

## Cutter Mining – A Sustainable Technology for Mining Small Vertical Ore Bodies and Veins

Economic and at the same time environmentally acceptable mining of small vertical ore bodies and veins to great depths has always been a challenge for miners. The Bauer cutter system, widely used in civil engineering, has been further devel-

oped for applications in exploration and mining, to a sustainable system for selective mining with a focus on small vertical ore bodies and veins, as well as residual ore in open pit operations.

## Cutter Mining – Eine nachhaltige Technologie für den Abbau von kleinen vertikalen Erzkörpern und Erzgängen

Der wirtschaftliche und zugleich umweltverträgliche Abbau von geringmächtigen vertikalen Erzkörpern und Erzgängen bis in große Teufen ist seit jeher eine Herausforderung für die Bergbauindustrie. Das im Tiefbau weit verbreitete Bauer Fräsensys-

tem wurde für Anwendungen in der Exploration und im Bergbau zu einem nachhaltigen System für den selektiven Abbau mit Schwerpunkt auf geringmächtigen vertikalen Erzkörpern und -gängen, sowie Resterz im Tagebau weiterentwickelt.

### 1 Current situation of conventional mining of small ore bodies and vertical veins

Small ore bodies and vertical or near-vertical ore veins often pose a challenge to the mining industry. The relatively small size of the ore deposit over great depths or lengths, with only limited exposure to the surface makes economical mining difficult.

Open pit mining of such ore bodies must either be terminated early because of the high stripping ratio and the enormous environmental impact or is unprofitable from the very beginning. The required massive stripping of waste rock leads to high material hauling times and costs, intensive roadway and bench construction and maintenance, possible safety hazards due to heavy vehicle movement, pit wall stability risks, intensive surface water management and massive waste dump requirements. In addition, it can be assumed that increasingly extensive rehabilitation measures will be required in the future after mine closure. Particularly in vertically oriented magmatic and hydrothermal deposits the technical, economic and environmental limits for further pushbacks, to extend the open pit depth, can lead to an early end of mine life even if a significant quantity of residual ore is left behind. Going underground is only a viable option in a limited number of mines with very high ore values and volumes. The high development cost of an underground mine, as well as the higher underground mining costs, often prevent further mining to greater depths.

A good example is the Skorpion zinc mine in Namibia, which has reached the end of open pit mining. Further pushbacks or un-

### 1 Derzeitige Situation des konventionellen Abbaus von kleinen Erzkörpern und vertikalen Erzgängen

Geringmächtige Erzkörper und vertikale oder nahezu vertikale Erzgänge stellen für die Bergbauindustrie oft eine Herausforderung dar. Die relativ geringe Mächtigkeit des Erzvorkommens über große Teufen oder Längen mit nur begrenzter Exposition an der Oberfläche erschwert einen wirtschaftlichen Abbau.

Die Gewinnung solcher Erzkörper im Tagebau muss entweder wegen der hohen Abraumquote und der enormen Umweltauswirkungen frühzeitig beendet werden oder ist von vornherein unrentabel. Der erforderliche massive Abbau von taubem Gestein führt zu hohen Materialtransporten und -kosten sowie zum kostenintensiven Bau und der Instandhaltung von Verkehrswegen und Böschungen. Außerdem stellt intensiver Schwerlastverkehr ein erhöhtes Sicherheitsrisiko dar. Des Weiteren kann die Wirtschaftlichkeit durch Stabilitätsrisiken der Böschungen, durch intensive Oberflächenwasserhaltung und das Behandeln von großen Mengen an Abraummaterial negativ beeinflusst werden. Zudem ist davon auszugehen, dass in Zukunft immer umfangreichere Rekultivierungsmaßnahmen nach der Stilllegung der Tagebaue erforderlich werden. Insbesondere bei vertikal ausgerichteten magmatischen und hydrothermalen Lagerstätten können die technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Restriktionen eine Erweiterung der Tagebautiefe verhindern und so zu einem vorzeitigen Ende der Lebensdauer des Bergwerks führen, selbst wenn eine erhebliche Menge an Resterz zurückbleiben muss. Un-

derground operations are not economically viable. As can be seen in Figure 1, this leaves a significant, valuable portion of the deposit in the ground. This could be mined, at least in large part, using a vertical mining method to depths between 100 and 200 m from the bottom of the open pit.

