas Copco Gruppe beschäftigt sich seit den 1970er Jahren mit dem mechanischen Auffahren von Strecken in Hartgestein. In den 1990er Jahren war Atlas Copco der Eigentümer von Robbins und in Australien wurde der Jarva Robbins Mobile Miner mit einem diskenbestückten Schneidrad in Gesteinsfestigkeiten von 300 MPa UCS zum Einsatz gebracht. Die maximale Vortriebsleistung war 80 m pro Monat. Im Probeinsatz im Bergwerk Mount Isa in Queensland wurden insgesamt 1,1 km aufgefahren, im Bergwerk Pasminco Broken Hill in New South Wales 1,4 km. Der Autor hatte dabei in Broken Hill die Möglichkeit die Maschine im Einsatz zu sehen und hat dabei auch Dick Robbins kennen gelernt. Die Vibrationen auf der Maschine im Schneidbetrieb waren stark, aber erträglich. Ein Problem war die kurze Standzeit der Verschleißteile am Schneidrad und im Fördersystem.

Aufbauend auf diese Erfahrungen hat EPIROC (damals noch Atlas Copco) für Rio Tinto vor 10 Jahren den Mobile Miner 55V entwickelt. In der Bergbaukrise um 2013 hat aber Rio Tinto dann das Interesse verloren und der bezahlte Prototyp ging zunächst auf Lager. Inzwischen ist er im Probeinsatz in einer Atommülllager Testgrube in Schweden.

EPIROC hat bisher drei Typen des Mobile Miners entwickelt:

- Mobile Miner 22H (das H steht für horizontal cutting wheel)
 - Maschinengewicht 200 t
 - Maximales Schneidprofil 3 m Höhe x 5,7 m Breite
 - Schneidrad mit 3,5 m Durchmesser und 32 Schneiddisken und einer maximalen Andruckkraft von 1800 kN
 - Minimaler Abzweigradius 25 m
 - Vortriebsleistungen in Abhängigkeit vom Gestein 10 – 12 m pro Tag

Diese Maschine wurde 2016 in Südafrika im Bergwerk Twickenham von Anglo American zum Einsatz gebracht.

- Mobile Miner 40V
 - Schneidprofil 4 m Höhe x 4 m Breite

Erwartete Vortriebsleistungen in Abhängigkeit vom Gestein 10 – 15 m pro Tag

Diese Maschine wurde im August 2019 zum Probeinsatz in das EPIROC Testbergwerk in Kvarntorp in Schweden gebracht.

- Mobile Miner 55V
 - Schneidprofil 5,5 m Höhe x 5,5 m Breite



Abbildung 11: EPIROC Mobile Miner 22H im Einsatz im südafrikanischen Bergwerk Twickenham (EPIROC)

Die EPIROC Mobile Miner sind für Gesteinsfestigkeiten von 150 - 250 MPa UCS ausgelegt. Fernsteuerung und automatischer Schneidzyklus sind verfügbar, im Nachläufer ist auch die Einrichtung zum Ankern zur Gebirgssicherung untergebracht [16], [17], [18].

3.3.2 Sandvik MX650 Hardrock Miner

Seit den 1990er Jahren beschäftigt sich Sandvik mit Konzepten für das Rapid Mine Development im Hartgestein.

Im Jahre 2017 wurde der Prototyp des Sandvik MX650 Hartgesteinsminers im österreichischen Wolfram-Bergwerk Mittersill, welches auch zur Sandvik Gruppe gehört, zum Ersteinsatz gebracht. Es stellte sich heraus das Ladeeinrichtung, Stabilisierung und Schneidraddetails massiv überarbeitet werden müssen. Nachdem diese Umbauten und Adaptionen erfolgt waren, ging der modifizierte Prototyp im Jahre 2019 in einen weiteren Einsatz. Der Autor konnte die geschnittene Strecke und die in Wartungsschicht befindliche Maschine im Februar 2020 in Mittersill befahren. Die Vortriebsleistung lag bei 4 m pro Schicht in Gesteinsfestigkeiten bis zu 250 MPa UCS, das Streckenprofil war sehr sauber geschnitten. Die Schneideinrichtung funktionierte gut.

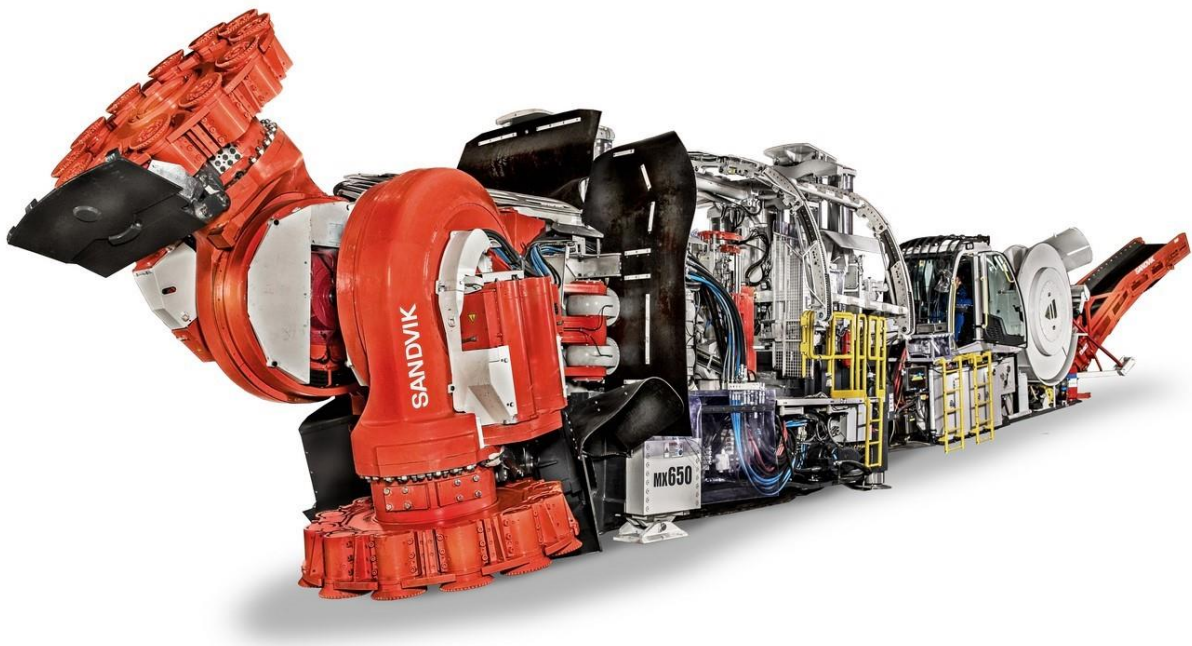


Abbildung 12: Der erste Prototyp des Sandvik MX 650 vor dem Ersteinsatz in Mittersill im Jahre 2017. Nach den ersten Erfahrungen wurden 2018/2019 zahlreiche Modifikationen durchgeführt (Sandvik)

Sandvik hat die Maschine möglichen Kunden im Einsatz vorgeführt, ist aber sonst mit Veröffentlichungen sehr restriktiv.

Nachdem nun die Funktion des Prototyps praktisch nachgewiesen wurde, wird nun den Aussagen des Präsidenten von Sandvik Mining and Rock Technology, Henrik Ager, im November 2020 nach zu schließen an einer kommerziellen Version des MX650 Rapid Mine Development Systems gearbeitet. Er gab auch die Entwicklung eines neuen MN330 Narrow Reef Production Systems für Anglo Platinum bekannt [19], [20].

4 Alternative oder kombinierte/hybride Lösemethoden

Wo Bohr- und Sprengtechnik oder mechanisches Schneiden aus verschiedenen Gründen nicht eingesetzt oder an ihre Leistungsgrenzen geraten könnten alternative oder kombinierte/hybride Lösemethoden ein Weiterkommen ermöglichen.

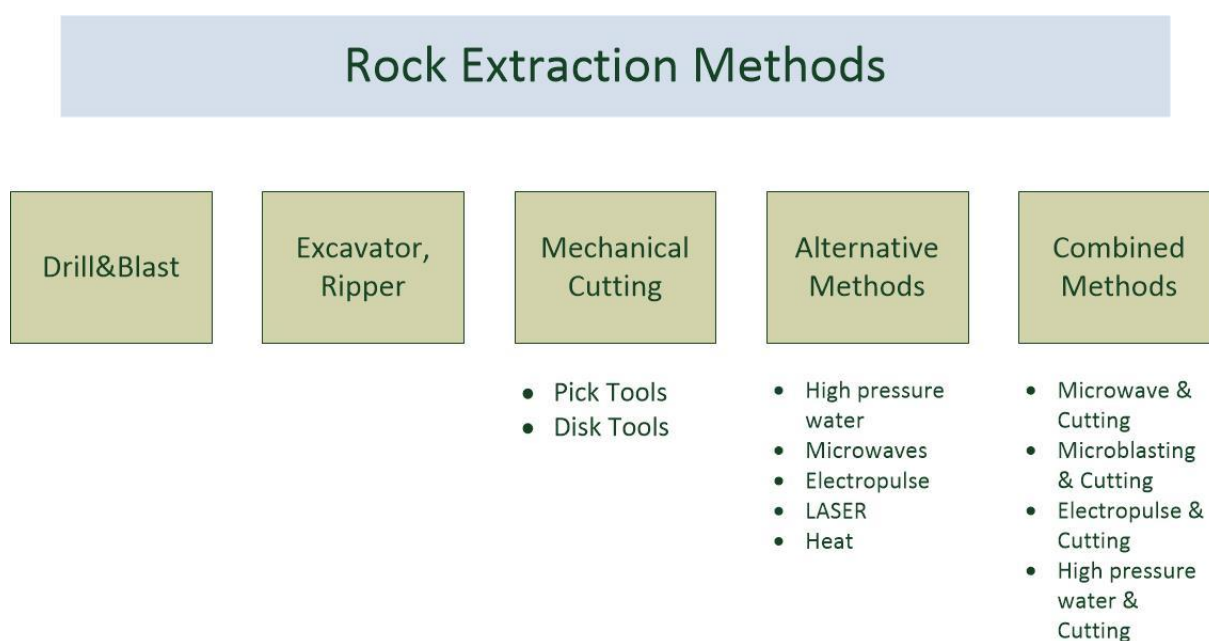


Abbildung 13: Übersicht über die wesentlichen Gesteinslösemethoden nach dem derzeitigen Stand des Wissens

Alle alternativen Gesteinslösemethoden nach Abbildung 13 wurden in den vergangenen Jahren weltweit intensiv erforscht, sind jedoch alleine viel zu energieintensiv im Abbau und mit sonstigen Nachteilen behaftet und daher derzeit wirtschaftlich keine Alternative im Hartgesteins-Bergbau.

Für den Vortrieb in Hartgesteinsstrecken könnten jedoch kombinierte/hybride Methoden, bei denen mittels Einsatzes von Mikrowelle, Microblasting, Elektropulse oder Hochdruckwasser das Gestein „vorgeschnitten“ wird und damit das mechanische Schneiden erleichtern, eine wirtschaftliche Möglichkeit eröffnen. Daher ist in diesem Bereich Grundlagenforschung im Gange [21], [22].

5 Zusammenfassung

Während in der Gewinnung großer Erzmengen Bohren und Sprengen die optimale Methode ist, werden im Streckenvortrieb im Hartgestein Schritt für Schritt auch mobile und flexible mechanische Vortriebssysteme verfügbar.

Verbunden mit Automation werden diese Rapid Mine Development Systeme im kommenden Jahrzehnt zur Einführung kommen. Wie erfolgreich sie sein werden hängt auch wesentlich von der Verbesserung der Qualität und Lebensdauer der Schneidwerkzeuge im Hartgestein ab.

Kombinierte/hybride Lösungsmethoden könnten einen wesentlichen Beitrag für die Mechanisierung des Vortriebs im Hartgestein leisten.

Auf jeden Fall ist noch eine Menge Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten und es bleibt zu hoffen das die Bergbauindustrie dafür bereit ist.

6 Quellen

- [1] Sifferlinger, Nikolaus August; Hartlieb, Philipp; Moser, Peter; The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods, in: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte BHM (2017) Vol. 162 (2): S. 58-66
- [2] Bolož, Lukas; Kalukiewicz, Antoni; Machines for Mechanical Mining of Hardly Workable and Abrasive Rocks, in: MAPE 2020, Vol 3, issue 1, S. 150-160
- [3] CAT Longwall Automation, https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/articles/longwall-automation-download.html (18.11.2020)
- [4] Südwestsalz: Umstieg auf schneidende Gewinnung hat sich für Bergwerk bewährt, <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/salzbergwerk-umstieg-auf-schneidende-gewinnung-hat-sich-fuer-bergwerk-bewaehrt-35473.html> (27.12.2020)
- [5] PICKERING, R., SMIT, A. and MOXHAM, K., Mining by rock cutting in narrow reefs. International Platinum Conference 'Platinum Surges Ahead', The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2006.
- [6] Bergbau Newsletter 19. KW 2016, Hard rock Strebtechnik von Caterpillar; <https://docplayer.org/107835419-Bergbaunewsletter-19-kw-hard-rock-strebtechnik-von-caterpillar.html> (28.12.2020)
- [7] Wirtgen Surface Miner; <https://www.wirtgen-group.com/ocs/de-at/wirtgen/surface-miner-74-c/> (27.12.2020)
- [8] Restner, U.; Plinninger, R. J.: Rock Mechanical Aspects of Roadheader Excavation, EUROCK 15, 64th Geomechanical Colloquium, Salzburg 2015.
- [9] International Mining Magazine, Element Six synthetic diamond will help hard rock cutting to achieve true potential, 13 May 2019; <https://im-mining.com/tag/mx650/> (27. 12.2020)
- [10] Maidl B.; Schmid, L.; Ritz, W.; Herrenknecht M.: Hardrock Tunnel Boring Machines, Ernst & Sohn, Berlin 2008.
- [11] Bilgin, N.; Copur, H.; Balci, C.: Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, Taylor&Francis Group, Boca Raton Florida 2014.
- [12] Herrenknecht Gripper-TBM Catalogue, <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/kernprodukte/tunnelling/gripper-tbm.html> (2. 9. 2016)
- [13] Cigla, M.; Yagiz, S.; Ozdemir L.: Application of Tunnel Boring Machines in Underground Mine Development, <http://inside.mines.edu/UserFiles/File/earthMechanics/tbm/tbm3.pdf> (25.12.2016)
- [14] CIMMagazine, Hard rock revolution on the horizon, 3 May 2017; <https://magazine.cim.org/en/technology/hard-rock-revolution-on-the-horizon/> (30.12.2020)

- [15] Williams, L.: Aker Wirth's MTM under way at Rio's North Parkes copper/gold mine, <http://www.mineweb.com/archive/aker-wirths-mtm-under-way-at-rios-northparkes-coppergold-mine/> (2.9. 2016)
- [16] Hardrock cutting now a reality; 25 March 2018; Bergdagarna 2018; http://www.befoonline.org/UserFiles/Dokument/Bergdagarna_2018/Artiklar_2018/BT_11.pdf (27.12.2020)
- [17] Canadian Mining Journal, EPIROC introduces mechanical miners; 1 August 2018, <https://www.canadianminingjournal.com/features/epiroc-introduces-mechanical-miners/> (27.12.2020)
- [18] EPIROC, Maschinen für den mechanischen Gesteinsabbau – Mobile Miner, <https://www.epiroc.com/de-at/products/mechanical-rock-excavation> (1.1.2021)
- [19] EIT Raw Materials Kava project Rock Vader, Smart hard rock mining system; <https://eitrawmaterials.eu/project/rock-vader/> (27.12.2020)
- [20] International Mining Magazine; 18 November 2020; <https://im-mining.com/2020/11/16/sandvik-mining-president-says-battery-electric-line-will-soon-include-65-t-underground-truck/> (27.12.2020)
- [21] Hartlieb, Philipp; Grafe, Bruno; Experimental Study on Microwave Assisted Hard Rock Cutting of Granite in: BHM (2017) Vol. 162 (2): S. 77–81
- [22] Hartlieb, Philipp; Rostami, Jamal; Rock mechanics implications of microwave treatment of rock as part of a hybrid system for mechanical excavation of rock for civil and mining applications; in: EUROCK 2018 Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium, Chapter 10, 7 Seiten

Univ.-Prof. DI. Dr. mont. Nikolaus A. Sifferlinger
nikolaus-august.sifferlinger@unileoben.ac.at

Chair of Mining Engineering and Mineral Economics
Montanuniversität Leoben
Franz-Josef-Str. 18
8700 Leoben, Austria

Re-Entry time calculation using ventilation simulation software

Florian C. D. Michelin, C. M. Stewart
Howden

1 Abstract

Blasting fumes represent significant health risks for worker in underground mines. The main gases which represent a danger to human life following blasting are the oxides of nitrogen (NO_x / NO₂), carbon monoxide (CO), and ammonia (NH₃). Although the oxides of nitrogen represent the greatest threat to human life, it is easily detectable in lower concentrations by smell, as well as causing irritation of the lungs and displaying a brown color in higher concentrations. Similar observations can be made about the smell and irritative effects of ammonia. Both ammonia and the oxides of nitrogen degrade over time in the presence of moisture. Carbon Monoxide however is odorless and colorless, and does not degrade over time, making it a potentially greater threat due to the increased chance of accidental exposure. In most injuries and fatalities due to blasting fumes, carbon monoxide was the prime cause of poisoning.

