

# Extraction Drilling and the Resulting Possibilities

In the course of the development of new types of drilling rigs for use in the surface and subsurface areas, which has been ongoing since 2017, a large number of concept ideas and resulting application options have been developed. One focus of these developments is the efficient extraction of reef and gangue ore deposits. The challenge is to develop the technologies needed for extraction. Other areas of application are large-hole degassing wells in coal mining, as well as supply, weather and rescue

wells, which are of interest regardless of the deposit type. A special case, which however most resembles the classical application of thrust boring machines, are cased boreholes, e.g., to penetrate faults in the rock or otherwise critical areas. Regardless of whether the extraction drilling is a surface or underground operation, the extraction costs determine the implementation. Thus, an optimal solution is required for each application.

## Gewinnungsbohren und die daraus resultierenden Möglichkeiten

Im Zuge der seit 2017 laufenden Entwicklung von neuen Bohrgerätetypen zur Anwendung in den über- und untertätigen Bereichen wurde eine Vielzahl von Konzeptideen und daraus folgenden Anwendungsoptionen entwickelt. Ein Schwerpunkt bei diesen Entwicklungen ist die effiziente Förderung aus Reef- und Gangerzlagern. Die Herausforderung besteht darin, die zur Gewinnung nötigen Technologien zu entwickeln. Weitere Einsatzbereiche sind Großlochentgasungsbohrungen im Kohlebergbau, sowie Versorgungs-, Wetter- und auch Rettungsboh-

rungen, die unabhängig von der Lagerstättenart interessant sind. Ein Sonderfall, der allerdings der klassischen Anwendung von Pressbohrmaschinen am meisten ähnelt, sind verrohrte Bohrungen, z.B. um Störungen im Gebirge oder anderweitig kritische Bereiche zu durchhörtern. Unabhängig davon, ob es sich beim Gewinnungsbohren um eine über- oder untertätige Arbeitsweise handelt, entscheiden die Gewinnungskosten über die Umsetzung. Somit ist eine optimale Lösung für jeden Anwendungsfall erforderlich.

### 1 Introduction

In the course of the development of new types of drilling rigs for use in the surface and subsurface areas, which has been ongoing since 2017, a large number of concept ideas and resulting application options have been developed. One focus of these developments is the efficient extraction of reef and gangue ore deposits. The challenge is to develop the technologies needed for extraction. Other areas of application are large-hole degassing wells in coal mining, as well as supply, weather and rescue wells, which are of interest regardless of the deposit type. A special case, which however most resembles the classical application of thrust boring machines, are cased boreholes, e.g., to penetrate faults in the rock or otherwise critical areas.

Regardless of whether the extraction drilling is a surface or underground operation, the extraction costs determine the implementation. Thus, an optimal solution is required for each application.

The challenge in any application of production drilling, apart from the technical parameters of the machine, is the logistics and the existing infrastructure. The possibility that humans can leave

### 1 Einleitung

Im Zuge der seit 2017 laufenden Entwicklung von neuen Bohrgerätetypen zur Anwendung in den über- und untertätigen Bereichen wurde eine Vielzahl von Konzeptideen und daraus folgenden Anwendungsoptionen entwickelt. Ein Schwerpunkt bei diesen Entwicklungen ist die effiziente Förderung von Reef- und Gangerzlagern. Die Herausforderung besteht darin, die zur Gewinnung nötigen Technologien zu entwickeln. Weitere Einsatzbereiche sind Großlochentgasungsbohrungen im Kohlebergbau, sowie Versorgungs-, Wetter- und auch Rettungsbohrungen, die unabhängig von der Lagerstättenart interessant sind. Ein Sonderfall, der allerdings der klassischen Anwendung von Pressbohrmaschinen am meisten ähnelt, sind verrohrte Bohrungen, z.B. um Störungen im Gebirge oder anderweitig kritische Bereiche zu durchhörtern.

Unabhängig davon, ob es sich beim Gewinnungsbohren um eine über- oder untertätige Arbeitsweise handelt, entscheiden die Gewinnungskosten über die Umsetzung. Somit ist eine optimale Lösung für jeden Anwendungsfall erforderlich.

Die Herausforderung bei jeder Anwendung des Gewinnungsbohrens ist neben den technischen Parametern der Maschine die



Fig. 1. Test drilling with a thrust boring machine, type PBA155, in South Africa. // Bild 1. Testbohrungen mit einer Pressbohranlage, Typ PBA155 in Südafrika. Photo/Foto: Perforator

the danger zone altogether or only have to intervene minimally in the mining process is one of the most significant advantages of this method.

The following applications of the technology are the most developed specifically for the South African chrome and platinum deposits. One is “reef mining” (drilling out the reef) and the other is “pillar optimisation” (drilling out existing pillars). For the future, the construction of a machine for underground use to test the economic feasibility is planned, in which the economic viability of different drilling tools will be investigated.

## 2 Development history

The first concept ideas were based on the available press drilling technology and were developed in 2017 and rather suboptimal. It turned out quite quickly in the following discussions that the existing technology is not so easy to integrate into underground operations. For this reason, the development of Perforator's own machine types for underground and surface use was started in 2018/2019. The main difference is the available installation space, which means that the possibilities for the design of the surface machines are much more extensive. In 2019 the first test took place in an open pit with a converted PBA 155 thrust boring machine (Figure 1).