## 2 Request for alternative mining solutions

The economic and, particularly, environmental demands of current and, more importantly, planned mining projects are increasingly calling for alternative and selective mining methods. Mining should concentrate on the valuable mineral resources - the amount of mined waste rock should be minimized and, in best case, almost eliminated. The ecological footprint must be minimized by avoiding large open pit mines with huge dumps of waste rock and groundwater lowering. The time-to-mine should be minimized to generate early revenues and the entire mining infrastructure should be reduced. Alternative and customized mining solutions are required to turn small ore bodies in economically viable mining projects and to help to operate existing open pit mines that are at the end of their mine life for many more years without additional impact on the natural environment, or at least to continue partially exploitation thus making a significant contribution to the overall economic success.

For the mining of such vertical ore bodies and vertical or slightly inclined veins from the surface or in open pits, Bauer Mining Solutions sees great synergies to use the Bauer cutter system as an alternative and selective mining method. Originally developed for civil engineering, the trench cutter technology for construction of cut-off walls and diaphragm walls follows the same principles when utilized as a mining tool for the vertical extraction of ore (Figure 2).

Having grown over the years, the BAUER Group, Schrobenuhlen/Germany, now covers the entire mine life cycle with a wide

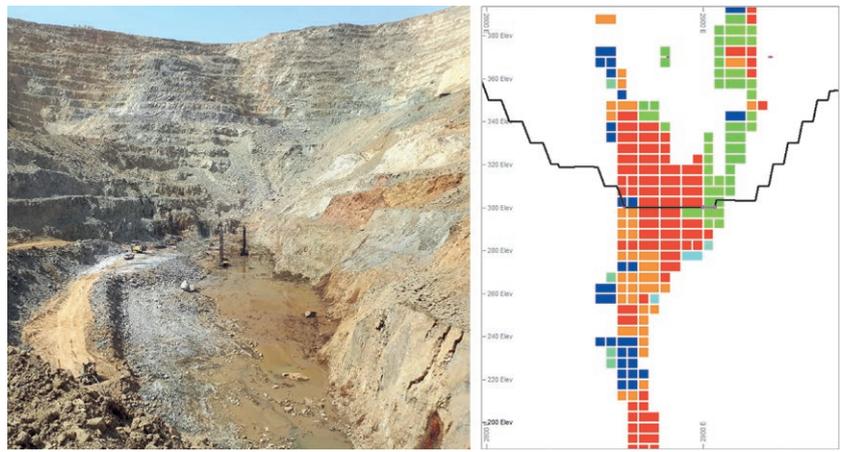


Fig. 1. Open pit mining at Skorpion zinc mine at final elevation (left). Residual ore remaining under bottom of open pit (right). // Bild 1. Bergbauaktivitäten im Skorpion Zink-Bergwerk auf der Sohle des Tagebaus (links). Darstellung des verbleibenden Restes unter der Sohle des Tagebaus (rechts). Source/Quelle: Vedanta Resources 2019

tertagebergbau ist nur für eine begrenzte Anzahl von Bergwerken mit sehr hohen Erzgehalten und -mengen eine praktikable Option. Die hohen Erschließungskosten im Bergbau unter Tage sowie die höheren Betriebskosten verhindern häufig einen weiteren Abbau in größeren Teufen.

Ein gutes Beispiel ist das Skorpion-Zinkbergwerk in Namibia, welches das Ende des Tagebaus erreicht hat. Weitere Pushbacks oder untertägiger Abbau sind wirtschaftlich jedoch nicht sinnvoll. Wie aus Bild 1 ersichtlich ist, verbleibt damit ein bedeutender, wertvoller Teil der Lagerstätte im Boden. Dieser könnte zumindest zu einem großen Teil mit einer vertikalen Abbaumethode bis in Teufen zwischen 100 und 200 m ab der Sohle des Tagebaus abgebaut werden.