Re-entry time following blasting in an underground mine is a safety and productivity concern. Lengthy re-entry times are often specified to ensure worker safety, but at the expense of productivity. Re-entry time and procedures are often standardized for worst case and not optimized for actual conditions at the time. Using modern methods such as simulation, live sensor data and remote automation of ventilation controls, safety and productivity can both be improved.

2 Common practice for re-entry

The maximum acceptable carbon monoxide (CO) concentration for re-entry is normally based on an eight (8) hour time weighted average (TWA). Australia uses 30 ppm (Safe Work Australia), although other countries may have differing standards.

Although re-entry practices vary from site to site, they generally follow similar guidelines:

- Underground mining crews adjust ventilation controls prior to blasting if required.
- An estimated time of clearance will sometimes be calculated based on eight (8) air changes in the tunnel being blasted, or a standard default time interval will be used (for example 30 minutes).
- After blasting, once the estimated time is passed, the re-entry crew will go underground to each blasting sites with a gas detector to ensure gas concentrations have dropped to acceptable levels.
- Once all blasting locations have been cleared, access to the headings is opened.

This method is unfortunately prone to human errors and can lead to safety issues. If the ventilation controls were not adjusted at the end of the shift, reduced airflow to the blasting site will increase safe re-entry time. The estimated time is often calculated using spreadsheet and can easily be over or underestimated. The reliance on people physically inspecting the blasting, can also be hazardous.

Each of the steps can be improved through modern technology:

- Adjustment of ventilation equipment can be automated, improving reliability, and saving time
- Blast clearance times can be estimated through simulation instead of potentially erroneous spreadsheet assumptions
- Remote gas sensors can be used more extensively to assist manual re-entry checks

3 Gas clearance simulation

3.1 Model requirements

An accurate ventilation model is required to perform blast clearance simulation. An accurate model would typically have simulated values within 10 % from the actual readings of airflow quantities and velocities. Some common mistakes in modelling can however affect accuracy, in particular airflow velocity estimates.

It is common to use original design dimensions to build ventilation models, however actual airway sizes often differ by 20 % or more due to overbreak of the tunnels (Michelin, 2018). Even if airflow is correctly calculated in the model, the air velocity (the component used to calculate the speed of contaminant and gas removal), can be significantly in error. Accurate velocities are required to simulate fires, gas spread, heat, DPM and blasting fumes.

Calibration differences in airflow quantity can also result from incorrect resistances due to poor estimations of friction factors or shock losses. Where possible, resistance surveys (pressure and flow measurements) should be done to ensure friction factors and shock losses are considered, and that future development and model predictions use the correct values.

In addition, auxiliary ventilation and duct quality should be included in the model to better represent airflow distribution, as the movement of air through these ventilation pathways will affect clearance times. Ventilation duct should consider leakage as high leakage will reduce flow delivered to the blasting site, increasing the clearance time.

3.2 Setting up a Simulation

Ventsim™ DESIGN has specific tools for helping simulate blasting fumes and will be used as an example for this paper. The following parameters need to be considered.

3.2.1 Explosive Presets

The type of explosive used should be considered in the simulation. Ventsim™ DESIGN has a range of different explosive type presets, each with a differing production yield (gas produced versus explosive mass) of explosive fumes. Ideally, the explosive provider will be able to give access to the yield factor of the explosive, and the closest factors or customized values can be used. The key information for blasting fume purposes is the gas yield volume per weight of explosives. The main gases to consider are CO, NO, NO₂ and NH₃. Ventsim™ DESIGN will automatically calculate the density of the explosive based on those values as shown in Table 1.

Table 1: Explosive Yield Factors

Name	# in use (total all stage)	Yield generic L/kg	Density kg/m ³	Yield CO L/kg	Yield NO L/kg	Yield NO ₂ L/kg	Yield NH ₃ L/kg
contaminant only		12.5	1.2	0	0	0	0
ANFO 96/4		0	1.3512	4	2	4	0.2
ANFO 96/6	4	0	1.2148	16	0.5	1.5	0.2
ANFO 96/8		0	1.1908	38	1.5	1.5	1
70/30 ANFO/Emulsion		0	1.2667	22	3.1	5.6	0
50/50 ANFO/Emulsion		0	1.2745	18	2.7	5.2	0
Emulsion		0	1.2074	14	1.25	0.65	0

3.2.2 Blasting locations

For each blasting site, three key parameters need to be entered into Ventsim™ DESIGN

- The type of explosives
- The amount of explosive (weight)
- A blast fume dispersion factor.

The type of explosives and amount can be easily available from the blasting schedule. However, the dispersion factor is a more complex factor to consider. Stewart (2014) describes the factor in terms of how effectively the ventilating air can clear a heading of gases. This takes into consideration the distance of the duct to the explosive face, and the quality of the duct installation (considering leakage and direction).

For example, a blast creating a breakthrough allowing air to pass straight over the blasting location will have a very high dispersion factor as the fumes will be efficiently cleared. A blast in a dead-end heading, where the ventilating duct discharges 30 – 40 m away from the end and the duct leakage is high, will have a very low dispersion factor.

In general, it is initially recommended to use a lower dispersion factor to ensure cautious clearance times until the factor can be better calibrated to actual conditions observed. If clearance times are observed to clear much quicker than simulated times, the dispersion factor can be improved to match observed results, and then reused for similar situations in future.

3.2.3 Simulation

Once all the parameters have been entered for the blasting sites in Ventsim™ DESIGN, some simulation parameters may need to be considered.

Monitors need to be placed to view changes of gases through time for specific locations. For blast clearance simulation, recommended locations include the blasting site, and all other accesses where personnel may travel to after a blast.

Diffusion of gases can also play an important part and is discussed later. The diffusion option will increase the simulation computational time but will ensure more accurate results by considering the leading and lagging fronts of the gas transport. By default, for simplicity and computational speed, Ventsim™ DESIGN does not consider diffusion during dynamic simulation unless activated by the user.

4 Results

4.1 Presentation of the studied model

The ventilation model used in this example is a sub-level stopping mine. For each working level, air is injected by a fan through a duct to each of the working areas. From the workings, the air returns through a ventilation regulator to the exhaust raise.

Figure 1 shows blue representing fresh air, green representing contaminated air, and red representing exhaust. The blasting is only occurring on left 4 of the 8 headings as shown by a red symbol. A monitor is placed at the connection to the exhaust raise to record gas levels over time.

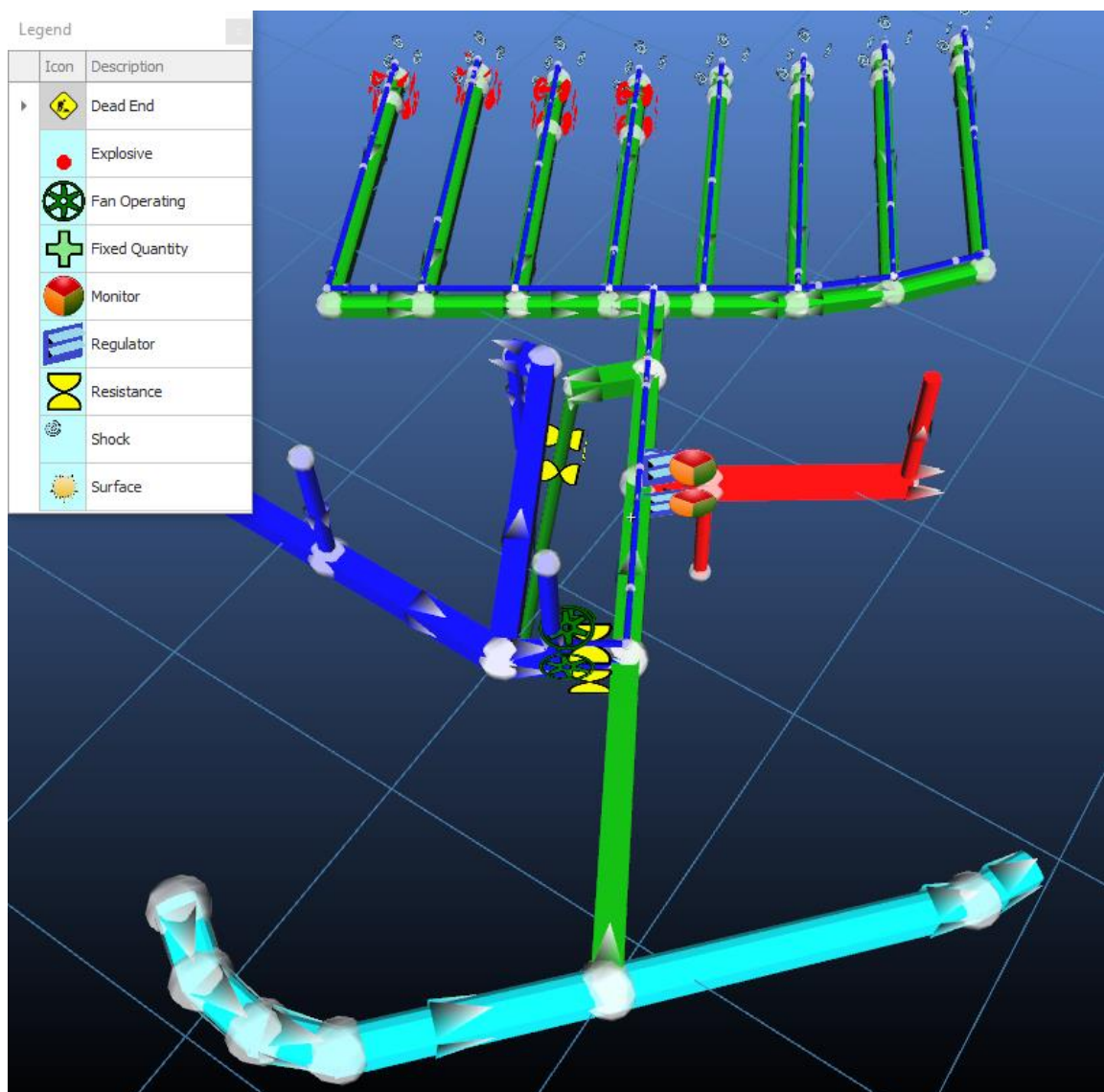


Figure 1: One level of a sub level cave mine.

4.2 Simulation Factors Affecting Calculated Re-entry time

4.2.1 Diffusion

Due to airway boundary friction, airflow does not travel homogenously through a tunnel but has higher velocity in the center of the tunnel than on the boundary. Ventilation software only considers the average velocity of the airway. Applying diffusion will greatly only significantly affect areas with low airflow or very long travel times.

Figure 1 show results with and without diffusion, with the graph lines following a similar pattern. The diffusion simulation option spreads the initial peak slightly and reaches the exhaust raise faster. In both cases, the fumes are below the allowable TWA level of 30 ppm CO after 960 seconds (16 minutes).

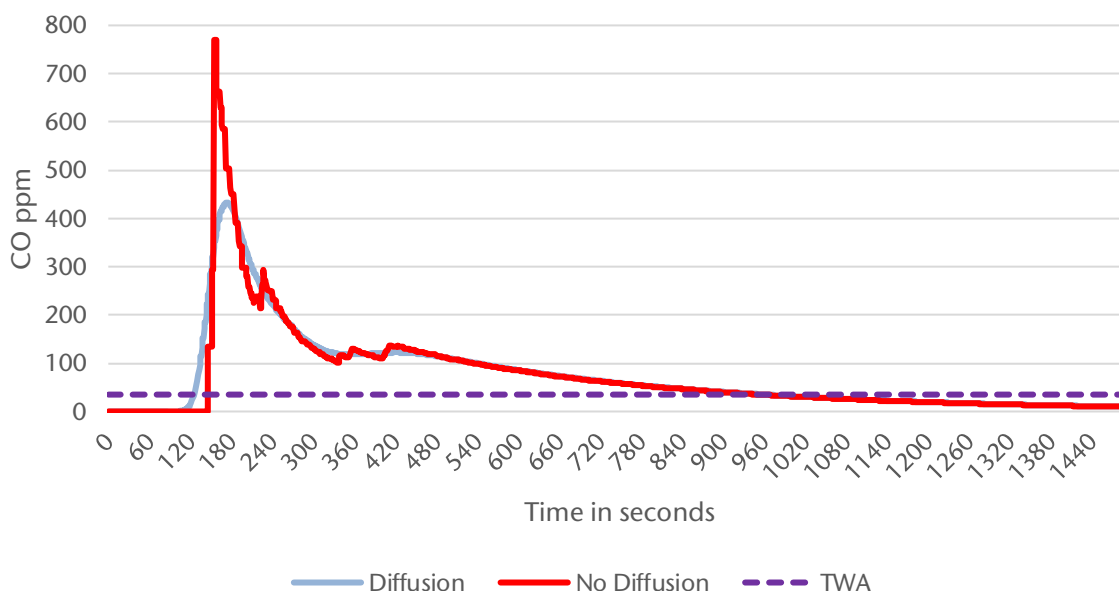


Figure 2: Example of Gas Concentration With and Without Diffusion

4.2.2 Ventilation Controls

In this example, the duct leading to workings without blasting will be throttled to avoid wasting air and increase airflow to the blasting locations. Throttling of ventilation duct is common practice and usually part of the re-entry management plan. Unfortunately, it is often left to the underground crew to adjust before leaving the mine and can lead to human error.

In the example below (Figure 3), it takes 16 minutes to clear the site without adjusting the control equipment but only 11 minutes when the ventilation duct is adjusted.

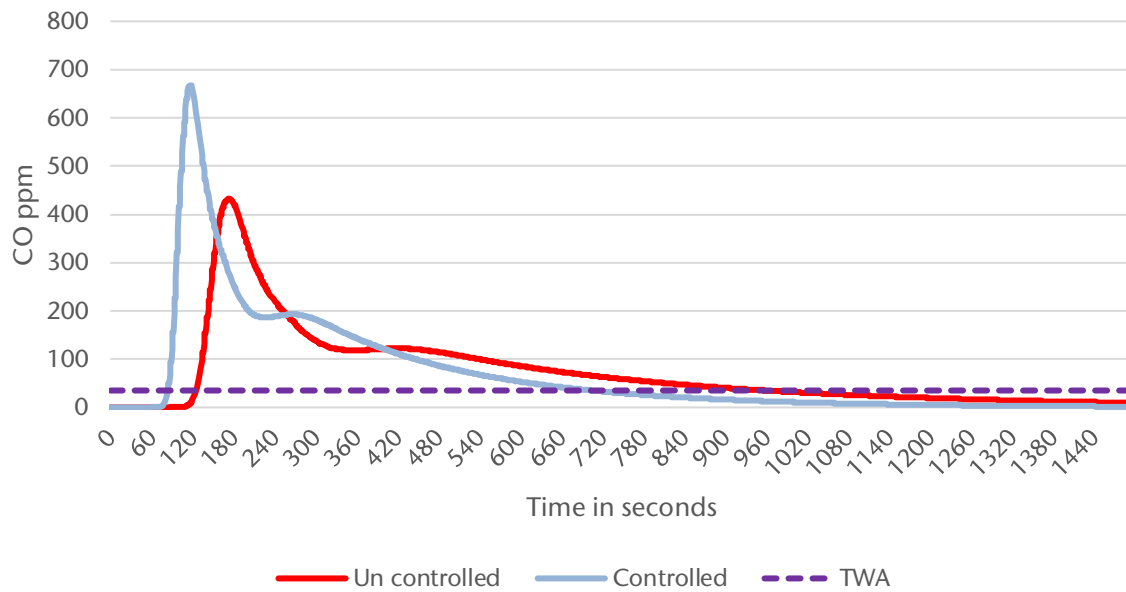


Figure 3: Comparison of gas clearance with and without optimised ventilation

Failure to put in place those controls can lead to severe delays in re-entry time and production, as these delays are propagated further downstream to other areas in the mine.