## 3 Task and motivation

In the mining of South Africa's underground chrome and platinum reef deposits, the level of automation is still very low. As a result, a very high input of human labour is required to operate the mostly hand-guided machines. The danger for miners working in the mine is not insignificant due to the use of hammer drills, scrapers, overhead loaders and many other mining activities. Accidents at work occur time and again. The use of new technologies is intended to significantly reduce the risk of accidents for miners, in addition to increasing or expanding production. At the same time, sequential extraction, as it is currently possible, should be maintained in order to keep the proportion of tailings and the associated dressing expenses as low as possible.

In other mines, which mainly rely on wheeled machines, a classic room-and-pillar method is usually applied. Depending on how the reef collapses, a not inconsiderable amount of tailings is also produced. In the course of the first trials, the idea came up to further increase the productivity of the opencast mines by drill-

Logistik und die vorhandene Infrastruktur. Die Möglichkeit, dass der Mensch den Gefahrenbereich gänzlich verlassen kann oder nur noch minimal in den Abbauprozess eingreifen muss, ist einer der wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens.

Folgende Anwendungsfälle der Technologie sind speziell für die südafrikanischen Chrom- und Platinlagerstätten am weitesten entwickelt. Zum einen das „reef mining“ (ausbohren des Flözes) und die „pillar optimization“ (ausbohren vorhandener Pfeiler). Für die Zukunft ist der Bau einer Maschine für den untertägigen Einsatz zur Überprüfung der wirtschaftlichen Machbarkeit geplant, bei der die Wirtschaftlichkeit verschiedener Bohrwerkzeuge untersucht werden soll.

## 2 Entwicklungsgeschichte

Die ersten Konzeptideen basierten auf der zur Verfügung stehenden Technologie der Pressbohrtechnik, entstanden im Jahr 2017 und waren eher suboptimal. Es stellte sich in den folgenden Diskussionen schnell heraus, dass die vorhandene Technologie nicht so einfach in den untertägigen Einsatz zu integrieren ist. Aus diesem Grund wurde 2018/2019 mit der Entwicklung eigener Maschinentypen für den unter- und übertägigen Einsatz begonnen. Der wesentliche Unterschied ist der verfügbare Bauraum, wodurch die Möglichkeiten beim Design der übertägigen Maschinen deutlich umfangreicher sind. Im Jahr 2019 erfolgte der erste Test im Tagebau mit einer umgebauten Pressbohranlage des Typs PBA 155 (Bild 1).

## 3 Aufgabenstellung und Motivation

Im Abbau der untertägigen südafrikanischen Chrom- und Platin Reef-Lagerstätten ist der Grad der Automatisierung immer noch sehr niedrig, wodurch ein sehr hoher Einsatz von menschlicher Arbeitskraft benötigt wird, um die meist handgeführten Maschinen zu bedienen. Die Gefahr für die Bergleute, die im Abbau arbeiten, ist durch den Einsatz von Bohrhämmern, Schrappern, Wurfschaufelladern und durch viele sonstige bergmännische Tätigkeiten nicht unerheblich. Es kommt immer wieder zu Arbeitsunfällen. Durch den Einsatz neuer Technologien soll neben der Produktionssteigerung bzw. Erweiterung die Unfallgefahr für die Bergleute deutlich reduziert werden. Gleichzeitig soll die sequentielle Gewinnung, wie sie im Moment möglich ist, beibehalten werden, um den Bergeanteil und die damit verbundenen Aufbereitungskosten so gering wie möglich zu halten.

In anderen Bergwerken, die hauptsächlich auf radgestützte Maschinen setzen, wird meist ein klassischer Kammerpfeilerbau betrieben, bei dem, je nachdem wie das Flöz einfällt, auch ein nicht unerheblicher Teil Berge anfällt. Im Zuge der ersten Versuche kam die Idee auf, die Produktivität der Tagebaue weiter zu steigern, indem ein Teil des Erzes, welches durch die große Überdeckung nicht mehr wirtschaftlich zu gewinnen ist, ausgebohrt wird, ähnlich wie es bei der Steinkohlenförderung in den USA praktiziert wird.

## 4 Erprobungen im Tagebau

Im Jahr 2018 starteten die Vorbereitungen für den ersten Über-tagetest in Südafrika. Neben der Herstellung der beiden Plattformen, die für die modifizierte Pressbohranlage vom Typ Perforator PBA 155 das Widerlager bildeten (Bild 2), wurde ein entsprechender Bereich im Tagebau ausgesucht, um sichere Tests für Mensch



Fig. 2. Overview of test site with machine, aggregate, augers and extracted chrome ore.  
Bild 2. Übersicht Testgelände mit Maschine, Aggregat, Schneckenstrang und gefördertem Chromerz.  
Photo/Foto: Perforator

ing out part of the ore that could no longer be extracted economically due to the large overburden. Similar to what is practised in hard coal mining in the USA.

#### 4 Testing in opencast mining

In 2018 preparations started for the first surface test in South Africa. In addition to the construction of the two platforms that formed the abutment for the modified Perforator PBA 155 thrust boring machine (Figure 2), an appropriate area was selected in the open pit to ensure safe testing for man and machine. The aim of these tests was to validate the assumed drilling performance with different drill heads, to determine the associated wear values of the drilling tools, the targeting accuracy and the overall performance.

A total of three drill heads were tested, whereby the focus for the third drill head was on the pilot tips, as these showed excessive wear during the tests and were partially broken. Drilling was done in Reef MG4 with a strength of 80 MPa and a Cherchar of 4. It can be assumed that in the area of the outcrop the strength was slightly lower due to weathering.

The difficulty in the trials was primarily the lack of infrastructure. At the beginning of the tests there was no crane on site for inserting the screw conveyors and moving the machine. This led to delays time and again. In the beginning only one of the two platforms was available for the PBA, which meant that it took up to a day to convert the machine. After the machine was lifted off the platform, it could then be placed on the new drilling position. The anchor holes were then drilled and the anchors glued in place. After that, the machine was set up and aligned again.