## 2 Forderung nach alternativen Bergbaulösungen

Die wirtschaftlichen und vor allem die ökologischen Anforderungen der laufenden und vor allem der geplanten Bergbauprojekte erfordern zunehmend alternative und selektive Abbaumethoden. Der Abbau sollte sich auf die wertvollen mineralischen Ressourcen konzentrieren - die Menge an mitgewonnenem Abraum sollte minimiert und im besten Fall nahezu eliminiert werden. Der ökologische Fußabdruck muss minimiert werden, indem große Tagebaue mit riesigen Abraumhalden und Grundwasserabsenkungen vermieden werden. Die Vorlaufzeit bis zur Erzgewinnung sollte minimiert werden, um frühzeitige Einnahmen zu erzielen, und die gesamte Bergwerksinfrastruktur sollte reduziert werden. Alternative und maßgeschneiderte Bergbaulösungen sind erforderlich, um einerseits auch geringmächtige Erzkörper in wirtschaftlich tragfähige Bergbauprojekte umzuwandeln und andererseits bestehende Tagebaue, die sich am Ende ihrer Lebensdauer befinden, noch jahrelang ohne zusätzliche Eingriffe in die natürliche Umwelt betreiben oder zumindest teilweise weiter nutzen zu können und damit einen wesentlichen Beitrag zum wirtschaftlichen Gesamterfolg zu leisten.

Für die Gewinnung solcher vertikaler Erzkörper und vertikaler oder leicht geneigter Erzgänge von der Geländeoberfläche aus oder von der Sohle eines bestehenden Tagebaus aus sieht Bauer Mining Solutions, große Synergien, das bewährte Bauer-Fräsen-



Fig. 2. Standard cutter system for diaphragm walls and cut-off walls – dam project in Germany. // Bild 2. Standard Fräsensystem für Schlitz- und Dichtwände – Staudammprojekt in Deutschland. Photo/Foto: BAUER Spezialtiefbau GmbH

range of activities. All activities of Bauer Mining Solutions are based on the experience gained in 60 years of special foundation and in 50 years of design and manufacturing experience with specialized equipment. During this very long period, Bauer has developed methods, technologies, and equipment that have become the highest standard in the civil engineering industry. Examples are piling rigs, trench cutters, and other foundation and cut-off wall systems. These proven methods and technologies are now modified to cross-over technologies providing the mining industry with solutions beyond current mining and exploration standards. Cutter mining is one of the technologies developed by Bauer to make a sustainable contribution to the extraction of vertical ore bodies and veins.

### 3 Bauer cutter technology

Trench cutters are widely used in civil engineering for the installation of diaphragm walls and cut-off walls (Figure 2). Diaphragm walls act as retaining walls to allow for open excavation pits, e. g., for the installation of underground car parks and subway lines, or the foundations of buildings. Cut-off walls underneath and inside dams, including tailings dams, act as a permanent water barrier to avoid seepage and collapse of the dam. To form the walls, trenches are excavated by the trench cutter in primary and overlapping secondary panels. The trenches are supported by bentonite slurry during excavation, then, upon completion backfilled with concrete, replacing the slurry.

During trench excavation, the cutter wheels continuously loosen and break the rock material and mix it with the support fluid in the trench (bentonite slurry in civil engineering and water in mining). The fluid charged with the crushed rock is then pumped to surface where it is separated in a treatment plant. The cleaned fluid is pumped back to the cutter trench in a closed loop to minimize consumption. Since 1984, Bauer has been continuously developing the trench cutter system and is now considered the world market leader in this technology with more than 400 units working on all continents of the globe.



Fig. 3. Trench cutter system for bulk sampling to 250 m depth at Falcon Diamond Project in Canada. // Bild 3. Schlitzwandfräse für die Entnahme von großvolumigen Proben in 250 m Tiefe auf dem Falcon-Diamantenprojekt in Kanada. Photo/Foto: BAUER Maschinen GmbH

system als alternatives und selektives Abbauverfahren einzusetzen. Die ursprünglich für den Tiefbau entwickelte Frästechnik zur Herstellung von vertikalen Dichtwänden und Schlitzwänden folgt den gleichen Prinzipien, wenn sie als Abbauwerkzeug zur vertikalen Erzgewinnung eingesetzt wird (Bild 2).