Other methods of ventilation control, such as opening regulator louvres can also boost exhaust capacity in blasting areas to ensure quicker removal of fumes, before resetting the regulator to normal operational settings.

To ensure all measures are put in place prior to blasting and minimize re-entry time, the use of remote automation should be considered. Remote control of ventilation equipment saves time and effort by not having to travel to different locations immediately before blasting. The reliability and control of the system can be verified by sensors from the control room and can be programmed in advance.

4.3 Calibration of existing model

Most models are calibrated using manual airflow measurements. Comparing blasting simulation and sensor data during the blasting can immediately highlight discrepancies in the model at the exact time they occur. For example, the presence of dangerous air recirculation underground will be highlighted by multiple gas spikes recirculating through the same area long after the blasting is complete. Simulation can assist in finding the issues by simulating recirculation or decreasing regulator resistance to represent a control failure.

5 Improving Re-entry Times

5.1 Good ventilation design

The first criteria for rapid fume clearance is a well-designed ventilation system. Contaminated air should ideally travel to exhaust without passing another work location. A dedicated exhaust shaft close to the blasting site will assist with this goal. Series ventilation, a common arrangement in many mines where air is re-used downstream from other work locations causes significant delays in re-entry and should be avoided where lengthy re-entry times are a concern.

Blasting simulations are highly recommended to be used in the design process to estimate the future re-entry time and ensure the current design optimizes fast gas clearance.

5.2 Sensors

High speed digital underground communication continues to improve, and more mines are becoming equipped with sensors. Gas sensor should be included as part of good blast clearance procedures. Well placed sensors will make re-entry faster and safer by not relying on potentially erroneous calculation but instead utilize real time measured data. It will likely remain essential for some time to continue to measure the gas level underground manually with portable units to cover all work areas, and ensure the automated sensors remain calibrated and operational.

5.3 Optimized Clearance Times

In addition to simulating blasting during the development activity, it should be used as an opportunity to explore day-to-day optimization of the ventilation circuit. Simulating scenarios before blasting can give a better estimate on blast clearance and assist in finding the optimum settings for the ventilation controls to deliver fast clearance.

5.4 Ventilation control

The ability to easily adjust ventilation controls are key in reducing blast clearance time. With better communication underground, remote control automation is becoming more standardized and allows for rapid and efficient setting changes. For example, the use of remote-controlled regulator louvers instead of manually adjusted drop board regulators enable miners to avoid time consuming travel underground to adjust the airflow. Automation software, such as Ventsim™ CONTROL can open or close regulator remotely and based on schedules or gas levels, reducing the chances for human errors. Similarly, flow-based controls can be applied where the regulator or fan settings can be adjusted to maintain a required airflow. Such systems ensure safe ventilation, improved productivity and reduced wastage and energy usage in a well-designed system.

5.5 Electric Vehicles

Electric vehicles are being more frequently considered for underground use, with the aim of improving air quality and reducing ventilation requirements. However, there remains the need to rapidly clear blasting fumes and therefore minimum air velocities must be maintained. While legislation in many countries allows a reduction in ventilation using electric equipment, minimum air velocity is still legislated and must be maintained to ensure heat, dust and gases are diluted and controlled to acceptable standards.

Automation once again can help assist in achieving the goals of reduced ventilation with electric vehicles, while still allowing rapid blast clearance times. Focusing ventilation controls to maximum air quantity and velocity to blasting areas, together with increasing ventilation capacity during blasting times (through primary fan and secondary speed control for example) will help achieve the improved ventilation goals.

6 Conclusion

Blasting fumes are a hazard for underground workers, and lengthy unoptimized blast fume clearance times are often established to ensure employees safety. However, unoptimized reentry times can cause significant and expensive delays which are preventable using the latest technologies available.

By proactively and routinely simulating and predicting blasting gases in advance, ventilation design and control settings can be optimized and improved to ensure gases are quickly cleared and do not unnecessarily contaminate other areas.

Further improvements can be made using ventilation automation, employing technology such as gas and airflow sensors, remotely controlled regulators and fans, and an automation control system such as SCADA or Ventsim™ CONTROL.

Improved overall operational safety and efficiency can therefore be gained by using simulation to establish optimized ventilation settings, and then using automation to adjust ventilation controls remotely through manual, schedule or sensor driven changes.

7 References

Safe Work Australia, 2011, Workplace Exposure Standard for Airborne Contaminants.

QLD Government, 2011, Management of oxides of nitrogen in open cut blasting Orica, 1999, Patent Application PCT/AU1999/000390

F. Michelin, C. M. Stewart, M. D. Griffith, T. Andreatidis, 2018, Calibrating Model Airway Size and Resistance with Survey Asbuilt Data

C. M. Stewart, 2014, Practical Prediction of Blast Fume Clearance and Workplace Re-entry Times in Development Headings.

Florian C. D. Michelin
florian.michelin@howden.com

C. M. Stewart

Howden
47 Peel St
South Brisbane 4101
Queensland
Australia

Mögliche Auswirkungen von Stäuben und schädlichen Gasen auf den Betrieb von Ventilatoren

Jens Kegenhoff
Korfmann Lufttechnik GmbH

Ventilatoren sorgen für die künstliche Wetterbewegung in Bergwerken. Dabei sind diese unterschiedlichen Einsatzzwecken zugeordnet. Hauptventilatoren bringen die gesamten Wetter in die Hauptfahrstrecken. Zusatzventilatoren sorgen für Druckerhöhung bzw. -entlastung und stützen das Gesamtwettersystem. Sonderventilatoren sind rund um den eigentlichen Förderbetrieb zu finden, um Frischwetter an die Arbeitsstellen und Ortsbrust zu bringen. Dabei fördern sie frische und saubere Luft. Doch oftmals ist der Einsatz nicht so trivial darstellbar und erfordert weitaus höhere Anforderungsbedingungen als eine „saubere“ und „frische“ Umgebung. Ventilatoren im Unterdruckbetrieb saugen bereits vorbelastete Wetter an. Sonderventilatoren stehen an Orten, um Emissionen zu verdünnen oder weiter zu transportieren. Weitere Ventilatoren stehen an Orten unter Sprengvortrieb oder Schnittbetrieb und werden starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. Diese Einsatzbedingungen erfordern Geräte die entsprechend dafür konzipiert sind. Ein Ventilator für den Bergbau ist optisch vielleicht dem Industrielüfter ähnlich, in den Einzelkomponenten muss der Bergwerkslüfter jedoch anderen Bedingungen standhalten. Er benötigt, wie auch der Kumpel unter Tage, eine „Bergbautauglichkeit“.



Abbildung 1: Hauptventilator

Diese Bergbautauglichkeit erlangt das Gerät, wenn die Anforderungen an die Mechanik, die Elektrik und die chemische Beständigkeit gegeben sind. Diese sind nicht in jedem Bergwerk gleich, so dass auch die zu nutzenden Geräte oftmals angepasst werden müssen.

An einigen Beispielen von üblichen Problematiken unter Betrieb wird die vorhandene oder bis dato nicht vorhandene notwendige Bergbautauglichkeit unter Praxisbedingungen nachfolgend dargestellt.

1 Mechanische Belastung



Abbildung 2: Transportschaden

Mechanisch belastet wird ein Ventilator auf viele verschiedene Arten. Natürlich sind die inneren maschinellen Kräfte die auf Flügelrad, Welle, Lager, Motor und Gehäuse wirken, in der internen Konstruktion zu berücksichtigen. Nicht beachtet werden teilweise Belastungen die durch andere externe Parameter wie Transport oder Montage auftreten und welche nicht unter die üblichen Konstruktionskriterien fallen. Dazu gehören See- und Landtransporte in Gegenden die unzureichende Infrastruktur aufweisen. Durch die Landschaftsbedingungen können erheblich höhere Kräfte als mit einer Belastung von nur 1 g auf die Gesamtkonstruktion wirken. Werden diese Kräfte nicht berücksichtigt, können Teile vorgeschädigt werden und verkürzen erheblich die Lebensdauer im Betrieb. Transporte nach unter Tage und unter Tage selbst, erfordern oft eine Teilung der Komponenten und eine nicht herkömmliche Platzierung der Anschlagaufnahmen, um die Gerätschaften mit den vorhandenen Hilfsmitteln sicher zu ihrem Einsatzort zu bringen.

Das Handling und Betreiben von Sonderbewetterungsventilatoren unter Tage entspricht oftmals nicht annähernd den Vorgaben aus der Bedienungsanleitung. Bergbauübliche mechanische Kräfte, die auf das Gehäuse wirken, sollten nicht sofort zu einer Schädigung führen, die das Betreiben unmöglich macht. Entsprechend benötigt ein Bergbaulüfter ein stabiles Gehäuse und mechanische Integrität.



Abbildung 3: Handling unter Tage



Abbildung 4: eingestürzte Wetterwand

Dazu gehören auch Schutzmaßnahmen für den Elektroanschluss und den Motor sowie eine konstruktive Berücksichtigung der mechanischen Einflüsse auf Lager, Welle, Motor und Flügelrad.

Größere Partikel aus der Umgebung oder gelockerte Muttern von Anbauteilen, welche bis zum drehenden Flügelrad gelangen, können das gesamte Flügelrad schlagartig zur Zerstörung bringen. Teilweise sind die Flügel aber auch nur beschädigt und werden weiter betrieben – sei es aus Unwissenheit oder aus Vorsatz. Diese Vorschädigung führt früher oder später zum kompletten Versagen des Flügels und somit zum Totalschaden. Um dem vorzubeugen sind Wartungen unablässig. Selbst durch einfache Sichtprüfungen können weitaus größere Schäden frühzeitig vermieden werden. Auch Kleinstteile können eine Vorschädigung am Flügelrad verursachen. Der Schaden zeigt sich dann erst nach einer zeitlich unbestimmten Wechselbelastung.



Abbildung 5: Rot-Weiß Prüfung

Abbildung 6: Flügelradschaden

Bei Großventilatoren wird deshalb eine regelmäßige Oberflächenkontrolle der Schaufeln empfohlen. Diese kann je nach Schaufelmaterial und Zugänglichkeit auch im eingebauten Zustand erfolgen. Ein Beispiel dafür ist die sogenannte „Rot-Weiß Prüfung“ (Farbeindringverfahren). Dies ist eine Möglichkeit der Oberflächenrissprüfung. Dabei können durch Aufbringen eines feinen Farbindikators und anschließendem Kontrastmittels Haarrisse entdeckt und das Bauteil frühzeitig ausgetauscht werden. Ein weiteres zerstörungsfreies Oberflächenverfahren ist die Magnetpulverprüfung. Für beide Verfahren ist die Materialverträglichkeit des Bauteils mit dem Prüfmittel Voraussetzung.

Flügelbeschädigungen können nicht nur durch Gegenstände entstehen, sondern auch durch extreme Flügelwechselbelastungen aus dem Betrieb, für welche das Flügelrad ursprünglich nicht ausgelegt ist. Dazu gehören insbesondere Druckspitzen die der Druckerhöhung des Ventilators entgegenwirken. Schnell schließende Wetterbauwerke ohne Druckentlastung in der Nähe von Haupt- oder Zusatzventilatoren. Klappen, Türen oder Tore welche sich im direkten Wetterweg befinden und aus verschiedensten Gründen geschlossen werden erzeugen schnelle Druckwechsel.

Dazu gehören beispielsweise automatisierte Tore mit Fehlprogrammierung, unbewusstes Fehlverhalten einzelner Mineure, um nur ein paar mögliche Ursachen zu benennen. Möglichkeiten gibt es dafür mehr als auf den ersten Blick erkennbar. Solche rapiden Druckerhöhungen können Ventilatoren auch in den instabilen Betrieb bringen.

In diesem instabilen Bereich wird der Lüfter strömungstechnisch stark belastet und möglicherweise sogar in einem sprunghaften „Pumpbetrieb“ gefahren. Dieser Abrissbetrieb kann in kürzester Zeit den Flügel komplett zerstören, da die auftretenden Kräfte die Auslegeparameter um ein Vielfaches überschreiten.

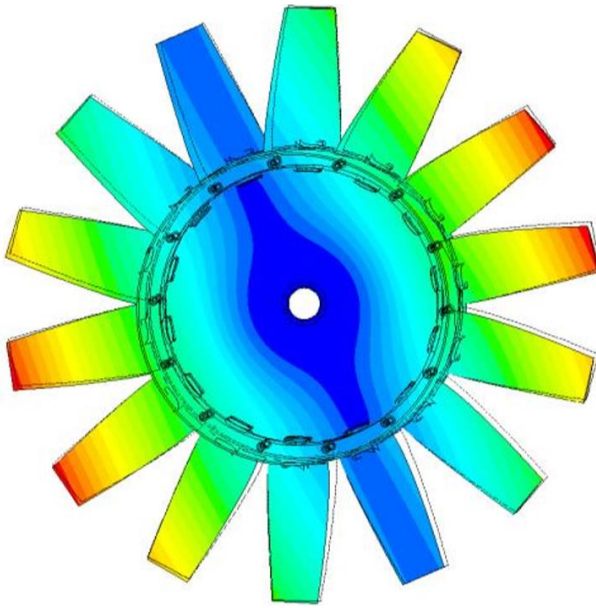


Abbildung 7: Flügelradverformung

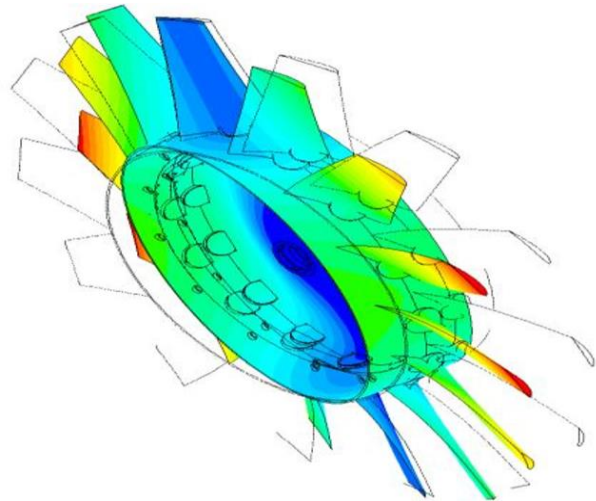


Abbildung 8: Flügelradverformung 3D

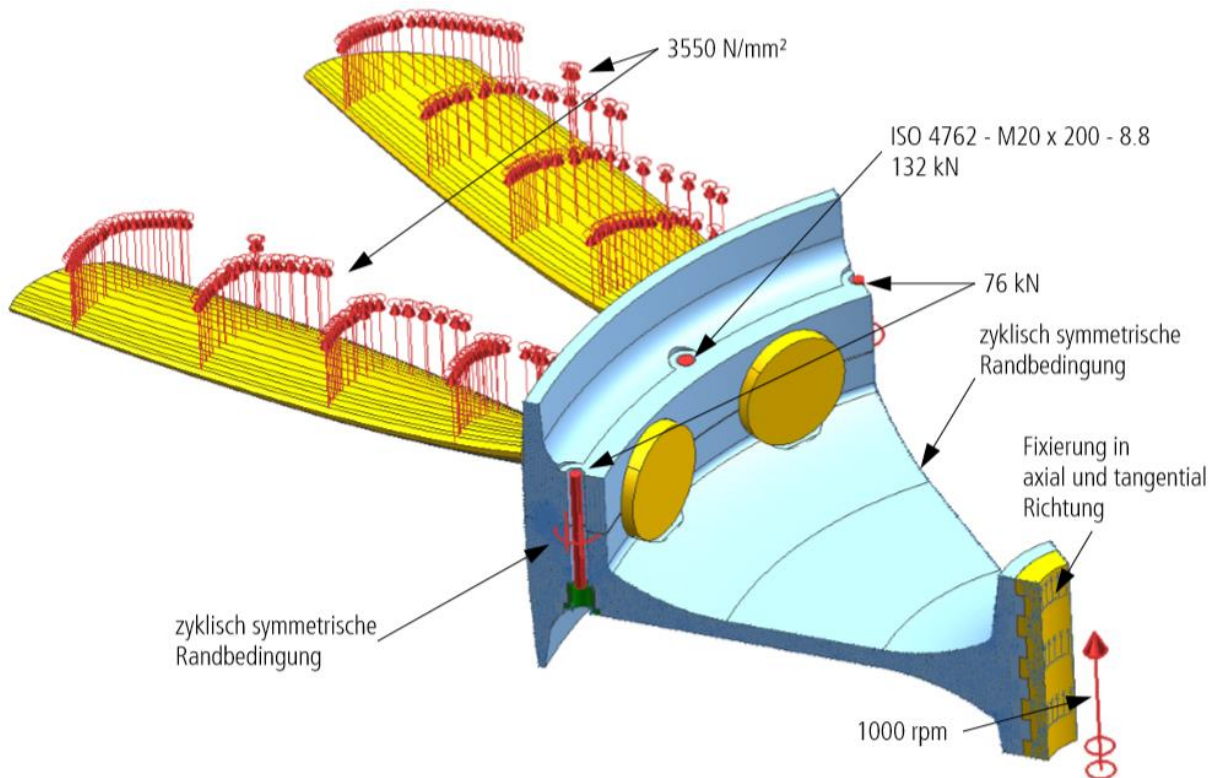


Abbildung 9: Schaufelkräfte

Sonderventilatoren werden oft im Sprengvortrieb einer solchen Belastung durch die Druckwelle verstärkt ausgesetzt, so dass die Lebenserwartung eines solchen Flügelrades stark verringert wird. Nur selten wird das Lüfterinnenleben vor der Druckwelle geschützt, oder abgedeckt. Insbesondere hier ist auf die mögliche Vorschädigung hinzuweisen, die der Flügel aufgrund kleinerer Steine erhalten kann.