Another problem was the transport of the material, which was carried out from the machine or the borehole to a place next to the machine exclusively by hand using a shovel and wheelbarrow. A drilling depth of up to 36 m in a few hours resulted in an unloosened volume of approximately 7.6 m<sup>3</sup>, which corresponded to a mass of 30 t.

The average drilling depth was approximately 32 m with a diameter of 520 mm. The holes were drilled as uncased and uncontrolled blind holes. Directional accuracy was ensured by a calibre auger including retracting edges. The calibre auger was minimally smaller than the drill heads in order to ensure that the drill head was guided as accurately as possible. To start the drilling, the auger was guided in an auger guide mounted on the machine. This made it possible to achieve a deviation of approximately 30 cm at a drilling depth of 30 m. The retracting edge should ensure the safe retraction of the drill string in the event of any convergences occurring. Field experience has shown that the drill string signifi-

und Maschine zu gewährleisten. Ziel dieser Tests war die Validierung der angenommenen Bohrleistung mit verschiedenen Bohrköpfen, die Ermittlung der damit verbundenen Verschleißwerte der Bohrwerkzeuge, die Zielgenauigkeit und die Gesamtpformance.

Es wurden insgesamt drei Bohrköpfe getestet, wobei der Fokus beim dritten Bohrkopf auf den Pilotspitzen lag, da diese bei den Versuchen übermäßigen Verschleiß zeigten und zum Teil gebrochen waren. Gebohrt wurde im Reef MG4 mit einer Festigkeit von 80 MPa und einem Cherchar von 4. Es ist davon auszugehen, dass im Bereich des Ausbisses die Festigkeit durch Witterungseinflüsse etwas niedriger war.

Die Schwierigkeit bei den Versuchen war in erster Linie die fehlende Infrastruktur. Zu Beginn der Tests war noch kein Kran für das Einlegen der Förderschnecken und das Umstellen der Maschine vor Ort vorhanden. Das führte immer wieder zu Verzögerungen. Am Anfang war nur eine der beiden Plattformen für die PBA vorhanden, wodurch das Umstellen der Maschine bis zu einem Tag dauerte. Nachdem die Maschine von der Plattform gehoben wurde, konnte diese anschließend auf die neue Bohrposition gesetzt werden. Anschließend wurden die Ankerlöcher gebohrt und die Anker eingeklebt. Danach erfolgte das erneute Aufsetzen und Ausrichten der Maschine.

Ein weiteres Problem war der Materialtransport. Dieser erfolgte von der Maschine bzw. dem Bohrloch bis zu einem Platz neben der Maschine ausschließlich händisch per Schaufel und Schubkarre. Bei einer Bohrtiefe von bis zu 36 m in wenigen Stunden ergab sich ein unaufgelockertes Volumen von ca. 7,6 m<sup>3</sup>, welches einer Masse von 30 t entsprach.

Die durchschnittliche Bohrtiefe lag bei ca. 32 m mit einem Durchmesser von 520 mm. Die Bohrungen wurden als unverrohrte und ungesteuerte Sacklochbohrung ausgeführt. Die Richtungsgenauigkeit wurde durch eine Kaliberschnecke inkl. Rückzugsschneiden gewährleistet. Die Kaliberschnecke war minimal kleiner als die Bohrköpfe, um so eine möglichst genaue Führung des Bohrkopfs zu gewährleisten. Für den Start der Bohrung wurde die Schnecke in einer auf der Maschine montierten Schneckenführung geführt. So war es möglich, eine Abweichung von ca. 30 cm bei einer Bohrtiefe von 30 m zu erzielen. Die Rückzugsschneide sollte bei etwaigen auftretenden Konvergenzen das sichere Zurückziehen des Bohrstrangs gewährleisten. Die Erfahrungen vor Ort haben gezeigt, dass durch den Bohrstrang das Bohrloch deutlich aufgeweitet wird. Es geht also eine größere Gefahr für den Verlust des Bohrstrangs von Störungen oder anderen Anomalien aus.

cantly widens the borehole. So there is a greater risk of drill string loss from faults or other anomalies.

Since it was not possible to measure the entire length of the borehole, it was unfortunately not possible to determine how large the volume drilled out actually was.

The net drilling speed, i. e. without changing augers and other tasks, was 20 m/h. Due to the type of auger used and the lack of infrastructure to change the augers, the gross drilling speeds are not very meaningful. This was 11 m/h despite the less than ideal conditions.

The wear on the preferred drill head of Perforator GmbH, Walkenried/Germany, met the expectations. Only the pilot tips show excessive wear, which could not be significantly reduced by several alternative ones either.

One of the main reasons why the overall performance did not improve, apart from the lack of infrastructure mentioned above and the fact that the machine was not ideal for this purpose, was the type of auger tool joint used. These are otherwise only used for targeted cased holes, which makes the drilling axis very straight and thus also the augers lying in it. The widening of the hole caused a shift in the drilling axis, which made the coupling process very complicated and time-consuming.

## 5 First underground tests

After the successful surface testing, the preparation for the first underground test followed. Unfortunately, it was not possible to use the machine in the same length as on the surface, as the installation space for the underground test was limited. Thus, the screw conveyors had to be shortened from 3 to 2 m. In addition, the machine had to be placed on a platform to ensure the desired height of the drilling axis (Figure 3).