Die BAUER Gruppe, Schrobenuhausen, ist über die Jahre kontinuierlich gewachsen und kann heute die gesamte Lebensdauer eines Bergwerks mit einem breiten Spektrum an Aktivitäten abdecken. Alle Aktivitäten von Bauer Mining Solutions basieren auf der Erfahrung aus 60 Jahren Spezialtiefbau und 50 Jahren Konstruktions- und Fertigungserfahrung mit Spezialgeräten. Während dieser langen Zeit hat Bauer Methoden, Technologien und Geräte entwickelt, die zum höchsten Standard in der Tiefbauindustrie geworden sind. Beispiele hierfür sind Pfahlbohrgeräte, Schlitzwandfräsen sowie Gründungs- und Dichtwandsysteme. Diese bewährten Methoden und Technologien werden nun zu Cross-over-Technologien modifiziert, die der Bergbauindustrie Lösungen bieten, die über die derzeitigen Bergbau- und Explorationsstandards hinausgehen. Cutter Mining ist eine der Technologien, die Bauer entwickelt, um einen nachhaltigen Beitrag zur Gewinnung von vertikalen Erzkörpern und -gängen zu leisten.

### 3 Bauer Frästechnik

Schlitzwandfräsen werden im Tiefbau häufig zur Herstellung von Schlitzwänden und Dichtwänden eingesetzt (Bild 2). Schlitzwände dienen als Stützwände für offene Baugruben, z. B. für die Errichtung von Tiefgaragen und U-Bahn-Linien, sowie zur Gründung von Gebäuden. Dichtwände unterhalb und innerhalb von Dämmen, auch von Absetzteichen von Bergbaubetrieben, dienen als dauerhafte Sperre, um ein Durchsickern des aufgestauten Wassers und den Einsturz des Damms zu verhindern. Zur Herstellung der Wände werden mit der Fräse Schlitze in primären und überlappenden sekundären Stichen ausgehoben. Diese offenen Schlitze werden während des Aushubs mit Bentonitsuspension gestützt und nach Fertigstellung mit Beton verfüllt, der die Suspension ersetzt.

Während des Schlitzausbaus lockern und brechen die Schneidräder kontinuierlich das Bodenmaterial und vermischen es mit der Stützflüssigkeit im Schlitz (Bentonitsuspension im Tiefbau und Wasser im Bergbau). Die mit dem zerkleinerten Gestein aufgeladene Flüssigkeit wird dann an die Oberfläche gepumpt, wo sie in einer Aufbereitungsanlage getrennt wird. Die gereinigte Flüssigkeit wird in einem geschlossenen Kreislauf zurück in den Schlitzgraben gepumpt, um den Verbrauch zu minimieren. Seit 1984 hat Bauer das Schlitzwandfräsensystem kontinuierlich weiterentwickelt und gilt heute mit mehr als 400 Anlagen, die auf allen Kontinenten im Einsatz sind, als Weltmarktführer in dieser Technologie.

Wesentliche Komponenten einer Schlitzwandfräse sind zwei Fräseräder, die gegenläufig um horizontale Achsen rotieren und mit unterschiedlichen Schneidwerkzeugen für den Aushub unterschiedlichster Boden- und Gesteinsarten ausgestattet werden können (Bild 4). Unter realen Baustellenbedingungen wurde mit Bauer-Schlitzwandfräsen Gestein mit einer Festigkeit von bis zu 200 MPa geschnitten.

Die Schneidräder und die Förderpumpe sind in einem schweren Stahlrahmen montiert, der mit hydraulisch betätigten Steuerplatten ausgestattet ist, um die Vertikalität oder die geplante Neigung

Standard Teeth



Round Shank Chisel



Roller Bits



Fig. 4. Cutter wheels with different teeth arrangements for varying soil and rock conditions. Bild 4. Fräsräder mit verschiedenen Schneidwerkzeugen für unterschiedliche Boden- und Gesteinsarten. Photo/Foto: BAUER Maschinen GmbH

Key components of a trench cutter are two counter rotating cutter wheels that can be fitted with different teeth arrangements for excavation of various types of soils and rocks (Figure 4). In industrial production rock with strengths of up to 200 MPa has been cut by Bauer trench cutters.