2 Stäube – Mechanisch

Eine weitere mechanische Belastung für einen Ventilator sind stark partikelhaltige Wetter. Diese tragen zum verstärkten Verschleiß der Bauteile bei. Insbesondere das Flügelrad wird stark in Anspruch genommen. Die physikalisch bedingten Geschwindigkeitserhöhungen im Ventilator machen aus dem kleinsten Partikel im Bereich des Flügelprofils ein Geschoss, welches die Oberfläche angreift.



Abbildung 10: Lüfter unter Salzbedingungen

Insbesondere sind dabei die Flügelspitzen im Fokus, da diese voll in den saugseitig geraden Luftstrom eingreifen. Die Folge eines dauerhaft mit Partikeln belasteten Flügels ist ein nicht mehr strömungskonformes Erscheinungsbild der Spitzen und den damit verbundenen schlechten Strömungsfäden. Die inneren Kräfte steigen, der Wirkungsgrad verringert sich, die Leistung steigt und die geforderten Werte für Volumenstrom und Druckerhöhung werden nicht mehr erreicht. Die Lebensdauer des Gerätes wird erheblich verkürzt und der Austausch von Verschleißkomponenten muss wesentlich früher erfolgen.

Handelt es sich bei den im Wetterstrom vorhandenen Partikeln, um Festpartikel, wie zum Beispiel Stäube, steigt die Verschleißrate der Blätterspitzen immens in Abhängigkeit des Staubinhalts. Insbesondere quarzhaltige Stäube zerfressen die meist aus Aluminiumlegierungen bestehenden Flügel innerhalb kürzester Zeit.



Abbildung 11: Abrieb an den Flügelspitzen

Abbildung 12: Staubablagerungen

Doch auch bei feinen, weichen oder feuchten Stäuben kann es zu weiteren Schäden als nur zum Materialverschleiß kommen. Weicher Staub setzt sich zum Beispiel auch zwischen Kühlrippen von Motoren und setzt diese zu. Durch Adhäsion legen sich die Partikel in Ecken und Kanten, an Schraubköpfen und an mit Schmiermittel oder Feuchtigkeit behafteten Stellen ab. Für einen gleichmäßig ausgeführten und rotierenden Körper wie das Flügelrad ist dies zuerst einmal unkritisch, da sich durch die Bewegung des Bauteils und der annähernd gleichen Zuführung der Partikel über den Querschnitt sich diese auch gleichmäßig ablegen. Die Balance der Rotation ist zuerst nicht gestört. Sobald sich jedoch die Partikel ungleichmäßig absetzen oder sich ein angehäufter Partikelkuchen partiell löst, wird die Unwucht des Flügelrades schlagartig größer. Erhöhte Schwingungen sind die Folge, welche bei Erreichen von kritischen Werten zum Schaden führen. Will man dies verhindern, sollten die angesaugten Wetter erst gar nicht mit Staubpartikeln belastet sein. Dafür gibt es professionelle Vorabscheider und Entstaubungseinheiten. Für die Gesundheit der Maschine ist dies absolut förderlich und insbesondere für die arbeitenden Personen auch in den meisten Ländern Pflicht, da ansonsten die gültigen Staubgrenzwerte nicht eingehalten werden können. In unvermeidbaren Fällen eines teilweisen Partikeltransports über den Luftstrom ist der Ventilator in zum Betrieb passenden regelmäßigen Sichtkontrollen zu überprüfen und zu säubern.



Abbildung 13: Lüfterstandort

Durchaus sind Ventilatoren mittels modernen Sensoren auch automatisch überwachbar. Eine Unwucht kann mittels Schwingungsüberwachung detektiert werden. Ein strömungstechnischer instabiler Betrieb kann durch eine Abrissüberwachung wie zum Beispiel durch eine Petermannsonde, detektiert werden. Doch auch diese Sensoren können je nach Umgebungsbedingungen Fehler aufweisen und benötigen weitere Technik und Abstimmung. Jeder Betreiber muss für sich entscheiden, welche Art der Überwachung dem kontinuierlichen Betrieb förderlich ist.

3 Stäube – Elektrisch

Manche Stäube bzw. Partikel sind nicht unbedingt ein mechanisches Problem. Während manche stark kristalline Feinkörner Dichtungen und Schmiermittel erheblich belasten, sind einige chemische Zusammensetzungen problematischer für andere Bauteile. Insbesondere die elektrischen Komponenten können verschmutzen und unterschiedliche Fehlerbilder aufweisen. Einige Stäube sind so fein, dass selbst bei höheren Schutzklassen und immensem Wartungsaufwand diese nicht vollständig aus elektrischen Gehäusen auszuschließen sind. Die Lüftersteuerung einer Anhydritgrube zeigt einen solchen Fall. Hier wurde der Lüfter direkt neben die Hauptfahrestrecke platziert. Die frequenzgeregelte Lüftersteuerung stand in einer nicht direkt belüfteten Nische daneben. Diese Steuerung fiel mehrmals aufgrund von elektrischen Fehlern in den Platinen aus. Genauere Untersuchungen ergaben abgesetzte Rußstäube auf lackierten Leiterplatinen.

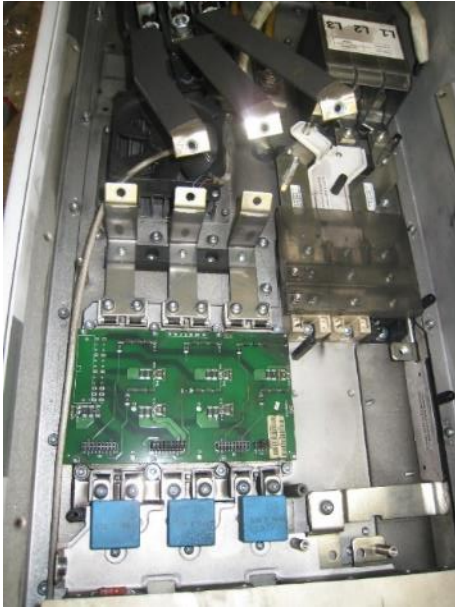


Abbildung 14: Steuerung

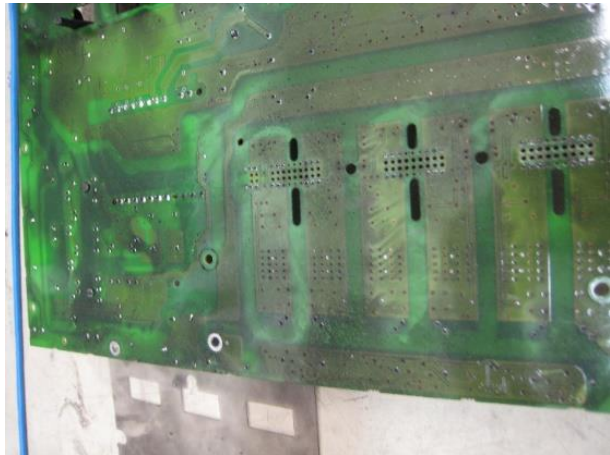


Abbildung 15: Platine

Der Schutz durch die lackierten Leiterbahnen reichte nicht aus. Selbst bei geringer Schichtdicke war der Staub so leitfähig, dass bei angrenzenden Bauteilen ein Kurzschluss entstand. Dies konnte durch einen Test mit einer wenige Tage alten Filtermatte nachgewiesen werden. Die Ursache hatte sich schnell gefunden: Neben dem Lüfter war der Hauptweg mit einem Wettertor verschlossen. Dies wurde jedoch mehrfach in der Stunde mit einem Fahrzeug passiert. Dabei musste dieses Fahrzeug einige Minuten vor dem Tor verweilen. Das Fahrzeug war eine alte Zugmaschine ohne irgendein Rußfilter System. Die Auspuffschwaden verteilten sich und blieben nach Durchfahrt des Tores in der Steuernische hängen, wo diese sich nach und nach absetzten — ein denkbar ungünstiges System. Wäre das Tor nur ein wenig versetzt worden, die Steuernische gering bewettert oder der Schrank entsprechend abgedichtet worden, hätte es keinen Schaden und somit keinen Ausfall gegeben. Kundenseitig gab es im Vorfeld keine besonderen Anforderungen an die Steuerung und über den Betriebsfall hatte vorher keiner nachgedacht.



Abbildung 16: Rußabgase

Technische Lösungen zur Vermeidung solcher Schäden gibt es einige. Hierzu gehören passende Filter- und Überdrucksysteme. Leider möchten die wenigsten Betreiber, zumindest bei nicht systemrelevanten Anlagen, auf entsprechende Investitionen solcher Zusätze verzichten. Eine Kostennachanalyse fand nicht statt. Controlling gab es nur während der Investition. Es fiel nicht auf dass die Elektrikerschicht bereits dreimal den Schaltschrank gesäubert und überbrückt hat. Die Investitionen in ein erweitertes System hätten die Aufwandskosten verringert. Der kurzfristige Erfolg während der Anschaffung war schnell aufgebraucht. Dieses Vorgehen entspricht leider nicht der oftmals hoch aufgehängten Philosophie von Nachhaltigkeit oder eines geringen CO₂ Fußabdrucks.

4 Chemische Beanspruchung

Geräte sind chemischen Angriffen ausgesetzt die selbstverständlich nach Einsatz, Betrieb und örtlichen Verhältnissen stark unterschiedlich ausfallen. So sind Ventilatoren, die beispielsweise auf Schiffen genutzt werden, immer entsprechenden Off-Shore Verhältnissen anzupassen. Die Beständigkeit gegen salzige und feuchte Wetter ist essenziell. Ähnliche Anforderungen bestehen bei Hauptventilatoren in Salzbergwerken bei schachtnaher Aufstellung. Je nach Druckwetterlage kann eindringende Feuchtigkeit zusammen mit der salzigen Luft für entsprechende Korrosion sorgen. Hier genügt es nicht eine passende Lackierung der Stahlbauteile vorzunehmen.



Abbildung 17: Oberflächenkorrosion

Weitere Bauteile aus Kunststoff, wie zum Beispiel Schwingungsdämpfer und Kompensatorbauteile müssen materialtechnischen Anforderungen entsprechen und dürfen nicht vorzeitig altern. Die Materialauswahl bei der Konstruktion der Geräte ist sorgfältig zu bestimmen. Nicht alle Edelstähle sind im Salz einsetzbar, ebenso nicht bei Abwettern die angereicherten Schwefelgase enthalten. Wird hierbei nicht im Vorfeld die Zusammensetzung geklärt, droht eine sehr schnelle Korrosion verschiedenster Materialien. Nicht dauerhaft betriebene Anlagenteile wie beispielsweise Absperr- und Revisionsklappen oder Bremsen werden vorgeschädigt und funktionieren nicht mehr einwandfrei.

In wenigen Fällen ist eine chemische Reaktion von verschiedenen verwendeten Stoffen und Materialien zu erwarten. Kein Maschinenbauer oder Schmierstoffhersteller kann alle chemischen Zusammensetzungen prüfen. Reaktionen von neuen Trenn- oder Schmiermitteln mit bestimmten örtlichen Luftbestandteilen sind nicht vorhersehbar. Speziell im Bergbau ist zu erkennen dass jede Lagerstätte eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung der Wetter aufweist, ohne dabei gegen Grenzwerte bestimmter Schadstoffe zu verstoßen. Dennoch ist nicht zu vermeiden, dass Bauteile chemisch geschädigt werden. Die Anzahl der chemischen Partikeln ist besonders im Inneren des Ventilators aufgrund der hohen Luftmenge die bewegt wird, sehr groß. Durch diese Begebenheit erfahren die Bauteile eine wesentlich konzentriertere Exposition als auf den ersten Blick angenommen. Die chemische Beständigkeit mag genauso hoch sein wie bei anderen Bauteilen, zeitlich gesehen allerdings potenziert.



Abbildung 18: chemische Reaktion im Inneren

Leider ist ein Ventilator genau für einen der wesentlichen Voraussetzungen von Korrosion gebaut: Sauerstoff. So fehlen nur noch wenige Komponenten mehr, um ein ausreichendes Korrosionspotenzial zu erhalten.

5 Explosionsfähige Gase

Für den Umgang mit explosionsfähigen Gemischen im Förderstrom gibt es viele Regelwerke. In Normen und Richtlinien werden die genauen konstruktiven Voraussetzungen für elektrische und nicht-elektrische Betriebsmittel vorgegeben, so dass in diesem Rahmen hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

Der Maschinenhersteller lässt die explosionsgeschützte Bauform durch eine dritte, zertifizierte Stelle bestätigen und garantiert so die Minderung des Risikos.

Diese Anforderungen kommen zu den bereits beschriebenen hinzu, so dass die Prüfungen in Bezug auf Materialpaarungen und Materialeigenschaften noch umfangreicher ausfallen. Der hauptsächliche Explosionsschutz, nämlich das Verhindern eines offenen zündfähigen Funkens, muss entsprechend des notwendigen Ex-Schutzes und der nicht zu erreichenden Zündtemperatur gewährleistet sein. Insbesondere ist der notwendige Potentialausgleich im Vordergrund, welcher nicht nur die einzelne Maschine betreffen kann. Großflächige Bauteile mit falscher Lackierung oder nicht geerdeten Komponenten stellen ein ebenso großes Gefährdungspotential dar welches der Betreiber in seiner Gesamtrisikoaanalyse reflektieren muss.

Die genannten Beispiele aus der Praxis zeigen dass der Betreiber immer das Gesamtsystem durchdenken muss -dies aus ganz unterschiedlichen Ansätzen. Teilweise entstehen neuartige Fehlerursachen, die weder Maschinenhersteller, noch Maschinenbetreiber im Vorfeld des normalen Rahmens eines Engineering State of the Art erkennen können.

Bergbautauglichkeit gilt in jeder Hinsicht für Mensch und Maschine.

Jens Kegenhoff
jens.kegenhoff@korfmann.com

Korfmann Lufttechnik GmbH
Hörder Str. 286
58454 Witten

PERFORATOR

PERFORMANCE PIPES



DRILL PIPES & DRILLING TOOLS

Our Drill Pipes products:

Augers and Cutter Heads · Rotary Drilling Rods
DTH Rods · RC Rods · HDD Drill Rods
Subs · Drill Collars, Stabilizers
Casing Systems for Foundation Drilling

MORE PRODUCTS:

Thrustboring Machines · Injection Technique · Mining Equipment

www.perforator.de

PERFORATOR GmbH Bei dem Gerichte, 37445 Walkenried, Germany
Tel: +49 5525 201-0, Fax: +49 5525 201-48, E-Mail: info@perforator.de

Die Online Analyse des Bohrkleins bei der Herstellung von Sprengbohrungen

Prof. Dr.-Ing. habil. Hossein Tudeshki, Hessam Korei
TU Clausthal Lehrstuhl für Tagebau und Internationaler Bergbau

1 Einleitung

Die Erfassung des Erzgehaltes gehört zu einer der elementaren Aufgaben im Bergbau. Mineralische Rohstofflagerstätten sind entstehungsbedingt heterogen aufgebaut.