After all the preparations were made and the set-up completed, the uniaxial compressive strength of the UG2 Reef was found to be much higher than the MG4 previously drilled in the open pit. The material analysis of UG2 was comparable to that of MG4. The uniaxial compressive strength was 105 MPa and the Cherchar was 4.1. The tool wear, however, contradicts this assumption, as after 20 cm drilling depth some of the previously used round shank bits were completely worn (Figure 4).

Based on the wear and deformation on the drill heads which were used, Perforator estimate the compressive strength to be 200 MPa. Further indicators of very high compressive strength

Da es nicht möglich war, das Bohrloch auf der gesamten Länge zu vermessen, konnte leider nicht ermittelt werden, wie groß das ausgebohrte Volumen tatsächlich war.

Die Nettobohrgeschwindigkeit, also ohne Schneckenwechsel und andere Aufgaben, lag bei 20 m/h. Durch den verwendeten Schneckentyp und die fehlende Infrastruktur zum Wechseln der Schnecken ist die Bruttobohrgeschwindigkeit nicht sehr aussagekräftig. Diese lag trotz der nicht idealen Voraussetzungen bei 11 m/h.

Der Verschleiß am von der Perforator GmbH, Walkenried, bevorzugten Bohrkopf entsprach den Erwartungen. Nur die Pilotspitzen zeigten einen übermäßigen Verschleiß, der auch nicht durch mehrere Alternativen deutlich reduziert werden konnte.

Ein wesentlicher Punkt, warum die Gesamtperformance, neben der oben erwähnten fehlenden Infrastruktur und der für diese Zwecke nicht idealen Maschine, nicht besser ausgefallen ist, waren die verwendeten Schneckenverbinder. Diese werden sonst nur bei zielgerichteten verrohrten Bohrungen eingesetzt, wodurch die Bohrachse sehr gerade ist und somit auch die in ihr liegenden Schnecken. Durch die Aufweitung der Bohrung kam es zu einer Verschiebung der Bohrachse, wodurch der Koppelvorgang sehr kompliziert und zeitraubend wurde.

## 5 Erste Tests unter Tage

Nach der erfolgreichen Erprobung über Tage folgte die Vorbereitung für den ersten Untertagetest. Es war leider nicht möglich, die Maschine in gleicher Baulänge wie über Tage einzusetzen, da der Bauraum für den Untertagetest begrenzt war. Somit mussten die Förderschnecken von 3 auf 2 m gekürzt werden. Außerdem musste die Maschine auf ein Podest gesetzt werden, um die gewünschte Höhe der Bohrachse zu gewährleisten (Bild 3).

Nachdem alle Vorbereitungen getroffen und die Einrichtung abgeschlossen waren, zeigte sich, dass die einaxiale Druckfestigkeit des UG2 Reef viel höher lag als bei dem zuvor im Tagebau gebohrten MG4. Die Materialanalyse des UG2 war vergleichbar mit der des MG4. Die einaxiale Druckfestigkeit lag bei 105 MPa und der Cherchar bei 4,1. Der Werkzeugverschleiß widerspricht allerdings dieser Annahme, da nach 20 cm Bohrtiefe die zuvor eingesetzten Rundschaftmeißel teilweise vollständig verschlissen waren (Bild 4).

Anhand des Verschleißes und der Verformung an den eingesetzten Bohrköpfen schätzt Perforator die Druckfestigkeit auf 200 MPa. Weitere Indikatoren für eine sehr hohe Druckfestigkeit



Fig. 3. Underground test. // Bild 3. Untertägige Erprobung. Photo/Foto: Perforator

Fig. 4. Wear on the bits and holders. Bild 4. Verschleiß an Rundschaftmeißeln und Halter. Photo/Foto: Perforator



Fig. 5. Drill hole with tricone in the front. // Bild 5. Bohrloch mit Tricone im Vordergrund. Photo/Foto: Perforator

were the banding of the ore, as well as the clearly visible tracks of the cutting discs, from which it can be concluded that the chips do not flake off as in the upper area. In addition, there were many smaller holes from hand drills, which could indicate that drill bits for hand-held hammer drills are being tested in this area. In order to test the service life or the quality of such drill bits, an area that is particularly demanding is selected. These facts support the thesis that the material sample examined was most likely taken from another area of the reef.

After the cutting wheel with round shank bit could not be tested successfully, a drill head with cutting disc including tricone pilot tip was used (Figure 5). The cutting discs were fitted with carbide pins. Due to the non-ideal design of the drill head and the negatively inclined drilling axis, there were problems with the material transport to the auger, which is why both compressed air and water were used as flushing media. However, this did not lead to any fundamental improvement in the transport of the material. Thus, a part of the removed material remained in front of/in the drill head and increased the wear. The drilling speed achieved with the drill head was 1 m/h. However, the wear was so great that economic use is not possible.

For the planned underground testing in 2022/2023, the company is working with a local drill head manufacturer who has successfully drilled gold ores up to 250 MPa and therefore has the necessary expertise to develop a drill head for this application. In addition, the development of a drill head based partly on undercutting technology will be pursued and also tested. The special feature is the integration of the flight into the drill head in order to drill without mud as far as possible and to ensure better material transport, as this was a major problem in the first underground attempts.

Another idea of Rotary Percussion Drilling will not be pursued further for the time being, as a tricone and the necessary hammer for the targeted cutting diameter of 1,000 mm are not commercially available and thus the costs and economic viability are again in question.