Cutter wheels and the recovery pump are mounted in a heavy steel frame which is equipped with hydraulically operated steering plates to control verticality or planned inclination in both directions. For enhanced penetration in harder soil or rock formations, especially in mining, the Hard Rock Cutter System, a clamping system of the cutter body with controlled feed, has been developed compared to the conventional trench cutter to achieve higher and constant load on bit. To better evaluate the effect of the increased and constant load on bit on the achievable production rates, the Colorado School of Mines simulated the new Hard Rock Cutter System in combination with standard pic teeth wheels, as well as disc cutter wheels (Figure 5). As expected, the simulation proved a significant increase in mining rates for both types of cutter wheels.

Both, the production hose, for material delivery to surface, and the power supply hoses are automatically fed into the trench and coiled up on drum systems positioned on the back of the rig (Figure 3). To make moving the rig from one position to the next easier, the entire system is mounted on a crawler-based carrier that also provides sufficient power supply for the entire unit. As an alternative, electric power can also drive any of the Bauer cutter units.

#### 4 The Vertical Cutter Mining system

The Vertical Cutter Mining (VCM) is an innovative cross-over system from proven applications in civil engineering (see Section 2 and 3) to provide fit-for-purpose solutions for mining mineral resources.

The cutter system has already been applied at several bulk sampling and trial mining operations onshore and offshore for mining companies such as BHP Billiton, Rio Tinto and De Beers/Anglo American. In 2019, a Bauer trench cutter system – customized to the project requirements – was used on the Star Orion Kimberlite fields for

in beide Richtungen zu steuern. Für ein besseres Eindringen in härtere Boden- oder Felsformationen, insbesondere im Bergbau, wurde im Vergleich zur herkömmlichen Fräse das Hard Rock Cutter System, ein Verspannsystem des Fräsenkörpers mit gesteuertem Vorschub, entwickelt, um einen höheren und konstanten Anpressdruck auf die Fräszähne zu erreichen. Zur besseren Beurteilung des Einflusses von Anpressdruck und anderer Modifikationen auf erzielbare Produktionsraten, simulierte die Colorado School of Mines das neue Hard Rock Cutter-System in Kombination mit Fräsrädern mit Rundschaftmeißeln sowie Fräsrädern mit Diskenmeißelbesatz (Bild 5). In der Simulation konnte erwartungsgemäß eine signifikante Steigerung der Abbauraten für beide Fräsrädertypen nachgewiesen werden.

Der Förderschlauch für die Materialförderung an die Oberfläche und die Energieversorgungsschläuche werden automatisch in den Schlitz nachgeführt und auf Trommelsystemen aufgerollt, die auf der Rückseite des raupengestützten Frästrägers (Bild 3) montiert sind. Damit kann die Anlage leicht und schnell von einer Position zur nächsten umgesetzt werden. Der diesel-hydraulische Antrieb des Geräteträgers gewährleistet auch eine ausreichende Energieversorgung der gesamten Einheit. Alternativ kann jede Bauerfräse auch elektrisch angetrieben werden.

#### 4 Das Vertical Cutter Mining System

Das Vertical Cutter Mining (VCM) ist ein innovatives Cross-over-System aus bewährten Anwendungen im Tiefbau (s. Kap. 2 und 3), um optimierte Lösungen für den Abbau von Bodenschätzen anzubieten.