Der Erzgehalt innerhalb einer Lagerstätte kann in kurzen räumlichen Distanzen variieren. Epigenetische Ablagerungen können zu kleinräumigen Konzentrationen von nutzbaren und nicht nutzbaren Gesteinen innerhalb eines Vorkommens führen. Gleiches gilt für geochemische Veränderungen infolge von Altrationsprozessen, Lösungsvorgängen und Verwitterungsprozessen. Hinzu kommt der Umstand, dass mineralische Rohstoffvorkommen selten eine regelmäßige Form aufweisen und somit auch keine im Voraus in Detail erkundbaren Grenzen zwischen Nebengestein besitzen. Resultierend reicht der Detaillierungsgrad der Vorerkundungsmaßnahmen für die täglich notwendige Qualitätssteuerung im Bergbau und der angeschlossenen Aufbereitung nicht aus.

Zur Gewährleistung eines Qualitätsmanagements werden daher täglich Proben an verschiedenen Stellen der Prozesskette genommen und im Labor geochemisch untersucht. Gewöhnlich erfolgt die Probenahme aus dem Bohrmehl von Sprengbohrungen, dem gesprengten Haufwerk, der Halden, sowie vor und nach den Prozessen der Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung. Die Probenahme, Analyse sowie Dokumentation aller damit verbundenen Vorgänge und Ergebnisse ist zeit- und kostenintensiv. In der Vergangenheit wurden daher eine Reihe von Technologien und Messvorrichtungen zur Online Analyse des Erzgehaltes im Bergbau entwickelt. Diese Technologien basieren alle auf dem physikalischen Messprinzip der Spektroskopie. Sie werden als sogenannte Cross Belt Analyser zur kontinuierlichen Online Analyse des zerkleinerten Haufwerkes auf Bandanlagen eingesetzt. Die Entwicklung eines Online Analysators, der im frühen Stadium der Prozesskette störungsfrei eingesetzt werden kann, ist eines der Ziele zur Optimierung des Qualitätsmanagements im Bergbau.

Der vorliegende Beitrag stellt einen neuen Analysator vor, welcher in Kooperation mit der Firma Knauf KG mit der genannten Zielsetzung entwickelt wurde. Der Analysator wurde für die Online Analyse des Bohrkleins während der Herstellung von Vollbohrungen entwickelt. In diesem Beitrag wird die Nutzung des Online Analysators in Kombination mit einem Sprengbohrgerät vorgestellt.

2 Funktionsprinzip des Online Analysators

Das Messprinzip des Online Analysators basiert auf dem physikalischen Zusammenhang der passiven Akustik und der Wellenausbreitungstheorie. Die Messung erfolgt durch die Aufnahme und Analyse der Schwingungen, die durch die Kollision des Bohrkleins mit einem Oszillator entstehen. Die Messsignale werden über eine Verbindungsleitung zu einer elektronischen Auswerteeinheit weitergeleitet. Die Signalverarbeitung und Berechnung des Erzgehaltes finden in dieser Einheit statt. Die elektronischen Komponenten des Analysators sind in der Fahrerkabine untergebracht. Nach der Analyse und Auswertung der Signale werden die Ergebnisse gespeichert und für den Maschinenfahrer visualisiert. Die Ergebnisse können direkt fernübertragen werden oder von der Maschine je nach Bedarf abgelesen werden.

3 Implementierung des Online Analysators in ein Sprengbohrgerät

Das Messgerät setzt die Dispergierung des während des Bohrprozesses entstehenden Bohrkleins voraus. Alle Bohrgeräte mit einer Entstaubungsanlage verfügen über diese Eigenschaft. Das Bohrklein wird direkt am Bohrlochmund abgesaugt. Dieses wird mit einer relativ hohen Geschwindigkeit durch eine flexible Leitung bis zur Entstaubungsvorrichtung transportiert. Der Eintritt des Bohrkleins in den Entstaubungsbehälter entspricht dem Prinzip einer Dispergiereinheit. Die Messvorrichtung wird in derselben Höhe des Massenstroms in entgegengesetzter Richtung installiert. Damit sind die Messvoraussetzungen erfüllt. In den nachstehenden Abbildungen ist der Einbau eines Online Analysators in ein Sprengbohrgerät dokumentiert. Abbildung 1 zeigt das mit der Entstaubungsanlage versehene Bohrgerät (links), die Entstaubungseinheit (Mitte) sowie die Position des Messkopfes bezogen auf die Austrittsposition des Bohrkleins (rechts). Wie aus Abbildung 1 (rechts) zu entnehmen ist, trifft das abgesaugte Bohrklein direkt auf den Messkopf.

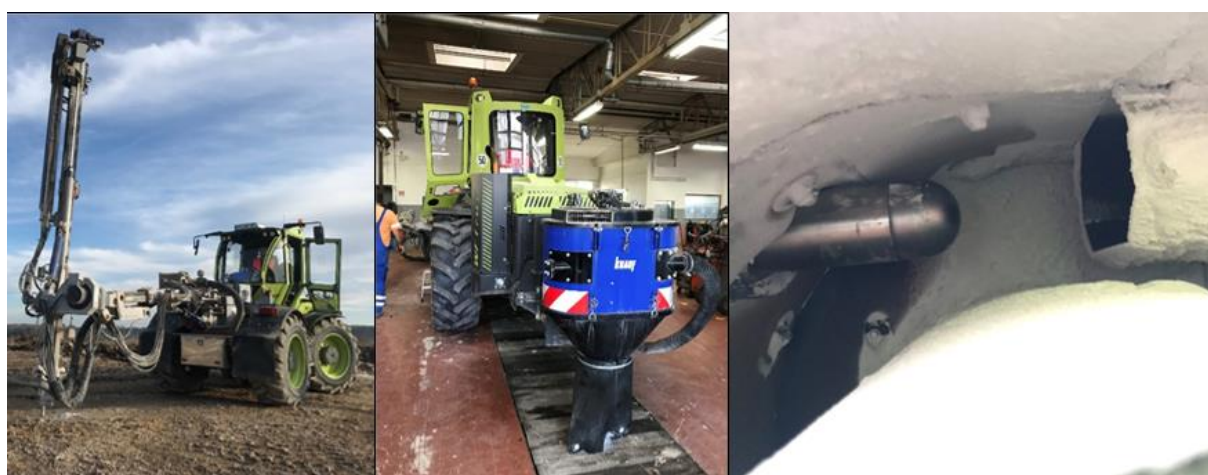


Abbildung 1: Bohrgerät mit Entstaubungsanlage sowie Position des Online Analysators

Abbildung 2 zeigt die Unterbringung der Elektronikeinheit in der Kabine des Bohrgerätes und die Bedien- und Visualisierungsvorrichtung für den Bohrwagenfahrer.



Abbildung 2: Unterbringung der Elektronikeinheit und Aufzeichnungsmonitor zur Visualisierung der Messergebnisse

4 Ablauf der Messung und Darstellung der Messergebnisse

Die Algorithmen des Online Analysators berücksichtigen weitere Zusatzinformationen der Maschine. Der Analysator erhält kontinuierlich Informationen über die mechanischen und dynamischen Zustandsänderungen während des Bohrvorgangs. Sobald der Bohrvorgang beginnt und der Massenstrom des Bohrkleins die Messvorrichtung erreicht beginnt der Messvorgang. Die Messung wird kontinuierlich während des Bohrvorgangs durchgeführt. Etwaige Unterbrechungen, kurzzeitiges Ziehen und wieder Versenken des Bohrgestänges und ähnliche Zustandsänderungen werden automatisch erkannt und in der Datenverarbeitung und Signalauswertung berücksichtigt. Die Online Analyse erfolgt im Millisekundentakt. Hierdurch erfolgt eine tiefenabhängige Bestimmung des Erzgehalts. Die tiefenabhängige Erfassung der Qualitätsverteilung entlang einer Bohrung ermöglicht die kontinuierliche Zuordnung der Qualität in Abhängigkeit der Tiefe. Jegliche Inhomogenität, Diskontinuität und sonstige Anomalie wie etwa Erzkonzentration und -verdünnung, Störungen, Zwischenlagerungen und die räumliche Lage des Nebengesteins werden Online erfasst. Die Berechnungsalgorithmen ermöglichen eine große Bandbreite der statistischen Auswertung der Ergebnisse. Abbildung 3 zeigt exemplarisch das Ergebnis der Qualitätsanalyse des Bohrmehls entlang von vier nebeneinander niedergebrachten Sprengbohrungen dokumentiert.

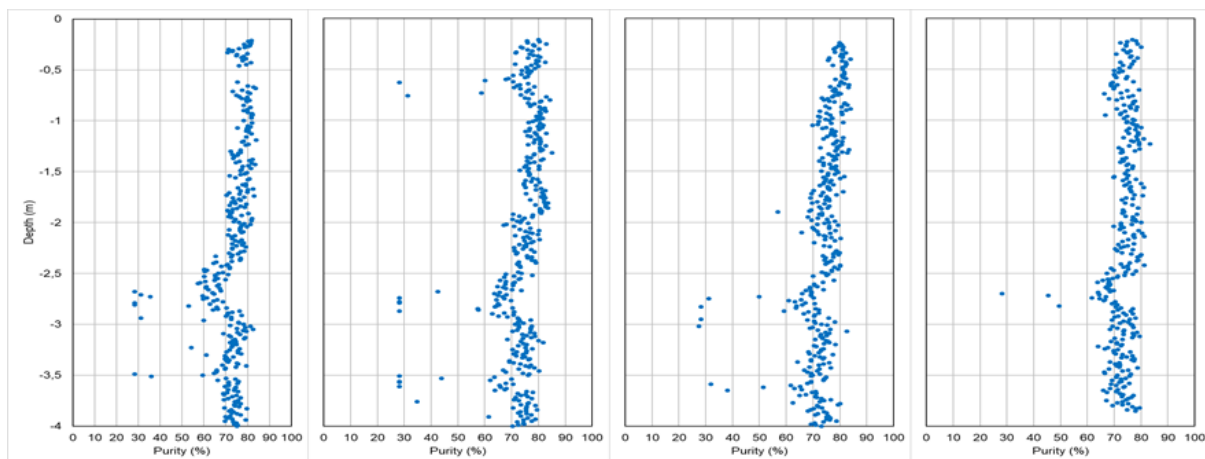


Abbildung 3: Tiefenabhängige Visualisierung der Online Qualitätsanalyse des Bohrmehls entlang von vier Sprengbohrungen

In diesem Fall wurde der Reinheitsgrad einer Gipslagerstätte entlang dieser vier Bohrungen Online berechnet. Die Online Analyse bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Weiterverwendung und Weiterverarbeitung der Analyseergebnisse. Abbildung 4 stellt eine dieser Möglichkeiten dar.



Abbildung 4: Zweidimensionales Qualitätsprofil der Lagerstätte basierend auf den Ergebnissen der Online Analyse des Bohrmehls von 22 Sprengbohrungen

Dargestellt sind die Ergebnisse der Online Analyse des Bohrmehls aus 22 Sprengbohrungen, die bei der Herstellung einer Bohrreihe vor der Sprengung Online ermittelt wurden. Das zweidimensionale Qualitätsprofil zeigt den Qualitätsverlauf der Lagerstätte im Untergrund. Im oberen Abschnitt und im Bereich der Bohrsohle sind bei allen Bohrungen der Bohrreihe drei Horizonte mit geringer Qualität zu erkennen. In diesem Fall liegt eine systematische Qualitätsverteilung in dem erbohrten Abschnitt vor. Die Visualisierung der Rohstoffqualität durch den Farbverlauf und deren Vergleich mit dem geologischen

Aufbau der Lagerstätte zeigt, die über die Online Analyse hinausgehenden Möglichkeiten der Modellierung von Lagerstätten, auf Basis der Messergebnisse (Abbildung 5).

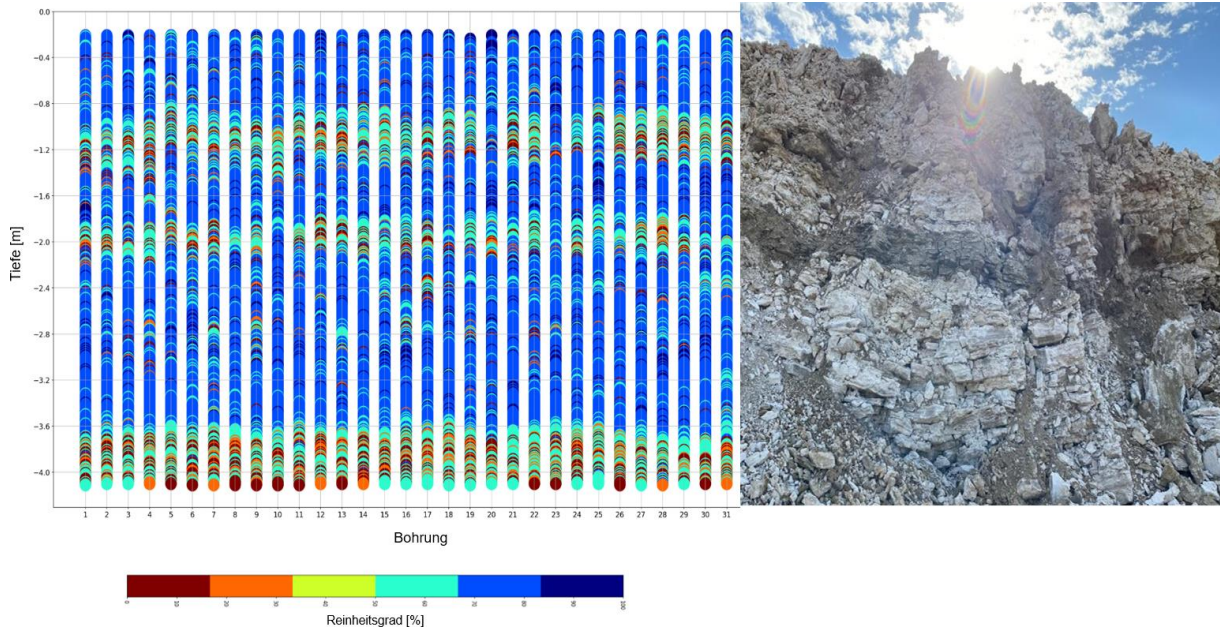


Abbildung 5: Zweidimensionales Qualitätsprofil der Lagerstätte (in Farbverlauf) basierend auf den Ergebnissen der Online Analyse des Bohrmehls von 31 Sprengbohrungen

In Abbildung 6 sind die Online Analysen des Bohrmehls, die bei der Herstellung von Sprengbohrungen in einer weiteren Gipslagerstätte ermittelt wurden dargestellt. Die Ergebnisse der Online Analyse des Bohrmehls zeigen, dass sich die Veränderung der Rohstoffqualität hauptsächlich an einer leicht gefalteten Zone orientiert.