## 6 Concept machines

Especially for testing the cutting tools and the resulting performance, a concept for a test machine was developed in 2022,

were the Bänderungen des Erzes sowie die deutlich zu sehenden Laufbahnen der Schneidrollen, woraus sich schließen lässt, dass die Chips nicht wie im oberen Bereich abplatzen. Außerdem waren sehr viele kleinere Bohrlöcher von Handbohrhämmer zu sehen, was darauf hindeuten könnte, dass in diesem Bereich Bohrkronen für handgeführte Bohrhämmer getestet wurden (Bild 5). Um die Standzeit bzw. die Qualität solcher Bohrkronen zu testen, wird ein Bereich ausgewählt, der besonders anspruchsvoll ist. Diese Tatsache stützt die These, dass die untersuchte Materialprobe mit einer großen Wahrscheinlichkeit aus einem anderen Bereich des Reefs entnommen wurde.

Nachdem das mit Rundschaftmeißeln besetzte Schneidrad nicht erfolgreich getestet werden konnte, kam ein mit Schneidrollen besetzter Bohrkopf inkl. Tricone-Pilotspitze zum Einsatz (Bild 5). Die Schneidrollen waren mit Hartmetallstiften besetzt. Durch den nicht idealen Aufbau des Bohrkopfs und der negativ geneigten Bohrachse gab es Probleme beim Materialtransport zur Förderschnecke, weshalb sowohl Pressluft als auch Wasser als Spülmedien eingesetzt wurden. Dies führte allerdings zu keiner grundlegenden Verbesserung des Materialtransports. Somit verblieb ein Teil des abgebauten Materials vor dem/im Bohrkopf und erhöhte den Verschleiß. Die mit dem Bohrkopf erzielte Bohrgeschwindigkeit lag bei 1 m/h. Allerdings war der Verschleiß so groß, dass eine wirtschaftliche Nutzung nicht möglich ist.

Für die geplanten Untertagetests 2022/2023 wird mit einem lokalen Bohrkopfhersteller zusammengearbeitet, der erfolgreich Golderze bis 250 MPa gebohrt hat und somit über das nötige Fachwissen verfügt, um die Entwicklung eines Bohrkopfs für diese Anwendung zu realisieren. Außerdem soll die Entwicklung eines eigenen Bohrkopfs, der z.T. auf der Hinterschneidtechnik basiert, weiterverfolgt und ebenfalls getestet werden. Die Besonderheit ist die Integration des Schneckenflügels in den Bohrkopf, um möglichst ohne Spülung zu bohren und einen besseren Materialtransport zu gewährleisten, da dieser ein großes Problem bei den ersten untertägigen Versuchen darstellte.

Eine weitere Idee des Rotary Percussion Drilling wird erst einmal nicht weiterverfolgt, da ein Tricone und der nötige Hammer für den angestrebten Schneiddurchmesser von 1.000 mm nicht handelsüblich sind und somit die Kosten und damit die Wirtschaftlichkeit wieder in Frage stehen.

## 6 Konzeptmaschinen

Speziell zur Erprobung der Schneidwerkzeuge und der daraus resultierenden Performance wurde im Jahr 2022 ein Konzept für eine Testmaschine entwickelt, welches möglichst flexibel ist, um so individuell wie möglich auf die verschiedenen Randbedingungen wie Streckenbreite, Streckenhöhe, usw. zu reagieren. Die Testmaschine wird gegenüber den späteren Maschinen nur einen geringen Automatisierungsgrad bieten, da die Flexibilität und die Erprobung der Bohrwerkzeuge die höchste Priorität haben. Die Leistungsdaten der Maschine werden ähnlich den beiden in der Entwicklung befindlichen Maschinen der Typen MRM 100/71M und MRM 100/71M LF sein. Der Durchmesser der Testmaschine ist gleich dem Durchmesser der später eingesetzten Maschinen. Die Besonderheit der Testmaschine ist der modulare Aufbau, wodurch sowohl der Rahmen in der Länge, die Bohrachse in der Höhe, als auch die Neigung sehr flexibel



Fig. 6. Test machine for testing different drilling tools. // Bild 6. Testmaschine zur Erprobung verschiedener Bohrwerkzeuge. Source/Quelle: Perforator

which is as flexible as possible in order to react as individually as possible to the various boundary conditions such as roadway width, roadway height, etc. The test machine will only offer a low level of automation compared to the later machines, as flexibility and testing of the drilling tools are the top priority. The performance data of the machine will be similar to the two machines currently under development, the MRM 100/71M and MRM 100/71M LF models. The diameter of the test machine is the same as the diameter of the machines used later. The special feature of the test machine is its modular design, which allows the frame to be adjusted very flexibly in length, the drilling axis in height and also the inclination. This makes it possible to use the machine in a very wide range of track profiles (Figure 6).

Based on the application scenarios mentioned above, several machine types were developed. Figure 7 shows the Mechanical Reef Miner MRM 100/71M for the application "reef mining". This machine has 1,000 kN pressing force and 71,000 Nm torque. The drilling diameter will be 1,000 mm, as with the test machine, and a maximum speed of  $40 \text{ min}^{-1}$  will be aimed for. The machine is set up and dismantled by the operator. The drilling process itself is almost fully automatic except for the transfer of the augers. The planned drilling depth is 30 m, the same as for the surface tests. The machine is driven by an electro-hydraulic drive. The MRM 100/71M has a transport position and a working position as a result of the different cross-sections of the roadways and gate roads/drifts and the associated requirement not to change the existing mine layout as far as possible.

The material is transported in the borehole via a screw conveyor, which also serves as a drive shaft for the drill head. Thus, all hydraulic components are located outside the borehole and are accessible at all times. The cuttings coming out of the borehole are transported by conveyors to a transfer station where they are removed by LHDs or dump trucks.