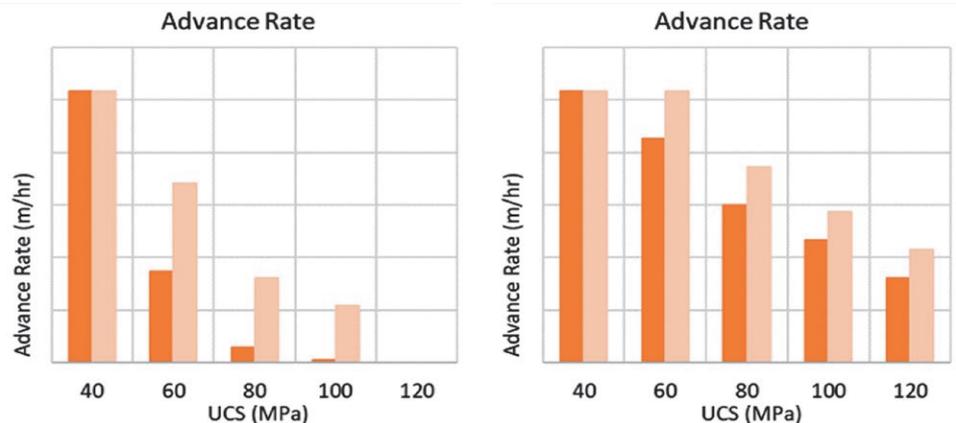


Fig. 5. Simulation of cutter performance in combination of hard rock cutter system and pic teeth wheels (left) and disc cutter wheels (right). // Bild 5. Simulation der Fräseleistung bei der Kombination des Hard Rock Cutter-Systems und Fräsrädern mit Rundschaftmeißel (links) und Diskenmeißelbesatz (rechts). Source/Quelle: Colorado School of Mines

Rio Tinto in Saskatchewan/Canada, to carry out a large-scale bulk sampling program (Figure 3). By using cutter technology, large volumes can be excavated from great depths, allowing better assessment of the deposit. The scope of the first program phase comprised ten trenches with a maximum depth of 251 m and a footprint of 1,5 x 3,2 m. This depth has never been reached before by a trench cutter in a commercial application anywhere in the world. The project has proven that Bauer cutter technology is also suitable for the mining industry.

Optimizing the cutter system for higher productivity – e.g., increasing the contact surface of the cutter head, increasing the penetration speed especially in hard rock formations, reaching greater excavation depths - will fulfill the needs of the mining industry as a selective and alternative mining system. It should be noted, that Bauer already holds a large number of patents, which in addition to the equipment technology also include innovative and future-oriented mining methods and sequences.

The VCM system is a flexible and safe continuous mining method from surface up to great depths. The mining sequence will be designed according to the dimensions and layout of each individual ore body for maximum ore recovery and minimum dilution.

Mining takes place in two stages. In the first mining step the deposit is perforated with vertical primary trenches. The size and spacing between the primary trenches are defined by the stability of the deposit. The remaining ore, or at least part of it, is usually excavated in a subsequent second mining step. However, sufficient backfilling measures in the primary trenches must be carried out beforehand. Depending on the nature of the deposit, flooding of the perforated ore body after the first mining step in combination with a floating cutter system can eliminate the need to backfill the primary trenches and increase the recovery rate of the ore body.