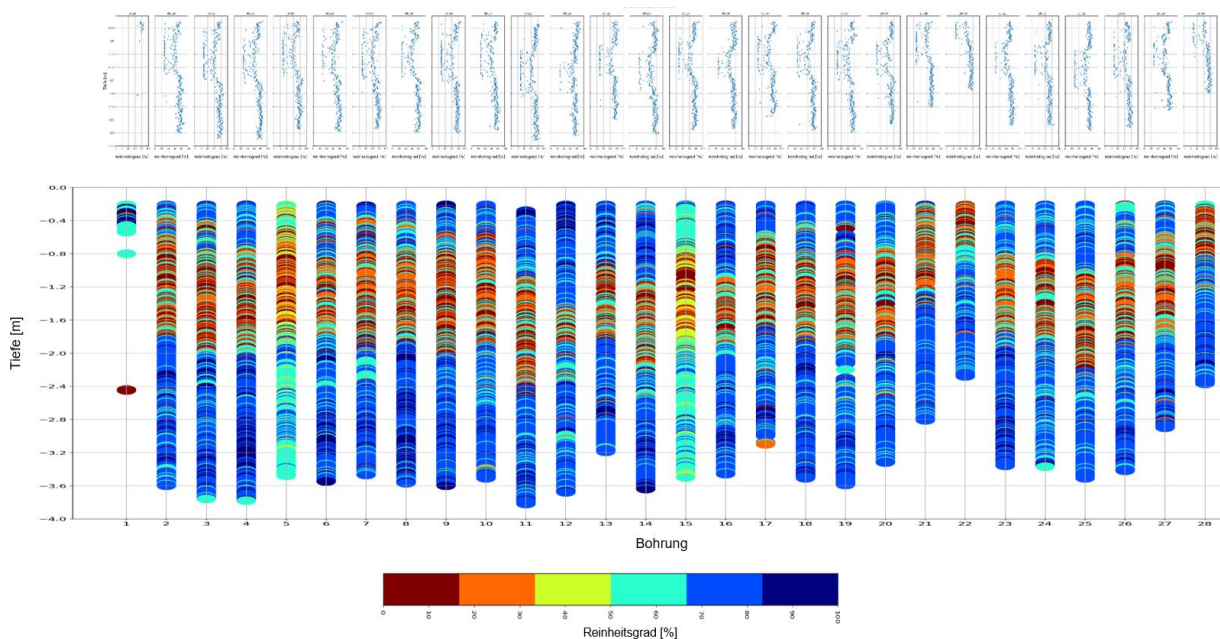


Abbildung 6: Zweidimensionales Qualitätsprofil der Lagerstätte (im Farbverlauf) basierend auf den Ergebnissen der Online Analyse des Bohrmehls von 28 Sprengbohrungen

Die zweidimensionale Visualisierung der Ergebnisse verdeutlicht das Potential des entwickelten Verfahrens zur vorseilenden Erfassung der Lagerstättenqualität. Bei der Analyse des Bohrmehls aller Sprengbohrungen, die in einem Betrieb niedergebracht werden besteht die Möglichkeit die Analysedaten zur Bildung von dynamischen Lagerstättenmodellen zu verwenden. Ausgehend von einem Initialmodell, das auf Basis der primären Lagerstätten erkundung erstellt wird erfolgt die Ergänzung des Modells durch die Analyse des Bohrmehls jeder weiteren Sprengbohrung. Die Sprengbohrungen werden somit zur detaillierten Erkundungsbohrungen. Die Informationsdichte erlaubt die Überarbeitung und Ergänzung des Primärmodells. In einem dynamischen Prozess, beginnend mit dem Aufschluss bis hin zum Auslaufen der Gewinnung entsteht ein dynamisches Lagerstättenmodell, das die Basis für eine qualitätsgesteuerte Abbauplanung bildet. Diese detaillierte Bestimmung der Qualitätsverteilung dient der täglichen Qualitätssteuerung im Betrieb. Darüber hinaus wird die Qualität des nachstehenden Rohstoffs zumindest im nahen Bereich der letzten Sprengbohrung prognostizierbar. Bei jeder neuen Bohrreihe werden Prognosen verifiziert, sodass der Informationsgehalt über die Qualitätsverteilung in der Lagerstätte kontinuierlich steigt.

5 Verfügbarkeit und Systemgenauigkeit des Online Analysators

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass das Messsystem sehr stabil arbeitet. Im ersten Einsatz wurde der im Bohrgerät integrierte Analysator in sieben Tagebauen eingesetzt. Es wurde die Qualität von mehr als 3.000 Sprengbohrungen mit dem Analysator Online bestimmt. Während dieser Periode war das Messsystem zu 100 % verfügbar. Einige Vergleichsuntersuchungen zeigen, dass das System über eine ausreichende Messgenauigkeit für den Einsatz im Bergbau verfügt. Erweiterte Untersuchungen belegen, dass der Online Analysator insbesondere in metallischen Lagerstätten über eine hohe Genauigkeit aufweist. Basierend auf den bisherigen Erfahrungen werden die Algorithmen zur Erhöhung der Messgenauigkeit erweitert.

6 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag wurde ein Analysator zur Online Erfassung des Erzgehaltes bei der Herstellung von Sprengbohrungen vorgestellt. Der in Kooperation mit der Firma Knauf entwickelte Analysator wurde in einem Sprengbohrgerät integriert. Die Messung des Erzgehalts erfolgt während der Herstellung der Sprengbohrlöcher im Millisekundentakt. Die Ergebnisse liegen unmittelbar vor. Sie werden Fernübertragen und in ein dynamisches Lagerstättenmodell integriert. Die Erfassung der Qualitätsverteilung der Lagerstätte vor der Sprengung erlaubt die Optimierung der Qualitätssteuerung. Darüber hinaus kann die Qualität der nachfolgenden Abschlüge prognostiziert werden.

Mit der vorgestellten Entwicklung wird jede Sprengbohrung zu einer detaillierten Erkundungsbohrung. Die Lagerstätte wird entsprechend des Bohrrasters erkundet. Das gesamte Bohrklein einer Bohrung wird auf den Erzgehalt analysiert. Die Frequenz der Messung im Millisekundentakt und die Dichteverteilung des Bohrrasters ermöglichen eine neue Dimension der Lagerstätten erkundung und Qualitätssteuerung im Bergbau.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hossein Tudeshki
tudeshki@tu-clausthal.de

Hessam Korei
hessam.korei@tu-clausthal.de

TU Clausthal
Institut für Bergbau
Erzstraße 20
38678 Clausthal-Zellerfeld



iSURE® SOFTWARE INTELLIGENTES BOHREN UND SPRENGEN

Die iSURE® (Intelligent Sandvik Underground Rock Excavation) Software ist ein Computerprogramm für die Steuerung von Bohr- und Sprengprozessen im Tunnel-, Tief- und Bergbau. Sie liefert alle Daten, die Sie für einen optimierten Bohr- und Sprengzyklus benötigen und bietet zusätzlich präzise Analysefunktionen zur Verbesserung des Arbeitszyklus.

Treiben Sie mit Sandvik iSURE® Ihre Sprengprozesse voran!



Entdecken Sie Sandvik iSURE®
[ROCKTECHNOLOGY.SANDVIK](https://rocktechnology.sandvik.com)



Wann ist krumm wirklich krumm? Einflussfaktoren auf die Elastizitätsgrenzen von Bohrgestänge- rohren

Dr. Sebastian Leif Schulze, Dr. Alexander Häse, Stephanie Siegfanz, Dr. Steffen Zimmermann
Mannesmann Precision Tubes GmbH

An Rohre, die für die Erkundung von geologischen Formationen und Lagerstätten oder für das Auffahren von Richtbohrungen verwendet werden, werden drei wichtige Anforderungen gestellt:

- definierte mechanisch-technologische Eigenschaften
- ein niedriges Eigenspannungsniveau
- die Einhaltung der geforderten Geradheit.

Alle drei Eigenschaften führen in Summe dazu, dass der Bohrstrang multiplen Lastkollektiven standhalten kann. Diese Lastkollektive setzen sich aus Zugspannungen durch das Eigengewicht des Strangs, aus Torsionsspannungen durch die Rotation des Strangs und aus Biegemomenten durch Richtungsabweichungen während des Bohrvorgangs zusammen. Wenn diese Spannungskollektive auf ein ungünstiges Eigenspannungsniveau treffen, kann sich das Rohr verformen oder gar ausfallen.

Deshalb ist es für den dauerhaften Betrieb des Bohrstrangs immens wichtig, das Eigenspannungsniveau mit den mechanisch-technologischen Eigenschaften und der Rohrgeradheit auszubalancieren.

Das Ziel des Versuchsprogramms war es, das Eigenspannungsniveau durch die Adaption der Herstellungsparameter für kaltgezogene Stahlrohre neu auszutarieren. Dabei wurde der Kaltumformgrad konstant gehalten, die Wärmebehandlungen vor und nach den Richtprozessen allerdings verändert. Die Einflussfaktoren und deren Wechselwirkung wurde mittels Design of Experiments bestimmt und in einem Pareto-Diagramm nach ihrer Wichtigkeit bewertet.

Exemplarisch wurde die Stahlgüte AISI 4130 bzw. 30CrMo4 untersucht. Die Rohre wiesen einen Außendurchmesser von 69,9 mm bzw. 88,9 mm auf. Zur Bestimmung der Rohreigenschaften wurde ein 4-Punkt-Biegeversuch aufgebaut und die nach einem Zyklus der Be- und Entlastung verbliebene Restdehnung ermittelt. Je höher das Niveau der Biegekraft ausfällt, bei dem eine akzeptable plastische Restdehnung überschritten wird, desto höheren Belastungen kann das Rohr im Anwendungsfall standhalten und trotzdem aus der ausgelenkten Position elastisch zurückfedern.



Drillmax®
Steel Tubes
for all kinds of drillings

- high-strength steel grades
- extraordinary straight
- low residual stresses
- high wear protection
- tightest tolerances of mechanical properties
- checked 100% to ensure highest surface standards

DRILMAX

 **MANNESMANN
PRECISION TUBES**
A Member of the Salzgitter Group

 mannesmann-precision-tubes.com
 drilling@mannesmann.com
 +49 208 458-1602

Die applizierten manuellen und automatisierten Richtprozesse wurden als Haupteinfluss identifiziert. Sie beeinflussen maßgeblich die Ausprägung des Eigenspannungsniveaus und damit auch das elastisch-plastische Verhalten der Rohre. Die Wahl der Wärmebehandlungstemperaturen vor und nach dem Richten können diesen Einfluss mindern, aber nicht eliminieren.

Dr. Sebastian Leif Schulze
sebastian.schulze@mannesmann.com

Dr. Alexander Häse

Stephanie Siegfanz

Dr. Steffen Zimmermann

Mannesmann Precision Tubes GmbH
Wiesenstraße 36
45473 Mülheim an der Ruhr

Modernisierte Generation der Lang- und Großlochbohrgeräte der HAZEMAG Mining für den Kali- und Salzbergbau

Dr. Frank Bauer, Siegfried Harhoff
HAZEMAG Mining GmbH

1 Einleitung

Im Zuge der strategischen Neuausrichtung der HAZEMAG Mining GmbH wurde in den letzten 3 Jahren die Baureihe der Lang- und Großlochbohrgeräte in ihrer Grundauslegung und ihren technischen Parametern an die aktuellen Anforderungen des Kali- und Salzbergbaus angepasst, die sich aus der neuen CE-Bohrgeräterichtlinie, den verschärften Abgasnormen und der Entwicklung des Grubenzuschnittes ergeben.

Die auf die unterschiedlichen Bohraufgaben zugeschnitten Baugrößen, die neuen Steuerungs- und Sicherheitskonzepte und die Maßnahmen zur Erhöhung der Mobilität für ein schnelles Umsetzen der Bohrgeräte in weit ausgedehnten Grubengebäuden werden vorgestellt und erläutert.

2 Bohraufgaben, Baugrößen, technische Merkmale der HAZEMAG-Bohrgeräte

Zu Beginn des Jahres 2019 hat die HAZEMAG Mining GmbH die Produkte der Bohrgerätesparte der Deilmann-Haniel Mining Systems GmbH übernommen und seitdem systematisch mit ihrer eigenen Baureihe der TURMAG-Bohrgeräte verschmolzen. Im Zuge dieser Maßnahme wurde die technische Grundauslegung der Bohrsysteme umfassend an die aktuellen Anforderungen des Marktes angepasst.

Die HAZEMAG Mining GmbH verfügt über ein umfangreiches Portfolio an Bohrgeräten, die gemeinsam mit den Anwendern vorrangig für den Einsatz im heimischen Steinkohlentiefbau und Kalibergbau entwickelt wurden, aber auch international eingesetzt werden, wenn in anderen Bergbausparten oder im Tunnelbau vergleichbare geologische Bedingungen und Bohraufgaben anzutreffen sind. Die Bohrgeräte der HAZEMAG Mining GmbH zeichnen sich durch ihre kompakte und modulare Bauweise, ihre hohe Leistungsfähigkeit und ihre zuverlässigen Steuerungssysteme aus.

Die HAZEMAG-Bohrgeräte sind bedienungs- und wartungsfreundlich aufgebaut. Alle Wartungsstellen und Teile, die bei Bedarf ausgetauscht werden, sind für das Servicepersonal gut zugänglich. Zentral angeordnete Schmierblöcke stellen einen schnellen Anlauf der zyklischen Wartung sicher. Mit geringem Aufwand und in kurzer Zeit werden die Transporteinheiten am Bohrort zu einer funktionsbereiten Anlage montiert sowie nach Abschluss der Bohrarbeiten wieder zerlegt und schnell innerhalb des Grubengebäudes umgesetzt.

Die wesentlichste Eigenschaft der HAZEMAG-Bohrgeräte ist ihr modularer Aufbau, der es ermöglicht, sie individuell für die spezifischen Bohraufgaben und Einsatzbedingungen der Anwender auszugestalten. Das nach dem Baukastenprinzip aufgebaute Portfolio beinhaltet eine Vielzahl von Komponenten, die in mehreren Baugrößenabstufungen verfügbar sind, einerseits um das gesamte Spektrum der nachgefragten Bohraufgaben abzudecken und andererseits um für eine wirtschaftliche Instandhaltung gleichzeitig einen möglichst hohen Anteil an mehrfachverwendeten Komponenten und Teilen sicherzustellen.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil, der sich aus der modularen Struktur ergibt, ist die Möglichkeit mit geringem Aufwand vorhandene Bohrgeräte für neue Anwendungsbedingungen umzurüsten oder Altgeräte auf den neuesten Stand der Technik zu bringen, indem Module ausgetauscht oder ergänzt werden. Dies ist in der Regel mit geringem Montageaufwand möglich. In zahlreiche Anwendungen sind bereits Umrüstsätze mit den zugehörigen Bohrwerkzeugauslegungen verfügbar.

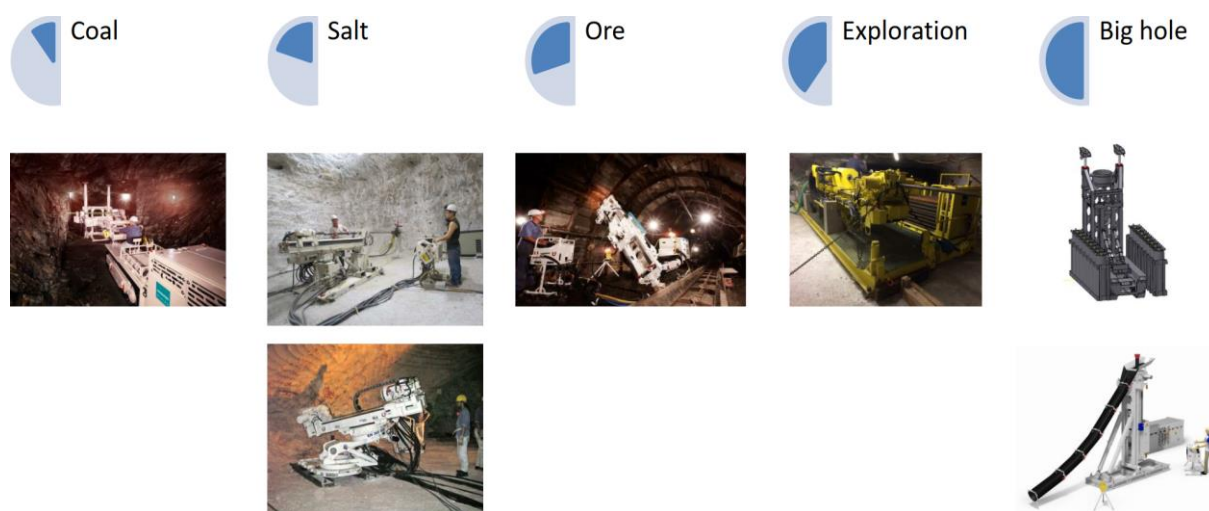


Abbildung 1: Anwendungsbereiche der HAZEMAG Bohrgeräte

Die Bohrgeräte werden wahlweise elektro-hydraulisch oder pneumatisch angetrieben. Da aber auf Grund seiner geringeren Wirtschaftlichkeit der Einsatz von Druckluft im Bergbau weltweit weiter rückläufig ist, ist der Anteil der elektro-hydraulisch angetriebenen Bohrgeräte inzwischen deutlich größer. Dennoch werden die in ihrer Bauweise leichteren, einfacher zu handhabenden und zu steuernden Druckluft-Maschinen der alten TURMAG-Baureihe von den Anwendern geschätzt und insbesondere in Sondersituationen weiterhin eingesetzt, wenn die Rahmenbedingungen dies ermöglichen und es vorteilhaft ist, am Bohrort auf eine Versorgung mit Elektroenergie zu verzichten. Dies trifft vor allem auf die kleineren Baugrößen HTS 4, HLP 60/75/100/120 zu, für deren Energieversorgung dann häufig mobile Kompressoren mit einem Volumenstrom von bis zu 18 m³/min bei einem Betriebsdruck von 7 bar ausreichend sind.

Besonders zu erwähnen ist hier das handgeführte pneumatische Bohrgerät HTS 4, das im Kali- und Salzbergbau genutzt wird, um kurze Spreng- oder Ankerlöcher herzustellen. Dieses mit der Präzision eines Schweizer Uhrwerkes ausgeführte Bohrgerät arbeitet über Jahre praktisch völlig wartungsfrei und wird weltweit in großer Stückzahl eingesetzt. Mit seiner Hilfe können auch kleinkalibrige Langlöcher auf Bohrteufen bis 30 m gestoßen werden.