The excavation concept envisages drilling every second hole in the first step, backfilling afterwards and then drilling the intermediate holes. This is to ensure the stability of the overburden and prevent from breaking through into the adjacent borehole. The estimated drilling capacity is 60 to 120 m/day (two to four boreholes).

angepasst werden können. Dadurch ist es möglich, die Maschine in sehr vielen Streckenprofilen einzusetzen (Bild 6).

Ausgehend von den o.g. Anwendungsszenarien wurden mehrere Maschinentypen entwickelt. Bild 7 zeigt den Mechanical Reef Miner MRM 100/71M für die Anwendung „reef mining“. Diese Maschine verfügt über 1.000 kN Presskraft und 71.000 Nm Drehmoment. Der Bohrdurchmesser wird wie bei der Testmaschine 1.000 mm betragen und eine maximale Drehzahl von  $40 \text{ min}^{-1}$  wird angestrebt. Das Aus- und Einrichten der Maschine wird durch den Bediener vorgenommen. Der Bohrprozess selbst ist bis auf die Übergabe der Schnecken nahezu vollautomatisch. Die geplante Bohrtiefe ist wie bei den Übertagetests mit 30 m geplant. Angetrieben wird die Maschine von einem elektro-hydraulischen Antrieb. Resultierend aus den unterschiedlichen Querschnitten der Transport- und der Abbaustrecken

sowie der damit verbundenen Anforderung, möglichst das bestehende Bergwerkslayout nicht zu verändern, verfügt die MRM 100/71M über eine Transport- und eine Arbeitsstellung.

Der Materialtransport erfolgt im Bohrloch über eine Förderschnecke, die zugleich als Antriebswelle für den Bohrkopf dient. Somit befinden sich alle hydraulischen Komponenten außerhalb des Bohrlochs und sind jederzeit erreichbar. Das aus dem Bohrloch austretende Bohrklein wird über Förderbänder zu einer Übergabestation transportiert, wo es durch LHD-Fahrzeuge oder Dump Trucks abtransportiert wird.

Das Abbaukonzept sieht vor, im ersten Schritt jedes zweite Loch zu bohren und im Nachgang zu verfüllen, um anschließend die Zwischenlöcher zu bohren. So sollen die Stabilität des Deckgebirges sichergestellt und ein Durchbrechen in die Nachbarbohrung verhindert werden. Die geschätzte Bohrleistung liegt bei 60 bis 120 m/d (zwei bis vier Bohrungen).

Bei den Maschinenvarianten, die im Tagebau eingesetzt werden können, besteht die größte Herausforderung darin, dass die resultierenden Kräfte aus den Vortriebskräften abgefangen wer-

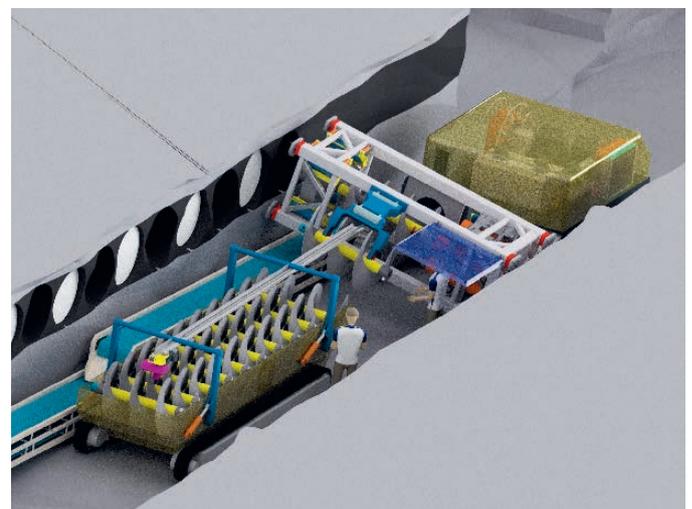


Fig. 7. Excavation concept and layout for the MRM 100/71M. Bild 7. Abbaukonzept und Layout für den MRM 100/71M. Source/Quelle: Perforator

With the machine variants that can be used in opencast mining, the greatest challenge is that the resulting forces from the jacking must be absorbed. Only in the rarest of cases, it can be done by means of a wall, like in underground mining. As a rule, the situation looks like our surface test. Since the machine's own weight does not create enough friction between the bottom and the machine to dissipate the forces, the machine must be secured to the floor using several anchors. One advantage is the possible frame length of the machine, which means that even 30 m bores can be realised with only three augers. Also, the feed would not necessarily have to be realised by hydraulic cylinders, but could be based on rack and pinion as with HDD systems.

For the "pillar optimisation" application, the MRM 100/71M LF was developed based on the previously presented machine type. A widely used mining concept in South African chrome and platinum mines is room-and-pillar mining. In the past these pillars were sometimes significantly oversized. Since subsequent reduction is not permitted, the idea was developed to extract part of the ores present in these pillars by means of one or more drillings and then backfill them. The ore content in these pillars is usually significantly higher than the currently achieved values. Due to the very selective extraction, specifically those areas of the reef can be extracted that have the highest concentrations. The majority of the pillars are 8 x 8 m, which results in a maximum drilling length of 8 m if drilling is only to be carried out from one side. Due to a longer main frame, the drilling length of 8 m can be mapped with two augers located on the machine, eliminating the need for an auger storage vehicle. It would also be conceivable to drill the pillar from two sides in order to get by with only one auger in the machine. The periphery for adding the second auger and the auger itself would then also be omitted. Like the MRM 100/71M, the MRM 100/71M LF has an electro-hydraulic drive. The four crawler tracks make it possible to manoeuvre the machine safely on demanding roadways (Figure 8).