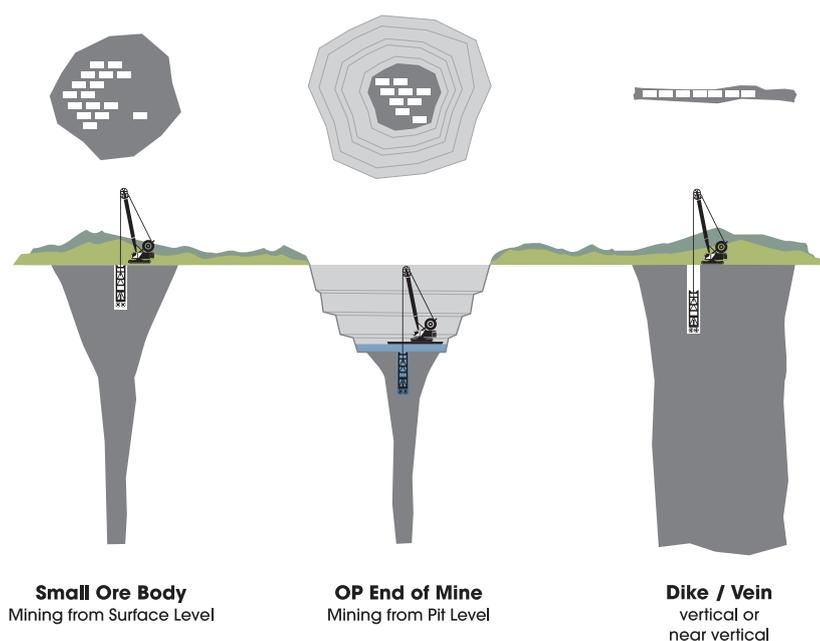


Fig. 6. Fields of application of the Vertical Cutter Mining system.  
Bild 6. Anwendungsbereiche des Vertical Cutter Mining Systems.  
Source/Quelle: BAUER Maschinen GmbH

Das Fräsensystem wurde bereits bei mehreren Projekten für „Bulk Sampling“ und für Abbaueversuche an Land und auf See für Bergbauunternehmen wie BHP Billiton, Rio Tinto und De Beers/Anglo American eingesetzt. Im Jahr 2019 wurde auf den Star Orion Kimberlite Feldern für Rio Tinto in Saskatchewan/Kanada ein Bauer Fräsensystem (Bild 3) – angepasst an die Projektanforderungen – zur Durchführung eines weit angelegten Programms zur Gewinnung von großvolumigen Proben eingesetzt. Durch den Einsatz der Fräsestechnik können große Mengen aus großer Tiefe abgebaut werden, was eine bessere Bewertung der Lagerstätte ermöglicht. Der Umfang der ersten Programmphase umfasste die Herstellung von zehn Schlitzen mit einer maximalen Tiefe von 251 m und einer Fläche von 1,5 x 3,2 m. Diese Tiefe wurde noch nie zuvor von einer Schlitzwandfräse in einer kommerziellen Anwendung irgendwo auf der Welt erreicht. Das Projekt hat bewiesen, dass die Bauer Fräsestechnik auch für die Bergbauindustrie geeignet ist.

Nach Optimierung des Fräsensystems zur Erzielung höherer Produktivität wird es den Anforderungen der Bergbauindustrie als selektives und alternatives Abbausystem gerecht. Eine Auswahl an Optimierungsmöglichkeiten sind z.B. die Vergrößerung der Fläche des Fräsenkopfs, die Erhöhung der Eindringgeschwindigkeit insbesondere in Hartgesteinsformationen und das Erreichen größerer Abbautiefen. Bauer verfügt bereits über eine Vielzahl von Patenten, die neben der Gerätetechnik auch innovative und zukunftsweisende Abbauprozesse und -abläufe beinhalten.

Das VCM-System ist ein flexibles und sicheres, kontinuierliches Abbauprozess von der Geländeoberfläche bis in große Teufen. Die Abbaureihenfolge wird entsprechend der Dimensionen und dem Layout jedes einzelnen Erzkörpers so gestaltet, dass eine maximale Erzgewinnung und eine minimale Vermischung mit taubem Gestein erfolgt.

Die Gewinnung erfolgt in zwei Stufen. In einer ersten Abbaustufe wird die Lagerstätte mit vertikalen Primärschlitzen perforiert. Größe und Abstände zwischen den Primärschlitzen werden durch die Stabilität der Lagerstätte bestimmt. Das verbleibende Erz oder zumindest ein Teil davon wird in der Regel in einem anschließenden zweiten Schritt abgebaut. Zuvor müssen jedoch ausreichende Verfüllungsmaßnahmen der Primärschlitze durchgeführt werden. Je nach Beschaffenheit der Lagerstätte kann eine Flutung des perforierten Erzkörpers nach dem ersten Abbauschritt in Kombination mit einem schwimmenden Fräsensystem eine Verfüllung der Primärschlitze überflüssig machen und die Gewinnungsrate des Erzkörpers erhöhen.