Gebohrt wird mit den HAZEMAG-Bohrgeräten grundsätzlich in alle Raumrichtungen. Um das Transportieren und Aufstellen der Bohrgeräte zu erleichtern, ist eine Vielzahl von technischen Lösungen verfügbar, die Aufstellrahmen, Schwenk- und Aufrichteinrichtungen, Lafettenrahmen mit teleskopierbaren Spannstützen, Abspannketten, Raupenfahrwerke und Abstützungen beinhalten, die auch mit rad- oder gleisgeführten Transportfahrzeugen kombiniert werden können.

Ein wesentlicher Vorteil der HAZEMAG-Bohrsysteme für Langlochbohrungen ist die in die hydraulische Steuerung integrierte Antifestbohrautomatik, die dafür sorgt, dass insbesondere beim Durchbohren von geologischen Störungsbereichen bei erhöhtem Widerstand durch „drückendes Gebirge“ die Geschwindigkeit des Bohrschubs zurückgenommen wird, wenn die Drehzahl abfällt. Diese Funktion stellt sicher, dass das System sich selbsttätig „freibohren“ kann und es nicht zum „Festbohren“ und somit zum Verlust von Bohrwerkzeugen kommt. Dieser Steuerungsmodus hat sich vielfach in der Praxis bewährt und sorgt dafür, dass auch unter schwierigsten geologischen Bedingungen Bohrungen sicher erstellt werden können.

Die anspruchsvollste Aufgabe ist das einfallende Bohren, da hier vor allem bei größeren Bohrlängen das Bohrklein nur mit einer Wasser- oder Laugenspülung hydraulisch ausgetragen werden kann. Das Spülmedium muss in der Regel aufgefangen, gefiltert und in einem geschlossenen Kreislauf gefahren werden. Hierfür wird die Bohranlage zusätzlich um leistungsstarke Spülpumpen und Absetzbecken ergänzt.

Großlochbohrungen werden grundsätzlich vertikal ansteigend im Bereich von 90 – 60° erstellt, da dieses Verfahren auf der Abförderung des Bohrkleins durch Schwerkraft basiert. Die HAZEMAG Mining GmbH setzt hier ausschließlich das TURMAG Erweiterungsbohrverfahren mit Stufenbohrköpfen ein. Diese besondere Anwendung wird nachstehend separat erläutert. Im Kali- und Salzbergbau kommt das hierfür speziell zugeschnittene Bohrgerät HLH 500 zum Einsatz, seine technischen Parameter sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

In diesem Beitrag werden vorrangig die im Kali- und Salzbergbau eingesetzten Geräte betrachtet, die in der nachstehenden Gesamtübersicht der HAZEMAG Bohrgeräte gelb markiert sind.

- HAC 18 - Air compressor
- HDP 15 - Drifter, hydraulic
- HDR 1/2/3/P1 - Rotary Drills, hydraulic
- HLH 60/110/120/120C/165/170C/220/260/260C/400/1000 - Long Hole Drilling Machines (hydraulic)
- HLH 500/1550 (pneumatic) - Big Hole Drilling Machine (hydraulic)
- HLP 1200
- HLP 60/75/100/120/150 - Long Hole Drilling Machines (pneumatic)
- HME 4500 - Mobile Erection Machine
- HMM 2300 - Mobile Mover
- HMT 18/40 - Mobile Transporter
- HTS 4/HTH 4 - Hand-Held Drilling Machine (pneumatic)

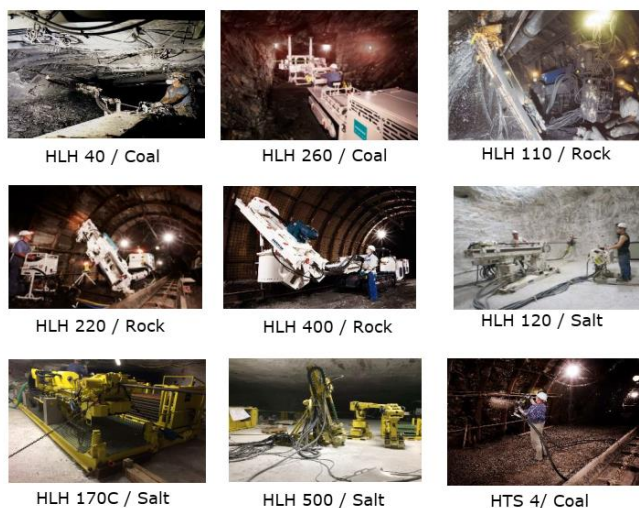


Abbildung 2: Übersicht der Baureihen der HAZEMAG Bohrgeräte

3 Erweiterung des Produktportfolios um die Baureihe der Kernlochbohranlagen

Der modulare Aufbau, der in der Vergangenheit ausschließlich für Vollbohrungen eingesetzten Langlochbohrgeräte, bot optimale Voraussetzungen, um durch einige zusätzliche Komponenten und mit minimalem Anpassungsaufwand die Bohrgeräte auch für das Kernlochbohren einsetzen zu können. Ein Schlüsselthema war die Entwicklung eines eigenen Spannkopfes. Dieser Schritt wurde erfolgreich umgesetzt. Erste Geräte der wesentlichen Baugrößen sind bereits im Einsatz, weitere sind in Vorbereitung.

Mit der patentierten „Bohrgestänge-Schubeinrichtung“ wurde von der HAZEMAG Mining GmbH ein neues Mechanisierungselement in die Prozesskette der Kernlochbohrungen eingebracht, das insbesondere bei großen Bohrlängen ein beschleunigtes Ein- und Ausfahren des Bohrgestänges ermöglicht.

Der Ersteinsatz im Kaliberbau ist erfolgt. Leider hat jedoch die Bohrgestänge-Schubeinrichtung im Grenzbereich ihrer Anwendung, bei ca. 1.000 m Bohrlochstrang und unter schwierigen Verhältnissen, noch nicht die ausreichende Zuverlässigkeit geboten. Dennoch sind wir auf Basis der erreichten Ergebnisse zuversichtlich, dass es mit den Anwendern gemeinsam gelingen wird, in weiteren Einsätzen das System zu optimieren und die Vorteile der deutlich beschleunigten Teilarbeitsabläufe gewinnbringend zu nutzen.

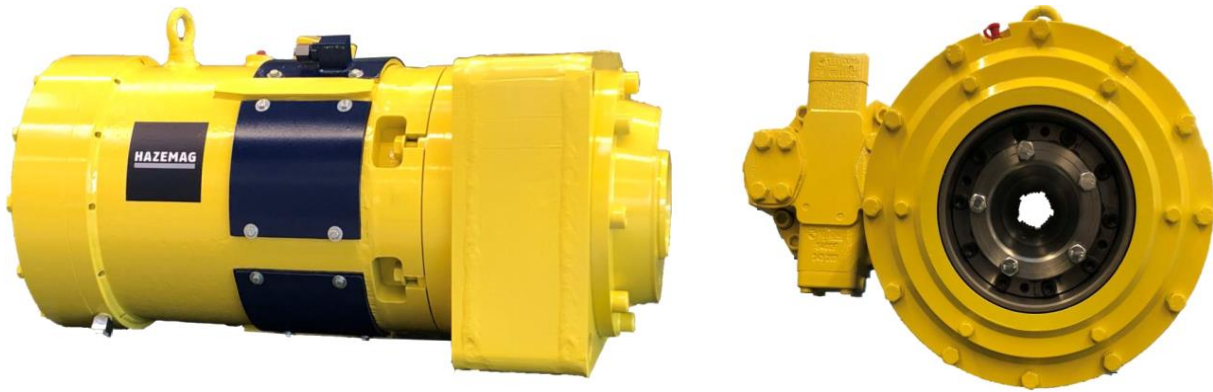


Abbildung 3: Hydraulischer Spannkopf des Bohrgerätes HLH 170C

4 Neue Generation der HAZEMAG-Bohrgeräte für den Kali- und Salzbergbau

Im Kali- und Salzbergbau werden Bohrungen bis zu einer Länge von maximal 400 m als Vollbohrung erstellt, um den Verlauf der Lagerstättenkontur vor zu erkunden und bei Einsatz von Spülversatzverfahren die Restlauge aus den Kammern abzuführen. Für diese Aufgabenstellungen wurden aus dem HAZEMAG-Portfolio zwei Baugrößen speziell ausgelegt, für den unteren Leistungsbereich mit Bohrlängen bis 150 m Länge die HLH 60 sowie für den oberen Leistungsbereich mit Bohrlängen bis 400 m die HLH 120. Die technischen Hauptparameter dieser Bohrgeräte sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Beide Geräte sind in Transport- und Aufstellrahmen integriert, die es mit Hilfe einer Dreh-, Schwenk- und Aufstellrichtung ermöglichen, die Lafette einfach und schnell am Bohrort zu positionieren, auf die geforderte Bohrachse einzurichten und sicher zu Verspannen. Die Transporteinheiten Bohrgerät, Hydraulikaggregat, Steuerstand und Bohrwerkzeugcontainer werden, in Transportrahmen eingebaut, von radmobilen Staplerfahrzeugen oder, auf einen radmobilen Anhänger aufgebaut, von radmobilen Zugfahrzeugen aufgenommen und zum nächsten Einsatzort gefahren.

Gemeinsam mit den Schwestergesellschaften der SK-Gruppe, der GHH Fahrzeuge GmbH, der Mine Master Ltd. und der BAT – Bohr- und Anlagentechnik GmbH, wurden für unterschiedliche Einsatzverhältnisse und Bohraufgaben zahlreiche Projektierungen durchgeführt, um die HAZEMAG-Bohrgeräte auch auf radmobile Trägergeräte aufzubauen. Bisher kamen diese Projektierungen nicht zur Umsetzung, jedoch sind wir gerne bereit, diese technischen Lösungen mit interessierten Anwendern weiter zu verfolgen.

Tabelle 1: Übersicht der HAZEMAG-Bohrgeräte für Vollbohrungen und Großlochbohrungen im Salz

Fullface and Extention Drilling in Salt		Hydraulic				
Specifications:	Unit	HLH 60	HLH 120	HLH 170	HLH 260	HLH 500
Power drill drive (max.)	KW	22	24	40	50	50
Torque, (max.), at rotation speed min.	Nm	540	1200	1700	2600	5000
Torque, (min.), at rotation speed max.	Nm	-	600	-	-	-
Rotation speed, (max.), in torque min.	rpm	440	440	1000	1000	193
Rotation speed, (min.), in torque max.	rpm	-	220	-	-	-
Feed force (max.)	kN	30	50	60	120	120
Withdrawal force (max.)	kN	30	50	100	160	160
working lengths	m	1,0/1,5	1,0/1,5	1,5	1,5	1,5
Size and Weigth (drilling machine):						
Length	mm	3150	3150	3350	3400	3400
Width	mm	490	784	1300	1300	1320
Height	mm	500	516	730	750	780
Weigth	kg	500	650	2200	2400	2400
Downhole parameters						
Drill hole diameter	mm	53-90	53-120	96 (HQ)	96/123 (HQ/PQ)	98-1050
Hole depth for the smallest hole diameter	m	up to 150	up to 400	600	800	up to 1000

Im oberen Längenbereich der Naherkundung werden teilweise und bei Bohrlängen größer 400 m für die Lagerstättenexploration generell Kernbohranlagen eingesetzt. Die hierfür speziell ausgelegten HAZEMAG-Bohrgeräte HLH 120C, HLH 170C und HLH 260C sind mit ihren technischen Hauptparametern in der Tabelle 2 aufgeführt.

Die genannten drei HAZEMAG-Bohrgeräte sind in ihrer Baugröße so dimensioniert, dass sie jeweils den obersten Leistungsbereich für kurze, mittlere und lange Kernbohrungen im Salz sicher abdecken. Das Produktimage der HAZEMAG-Bohrgeräte basiert auf ihrer leistungsstarken, robusten und langlebigen Bauweise. Diese Merkmale wurden auch auf die neue Gruppe der Kernlochbohranlagen übertragen.

Tabelle 2: Übersicht der Bohrgeräte von HAZEMAG für Kernlochbohrungen im Salz

Exploration Drilling		Hydraulic			Pneumatic	
Technical main data		HLH 120C	HLH 170C	HLH 260C	HLP 100C	HLP 150C
Power drill drive (max.)	KW	24	40	50	13	22
Torque drill drive (max.), level 1	Nm	720	1700	2600	420	600
Torque drill drive (max.), level 2	Nm	-	-	-	-	-
Torque drill drive (max.), level 3	Nm	-	-	-	-	-
Rotational speed (max.), level 1	1/min	1000	1000	1000	1000	1000
Rotational speed (max.), level 2	1/min	-	-	-	-	-
Rotational speed (max.), level 3	1/min	-	-	-	-	-
Feed force (max.)	kN	50	60	120	40	70
Retraction force (max.)	kN	50	100	160	40	70
Length of drill rod	m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Dimensions and weigth						
Length	mm	3100	3350	3400	3570	3570
Width	mm	540	1300	1300	800	800
Heigth	mm	500	730	750	510	510
Weigth	kg	650	2200	2400	900	930
Drill hole dimensions						
Typical drill hole diameter	mm	76 (NQ)	96 (HQ)	96/123 (HQ/PQ)	76 (NQ)	96 (HQ)
Length of drill hole (max.) by hole diameter (min.)	m	500	1.000	2.000	300	500

Die HAZEMAG Mining GmbH verfügt über rein hydraulisch realisierte Bohrsteuerungen, die auf Basis langjähriger Einsatzerfahrungen optimiert wurden. Trotz der sehr komplexen Funktionalität sind diese Steuerungssysteme einfach, robust und bedienerfreundlich ausgeführt. Leider wurden durch die neue CE-Bohrgeräterichtlinie sowohl den Bohrgeräte-Herstellern als auch den Anwendern umfangreiche zusätzliche Anforderungen auferlegt, die gegenwärtig nur auf Basis von SPS-gesteuerten Systemen realisiert werden können.

Die HAZEMAG Mining GmbH hat sich dieser neuen Entwicklung gestellt und in den zurückliegenden Jahren gemeinsam mit den Anwendern zahlreiche Bohranlagen mit Steuerungssystemen der neusten Generation ausgestattet, die die erprobten hydraulischen Systeme um zusätzliche Sicherheitsfunktionen ergänzen, die von einer SPS gesteuert und überwacht werden. Insbesondere der ROM-Betrieb beim Ein- und Ausbau des Bohrgestänges ist eine dieser Sicherheitsfunktionen.

Die Aufgabe der kommenden Jahre wird es sein, hier unter Beibehaltung des erhöhten Sicherheitslevels wieder eine Vereinfachung der Bohrsteuerungen herbeizuführen, die für die Bediener besser handhabbar ist.

5 Erhöhte Anforderungen an die Mobilität der Bohranlagen

Durch den fortschreitenden Abbau der Lagerstätten müssen vor allem in Deutschland in den Kalibergwerken sehr ausgedehnte Grubengebäude unterhalten werden. Dies führt dazu, dass dezentrale Einsatzorte wechselweise, teilweise über große Distanz, angefahren werden müssen.

Parallel hierzu wurden die Abgasnormen der radmobilen Dieselfahrzeuge verschärft, um die Belastung der Grubenwetter mit Schadstoffen zu reduzieren und somit den Gesundheitsschutz der Mitarbeiter zu verbessern.

Neben den Bestrebungen zukünftig verstärkt elektrische Fahrantriebe mit Kabeltrommel oder Batteriebetrieb einzusetzen, hat diese Entwicklung auch dazu geführt, dass die Bergwerksbetreiber angehalten sind die Anzahl der gleichzeitig im Einsatz befindlichen Dieselfahrzeuge auf das erforderliche Minimum zu beschränken.

Diese Tendenzen sowie der Umstand, dass die Fahrzeuge der neusten Abgasklasse zusätzliche Investitionsbedarfe verursachen, haben dazu geführt, dass die vielfach angefragten technischen Lösungen, Bohrgeräte auf radmobile Trägerfahrzeuge aufzubauen, bisher nicht zur Umsetzung kamen.

Die HAZEMAG Mining GmbH wird daher in den kommenden Jahren versuchen, nicht wie bisher geplant Standardgeräte als Trägergerät zu verwenden, die eigentlich für diese Aufgabenstellung überdimensioniert sind, sondern gemeinsam mit ihren Schwestergesellschaften der SK-Gruppe, ein speziell auf diese Aufgabenstellung zugeschnittenes leichtes und kostengünstiges Trägerfahrzeug zu entwickeln.