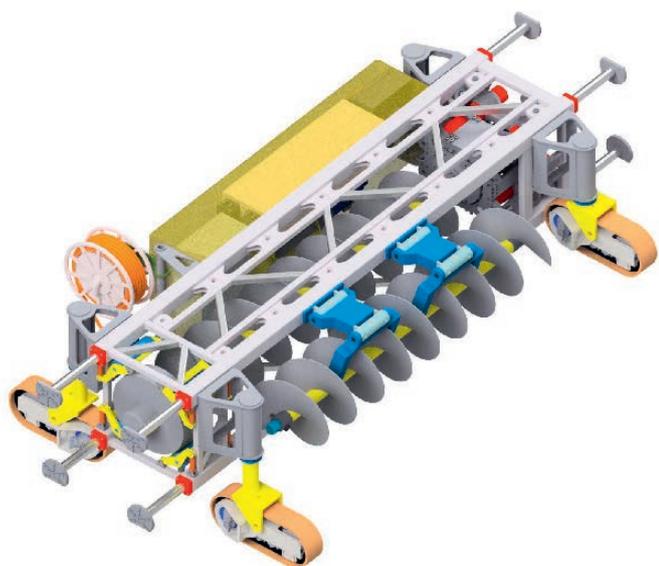


Fig. 8. Mechanical Reef Miner MRM 100/71M LF in working position.  
Bild 8. Mechanical Reef Miner MRM 100/71M LF in der Arbeitsstellung.  
Source/Quelle: Perforator

den müssen. In den wenigsten Fällen ist das wie unter Tage durch einen Stoß möglich. Im Regelfall sieht die Situation so aus wie bei den Übertagetests. Da das Eigengewicht der Maschine nicht genügend Reibung zwischen Sohle und Maschine erzeugt, um die Kräfte abzuleiten, muss die Maschine durch mehrere Anker in der Sohle gesichert werden. Ein Vorteil ist die mögliche Rahmenlänge der Maschine, womit auch 30 m-Bohrungen mit nur drei Schnecken zu realisieren sind. Auch der Vorschub müsste nicht zwingend durch Hydraulikzylinder realisiert werden, sondern könnte wie bei HDD-Anlagen auf Rack and Pinion basieren.

Für die Anwendung „pillar optimization“ wurde basierend auf dem vorher vorgestellten Maschinentyp die MRM 100/71M LF entwickelt. Ein weit verbreitetes Abbaukonzept in den südafrikanischen Chrom- und Platinbergwerken ist der Kammerpfeilerbau. In der Vergangenheit wurden diese Pfeiler z.T. deutlich überdimensioniert. Da die nachträgliche Verkleinerung nicht zulässig ist, wurde die Idee entwickelt, einen Teil des in diesen Pfeilern vorhandenen Erzes durch eine bzw. mehrere Bohrungen zu gewinnen und diese anschließend wieder zu verfüllen. Der Erzgehalt in diesen Pfeilern liegt meist deutlich über den aktuell erreichten Werten. Durch die sehr selektive Gewinnung können speziell die Bereiche des Reefs gewonnen werden, welche die höchsten Konzentrationen aufweisen. Ein Großteil der Pfeiler beträgt 8 x 8 m, woraus eine maximale Bohrlänge von 8 m resultiert, sofern nur von einer Seite gebohrt werden soll. Durch einen längeren Grundrahmen kann die Bohrlänge von 8 m mit zwei Schnecken, die sich auf der Maschine befinden, abgebildet werden, wodurch kein Magazinwagen erforderlich ist. Es wäre auch denkbar, den Pfeiler von zwei Seiten anzubohren, um mit lediglich einer Schnecke in der Maschine auszukommen. Die Peripherie zum Nachlegen der zweiten Schnecke und die Schnecke selbst würden dann auch noch entfallen. Wie die MRM 100/71M verfügt die MRM 100/71M LF über einen elektro-hydraulischen Antrieb. Durch die vier Raupenfahrwerke ist es möglich, die Maschine sicher in anspruchsvollen Strecken zu manövrieren (Bild 8).

## 7 Zukunftsaussichten

Es ist davon auszugehen, dass die kontinuierliche Mechanisierung in Verbindung mit der Automatisierung immer mehr an Einfluss im Bergbau gewinnen wird. Diese Entwicklung wird unabhängig vom Lohnniveau weltweit den Bergbau verändern. Somit wird auch die mechanische Gewinnung einen immer größeren Stellenwert bekommen, sofern die Anwendungsfälle es zulassen bzw. die Lagerstätten ihren Einsatz erfordern. Auf lange Sicht ist davon auszugehen, dass die immer noch im Einsatz befindlichen Wurfschaufellader und Schrapper irgendwann ganz aus dem weltweiten Bergbau verschwinden werden und wie in Deutschland nur noch im Museum zu sehen sind.

Aus diesen Gründen ist es wichtig, neue Technologien zu erproben und so lange weiterzuentwickeln, bis es möglich ist, einen sicheren und störungsunempfindlichen Betrieb auch in den heute noch nicht vorstellbaren Anwendungen bzw. Lagerstätten sicherzustellen. Die Herausforderung treibt dazu an, Produkte zu entwickeln, die genau dieses Ziel erreichen, um dem Markt von morgen die Maschinen zu bieten, die er zukünftig verlangt.

Neben den Maschinen, die sich stark am südafrikanischen Erzbergbau orientieren, gibt es auch eine sehr interessante An-

## 7 Future prospects

It can be assumed that continuous mechanisation in connection with automation will gain more and more influence in mining. This development will change the mining industry worldwide, regardless of wage levels. Consequently, mechanical extraction will also become more and more important, provided that the applications allow it or the deposits require its use. In the long run, it can be assumed that overhead loaders and scrapers still in use will eventually disappear completely from mining worldwide and, as in Germany, will only be seen in museums.