In den aktuell realisierten Projekten ist die Bohranlage als separate Einheit ausgeführt, die mit den im Betrieb verfügbaren Fahrzeugen umgesetzt wird. Hierfür wurden zwei Systeme entwickelt, die sich gegenwärtig erfolgreich im Einsatz befinden:

- Die vier Transporteinheiten Bohrgerät, Hydraulikaggregat, Steuerstand und Bohrwerkzeugcontainer werden, wie in Abbildung 4 dargestellt, in Transportrahmen eingebaut und mit Staplerfahrzeugen umgesetzt.



Abbildung 4: HLH 120 auf Transportrahmen bei der Erstellung von Bohrungen zur Ableitung von Restsohle aus Versatzkammern

- Alle Funktionseinheiten werden, wie in Abbildung 5 dargestellt, auf einen Anhänger aufgebaut, der mit den verfügbaren Zugfahrzeugen zum Bohrort gefahren wird.



Abbildung 5: HLH 120 auf radmobilem Anhängerfahrzeug bei der Erstellung von Bohrungen für die Naherkundung

6 Großlochbohrgeräte der HAZEMAG als technische Sonderlösung für die Herstellung vertikaler Großlöcher

Bereits seit Anfang der 1960er Jahre setzt die TURMAG und später die HAZEMAG schwere Lafettenbohrgeräte in Kombination mit Stufenbohrköpfen zur Herstellung von Großlöchern mit Durchmessern von bis zu 1,6 m im Steinkohlentiefbau ein, um zwischen den Abbausohlen eine Verbindung zu schaffen als Wetterloch, Fluchtweg oder den Einbau von Versorgungsleitungen sowie als Vorbohrloch beim Teufen von Blindschächten oder dem Bau von Bunkern.

Hierbei handelt es sich um eine der ersten bekannten Anwendungen der „Hinterschneid“-Technologie, die somit bereits erfolgreich eingesetzt wurde, lange bevor dieser Begriff Ende der 90er Jahre überhaupt geprägt wurde.

Ganz offensichtlich hatten unsere damaligen Kollegen der TURMAG allein auf empirischem Wege festgestellt, dass man eine deutlich geringere Andruckkraft benötigt, wenn der Schneidkopf hinter den Freiflächen eines Vorbohrloches ansetzt. – Hierfür sei ihnen an dieser Stelle ausdrücklich der nötige Respekt gezollt!

Inzwischen wurde der Effekt durch Messungen vielfach nachgewiesen und festgestellt, dass das Verhältnis von Druck- zu Zugfestigkeit des zu schneidenden Gesteins von ca. 10/1 der physikalische Faktor ist, der in etwas in diesem Verhältnis auf die aufzubringende Schneidenergie einwirkt. Wegen des großen Effektes gibt es zahlreiche Bestrebungen diesen auf die Schneidköpfe der Vollschnittmaschinen zu übertragen, was jedoch trotz vielversprechender Versuche bisher in der bergmännischen Praxis noch nicht erfolgreich umgesetzt werden konnte.

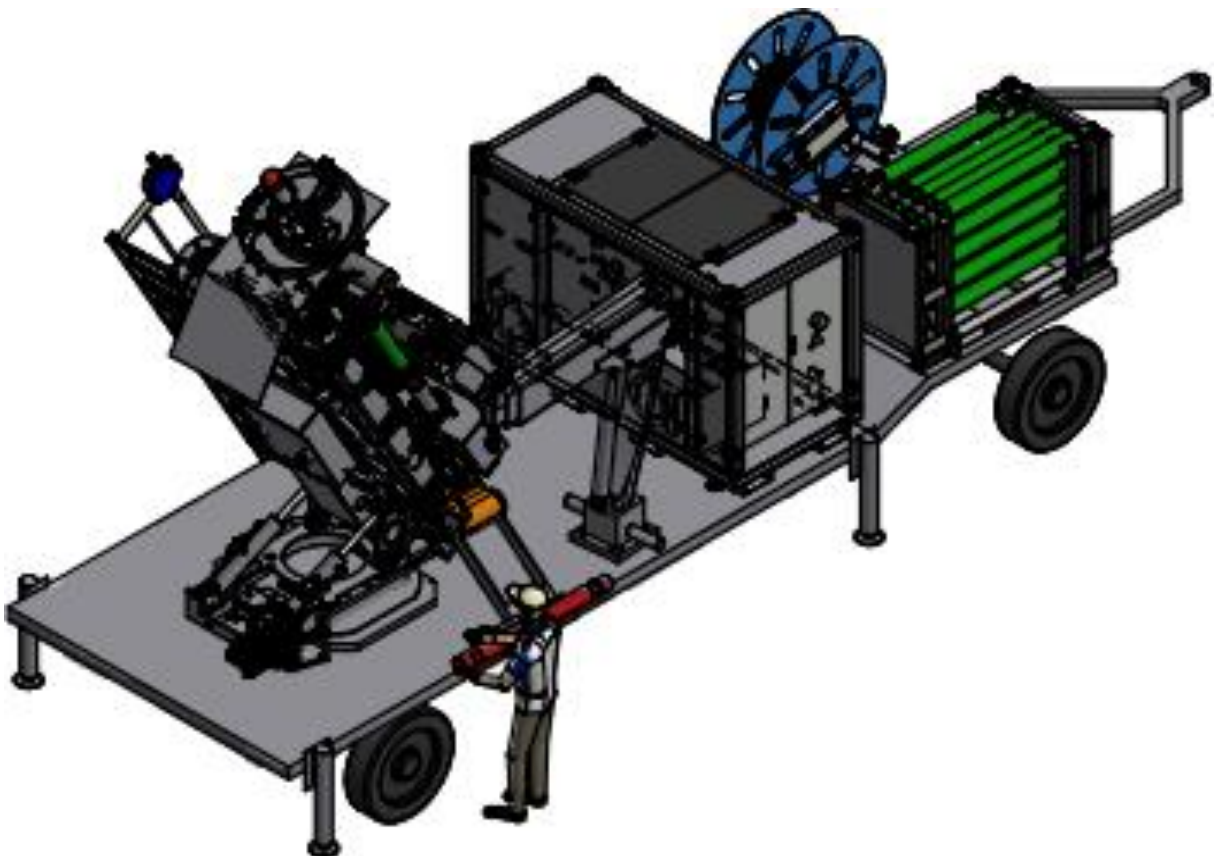
In unserem Fall hat die Vorgeschichte dazu geführt, dass die HAZEMAG-Großlochbohrgeräte dank des Erweiterungsbohrverfahrens im Vergleich zu den klassischen Raise-Bohrverfahren deutlich leichter, kompakter und entsprechend kostengünstiger ausgeführt sind. Speziell zugeschnitten auf die spezifischen Aufgabenstellungen im Carbon- und Salinargebirge bieten sie eine optimale und sehr kostengünstige Lösung für die hier anstehenden Bohraufgaben.

Im Kali- und Salzbergbau werden Großlöcher mit Durchmessern von bis zu ca. 1.000 mm auf eine Länge von bis zu 150 m hergestellt. Diese dienen als Rolllöcher oder als Wetter- oder Kommunikationsverbindung zwischen den Abbausohlen. Da die anstehenden Salzformationen homogen und zäh sind, werden die Erweiterungsbohrköpfe in dieser Anwendung mit Rundschافتmeiseln bestückt.

Wegen des hohen Gewichts der Bohrgestänge wurden zusätzlich hydraulische Gestänge-Manipulatoren in die Bohranlage integriert. In Analogie zu den bereits beschriebenen Langlochbohrgeräte erfolgen Transport und Aufstellung in Transportrahmen, Variante A. wie in Abbildung 6 dargestellt, oder seit neuestem ebenfalls auf ein Anhängerfahrzeug aufgebaut, Variante B. wie in Zeichnung 1 dargestellt.



Abbildung 6: HLH 500 für Großlochbohrungen mit Durchmesser von 350 - 1.050 mm und Bohrlänge bis 150 m



Zeichnung 1: HLH 500 für Großlochbohrungen im Salz auf Anhängerfahrzeug installiert

7 Besondere Herausforderungen bei der Anpassung der Bohrgeräte an die Einsatzbedingungen im Kali- und Salzbergbau der GUS-Staaten

Auf Grund der in den GUS-Staaten anzutreffenden Geometrie und Geologie der Lagerstätten können die Aus- und Vorrichtung und die Gewinnung hier ausschließlich mit schneidendem Lösen des Salzes im Langkammerpfeilerbau oder Strebbau erfolgen. Die bisher mehrheitlich mit Tunnelbohrmaschinen aufgefahrenen Strecken haben kleine lichte Querschnitte von 9 – 14 m². Hieraus resultiert die besondere Anforderung an eine kurze Bauform der Bohrlafetten und kompakte Ausführung der Aufstelleinrichtungen.

In mehreren Lagerstättenbereichen wurden Grubengase angetroffen, die es erforderlich machen, explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel einzusetzen. Dies ist eine Spezialität der HAZEMAG Mining GmbH, die in ihrem Produktstandard die Bohrgeräte schlagwettergeschützt ausführt.

Für die speziellen Anforderungen, die die Betriebe in den GUS-Staaten stellen, wurden modifizierte Maschinenkonzepte entwickelt und neue Systemlösungen vorgeschlagen, die sich aktuell in der Phase der Markteinführung befinden.

8 Ausführung von Bohrarbeiten als Dienstleistung

Das Servicegeschäft der HAZEMAG ist als eigenständiger Unternehmensbereich stark ausgebaut und verfügt über eine sehr modere technische Ausstattung, wodurch eine hohe Verfügbarkeit und im Reparaturfall kurze Reaktionszeiten für unsere Kunden weltweit sichergestellt sind.

Unterstützt durch unser leistungsstarkes Serviceteam bietet die HAZEMAG Mining GmbH seit kurzem auch die Durchführung von Bohraufgaben mit eigenem Personal und vorhandenen Bohrgeräten als technische Dienstleistung an Bergwerksbetreiber vor allem innerhalb der EU und gemeinsam mit lokalen Partnern auch in den GUS-Staaten an.

Eine bevorzugte Bohraufgabe für diese Dienstleistung stellt die Herstellung von Großlochbohrungen dar, die häufig nur temporär ansteht und daher als Investition des Bergwerksbetreibers in spezielle Bohranlagen und die Vorhaltung einer spezialisierten Bohrabteilung wirtschaftlich nicht sinnvoll umgesetzt werden kann.

Wir freuen uns über alle Interessenten, die uns in diesem neuen Tätigkeitsfeld anfragen!

9 Zusammenfassung

Die HAZEMAG Mining GmbH verfügt über ein umfassendes Portfolio an Langloch- und Großlochbohrgeräten für alle im Kali- und Salzbergbau praktizierten Bohraufgaben, das in seiner neuen Bauform an die aktuellen Marktanforderungen angepasst ist. Die Bohrgeräte werden individuell an die technischen Erfordernisse und die spezifischen Einsatzbedingungen der Betreiber angepasst. Seit Kurzem wird auch die Durchführung von Bohrarbeiten mit Spezialbohrgeräten als technische Dienstleistung angeboten.

Dr. Frank Bauer
frank.bauer@hazemag.de

Siegfried Harhoff

HAZEMAG Mining GmbH
Brokweg 75
48249 Dülmen

Epiroc und die digitale Zukunft in der Bohr- und Sprengtechnik

Christel Füllenbach
Epiroc Deutschland GmbH

Die digitale Zukunft hält immer stärker Einfluss in die Bohr- und Sprengtechnik. Viele Unternehmen bieten bahnbrechende Lösungen für Automatisierung, Konnektivität und Digitalisierung und diese Entwicklung wird immer schneller. Aus diesem Grund ist das Ziel von Epiroc die digitale Transformation in allen Bereichen zu beschleunigen.

Automatisierung, Digitalisierung und Elektrifizierung verwandeln den Bergbau in ein viel sichereres, nachhaltigeres und profitableres Geschäft. Die Bauindustrie, vom Tunnelbau über die Infrastruktur bis hin zu Abbruch und Recycling, bewegt sich dabei in die gleiche Richtung.

1 Automatisierungsfunktionen

Projekte im Bereich Bohr- und Sprengtechnik sind komplex und es müssen viele ineinandergreifende Prozesse berücksichtigt werden. Im Vergleich zum Bergbau sind die Zeitrahmen normalerweise viel kompakter. Eine clevere Verwendung von Daten und autonomen Funktionen, die nahtlos in bestehende Vorgänge integriert sind, kann die Produktion optimieren, ohne die Produktivität zu beeinträchtigen.

Nehmen wir zum Beispiel die Epiroc-Bohrgeräte. Durch die Bereitstellung einer präzisen Energiemenge für jede Phase des Bohrvorgangs, die auf kontinuierlichen Daten basiert, wird der Kraftstoffverbrauch optimiert, ohne die Produktivität zu beeinträchtigen. Darüber hinaus trägt das optionale Lochnavigationssystem (HNS), das Positionsdaten verwendet und in praktisch allen Aspekten des Bohrprozesses eine unerreichte Genauigkeit bietet, dazu bei, die Bohr- und Sprengkosten erheblich zu senken.

Bei Tunnelprojekten führt das Dynamic Tunneling Package zu ähnlichen Resultaten. Mithilfe des vorhandenen 3D-CAD-Modells des Projekts kann das Bohrgerät einen eigenen Bohrplan direkt erstellen. Dies ermöglicht einen flexibleren Arbeitsprozess, der Zeit spart und ein sehr genaues Endergebnis liefert.

2 Konnektivität

Es ist entscheidend, Daten und neue Technologien zugänglich zu machen und vor allem im täglichen Betrieb einfach zu verwenden. HATCON™, ein Fernüberwachungsgerät für hydraulische Anbaugeräte, bietet über My Epiroc, eine benutzerfreundliche Anwendung, einen Überblick über die gesamte Flotte sowie den Status einzelner Geräte und Maschinen. Serviceerinnerungen minimieren ungeplante Stopps, und Bestellung und Lieferung von Teilen können integriert werden. Die Auswirkungen auf Effizienz und Rentabilität sind erheblich.

3 Datenanalyse

Die Telematiklösung von Epiroc zum Sammeln und Verarbeiten von Bohrerätedaten, Certiq, bietet einen detaillierten Einblick in Maschinen. Die Position (GPS-Koordinaten), die Auslastung und Leistung der Geräte, der Kraftstoffverbrauch und der Maschinenzustand sind über einen Webbrowser zugänglich. Eine perfekte Lösung für das Flottenmanagement, um wichtige betriebliche KPIs zu überwachen und Serviceaktivitäten zu planen.

Christel Füllenbach
christel.fuellenbach@epiroc.com

Epiroc Deutschland GmbH
Helenenstr. 149
45143 Essen



AUSTIN POWDER



*Die
Details
zählen.*

Immer.

Überall.

Austin Powder Germany
Königstrasse 56-58
90402 Nürnberg

office@austinpowder.de
www.austinpowder.de

Eine Sprengung dauert nur einen Augenblick. Wenn sich der Staub gelegt hat, wird Erfolg oder Misserfolg sichtbar. War alles richtig dimensioniert? Hat es Steinflug gegeben? Wie ist die Beschaffenheit des Haufwerks?

Modernste Bruchwandvermessungssysteme, eigene Analysesoftware und die Unterstützung unserer bestens ausgebildeten Sprengtechniker sorgen für Ihre rechtliche und kaufmännische Sicherheit – und das schon vor der Sprengung. Gesteigerte Produktivität durch Erreichen der gewünschten Fragmentierung und Form des Haufwerks, sowie verringerte Erschütterungen inklusive. Denn die Details zählen. Immer. Überall.

Chronik der Fachtagung



- | | |
|---------------------|--|
| 03. - 04.12.1976 | 1. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 30.11. - 01.12.1979 | 2. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1982 | 3. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1984 | 4. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1986 | 5. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1988 | 6. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1990 | 7. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1992 | 8. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1994 | 9. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1996 | 10. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1998 | 11. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.2001 | 12. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |

29. - 29.01.2003	13. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
29. - 29.01.2005	14. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
02. - 03.02.2007	15. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
30. - 31.01.2009	16. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
21. - 22.01.2011	17. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
18. - 19.01.2013	18. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
23. - 24.01.2015	19. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
18. - 19.01.2017	20. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
30. - 31.01.2019	21. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
03. – 04.02.2021	22. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“