For these reasons, it is important to test new technologies and to develop them further until it is possible to ensure safe operation that is insensitive to interruptions, even in applications or deposits that are not yet imaginable today. The challenge drives us to develop products that achieve precisely this goal, in order to offer the market of tomorrow the machines it will demand in the future.

Besides the machines that are oriented towards South African ore mining, there is also a very interesting application in coal mining. The use of large hole degasification holes should significantly reduce the number of degasification holes required and at the same time realise better degassing. The ABM 80/71MX machine concept shown in Figure 9 was developed for precisely this application. The drilling depth is to be up to 150 m and offer a maximum diameter of 500 mm.

Other topics include drilling equipment for gangue ore deposits such as those found in the Ore Mountains in the state of Saxony in Germany. The advantage is that the aisles are mostly steep, which means that the material is transported by gravity. A disadvantage is the protection of the operators and the machine and safe removal of the extracted ore.

A couple of conceivable applications, though still without concrete enquiries, is cased hole drilling to penetrate fault zones or highly variable or water-bearing geological formations.

## 8 Summary

With its many years of experience in the mining industry, Perforator GmbH, Walkenried/Germany, has been actively involved in the development of extraction drilling rigs for worldwide use for several years. In recent years, several in situ tests of this technology have been conducted in South Africa, both above and under ground. In addition to production drilling, pillar optimisation is also a very interesting area of application that is becoming increasingly important. The knowledge gained from the trials was used to further develop and optimise the various machine concepts. The next step is the construction of a concept machine, which is to go into test operation in 2022/2023 in order to validate whether and under what conditions economic extraction is possible.

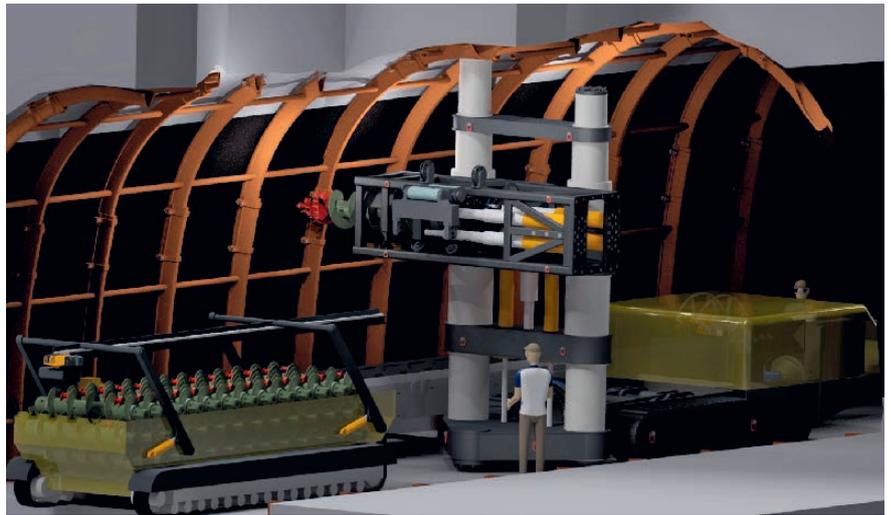


Fig. 9. Auger boring machine ABM 80/71MX in a mining roadway. // Bild 9. Auger Boring machine ABM 80/71MX in einer Abbaubegleitstrecke. Photo/Foto: Perforator

wendung im Kohlebergbau. Durch den Einsatz von Großloch-entgasungsbohrungen soll die Anzahl der nötigen Bohrungen deutlich reduziert und gleichzeitig eine bessere Entgasung realisiert werden. Für genau diese Anwendung wurde das in Bild 9 dargestellte Maschinenkonzept ABM 80/71MX entwickelt. Die Bohrtiefe soll bis zu 150 m betragen und einen maximalen Durchmesser von 500 mm bieten.

Weitere Themen sind Bohrgeräte für Gangerzlagertstätten wie sie im Erzgebirge in Sachsen vorkommen. Der Vorteil sind die meist steil stehenden Gänge, wodurch der Materialtransport über die Schwerkraft erfolgt. Ein Nachteil ist der Schutz der Bediener, der Maschine und ein sicherer Abtransport des gewonnen Erzes.

Ein paar denkbare Anwendungen, allerdings noch ohne konkrete Anfragen, ist das verrohrte Bohren zum Durchörtern von Störungszonen oder stark wechselnden oder wasserführenden geologischen Formationen.

## 8 Zusammenfassung

Die Perforator GmbH ist mit ihrer langjährigen Erfahrung im Bergbau seit mehreren Jahren aktiv an der Entwicklung von Gewinnungsbohrgeräten für den weltweiten Einsatz tätig. In den vergangenen Jahren wurden mehrere In situ-Tests dieser Technologie in Südafrika sowohl über als auch unter Tage durchgeführt. Neben dem Gewinnungsbohren ist auch die Pfeileroptimierung ein sehr interessanter Einsatzbereich, der immer mehr an Bedeutung gewinnt. Durch die in den Erprobungen gewonnenen Erkenntnisse wurden die verschiedenen Maschinenkonzepte weiterentwickelt und optimiert. Als nächster Schritt ist der Bau einer Konzeptmaschine geplant, die 2022/2023 in den Testeinsatz gehen soll, um zu validieren, ob und unter welchen Voraussetzungen eine wirtschaftliche Gewinnung möglich ist.

### Author / Autor

Marcus Trenke M. Sc., Perforator GmbH, Walkenried/Germany