## 5 VCM Systemanwendungen

Aufgrund der Vielseitigkeit des Cutter Mining-Systems kann es erfolgreich bei verschiedenen Formen von Erzkörpern und in verschiedenen Entwicklungsstadien eines Bergbauprojekts eingesetzt werden (Bild 6):

- Abbau von Schloten und vertikalen oder nahezu vertikalen Erzgängen, direkt von der Oberfläche aus und
- Abbau von der Tagebausohle aus in bestehenden Tagebaubetrieben.



Fig. 7. Ore body trial cutter mining from pit level at Ekati mine in Canada.  
Bild 7. Fräsestest auf der Grubensohle des Bergwerks Ekati in Kanada.  
Photos/Fotos: BAUER Maschinen GmbH



Fig. 8. Cutter mining of kimberlite veins in Sierra Leone. // Bild 8. Cutter Mining von Kimberlit-Dikes in Sierra Leone.  
Photo/Foto: BAUER Maschinen GmbH

## 5 VCM system application

Based on the versatility of the cutter mining system, it can be successfully applied to different shapes of ore bodies and at different stages of mining project development (Figure 6):

- mining of pipes and vertical or near vertical veins directly from the surface; and
- mining from the bottom of pit in existing open pit mines.

In addition to the successful use of the cutter mining system for bulk sampling (onshore and offshore), the system has already been used in several mining trials.

Bauer and BHP Billiton, together with Nuna Logistics, have successfully tested the cutter system in a large-scale trial mining operation at the Misery pit of the Ekati mine in the Canadian Northwest Territories (Figure 7). For this purpose, a Bauer trench cutter system with separation plant was set up at the bottom of the open pit directly on the kimberlite ore body. Various cutter wheels with different tooth arrangements were intensively tested. Parameters such as rotation speed, load on bit and pump speed were varied to determine the optimum performance. All ore was pumped to the separation plant and collected in big bags to analyze size distribution, diamond content, possible diamond breakage, etc.

Looking at kimberlite ore bodies in eastern Sierra Leone, most of them appear as kimberlite dikes. Seeking to mine such kim-

Neben dem erfolgreichen Einsatz des VCM-Systems für „Bulk Sampling“ – an Land und auf See – wurde das System bereits in mehreren Großversuchen eingesetzt.

Bauer und BHP Billiton haben gemeinsam mit Nuna Logistics das Fräsen-system in einem groß angelegten Probebetrieb in der Misery-Grube des Bergwerks Ekati in den kanadischen Nordwest-Territorien (Bild 7) erfolgreich getestet. Dazu wurde eine Bauer-Fräse und eine Separieranlage auf der Sohle des Tagebaus direkt auf dem Kimberlit-Schlot aufgestellt. Verschiedene Schneidräder mit unterschiedlichen Zahnanordnungen wurden intensiv getestet. Parameter wie Drehgeschwindigkeit, Auflast auf die Schneidräder und Pumpendrehzahl wurden variiert, um die optimale Leistung zu ermitteln. Das gesamte Erz wurde zu einer Separieranlage gepumpt und in Big Bags gesammelt, um die Größenverteilung, den Diamantgehalt, mögliche Schäden an Diamanten usw. zu analysieren.

Betrachtet man die Diamantvorkommen im Osten Sierra Leones, so zeigt sich, dass die meisten von ihnen als Kimberlit-Dikes auftreten. In dem Bestreben, solche Kimberlitgänge in größeren Teufen abzubauen, testeten die Bergbaugesellschaft Koidu und Bauer das Cutter Mining-System (Bild 8). Die gewählte Schlitz-/Schneidbreite von 800 mm basierte auf der Annahme von Koidu, dass die Gangmächtigkeit zwischen 800 und 1.000 mm liegt.

Bauer untersucht derzeit in Zusammenarbeit mit verschiedenen Bergbauunternehmen die Möglichkeit, das VCM-System für den Abbau von vertikalen oder nahezu vertikalen Erzkörpern einzusetzen, wobei der Schwerpunkt auf Goldadern liegt. Diese Art von Adern kommt u.a. in Nord- und Südamerika, Australien und Afrika vor. Ein gutes Beispiel sind die vertikalen Goldadern der Asante Gold Mine in Ghana (Bild 9). Hier wird das Cutter Mining-System als Alternative zum konventionellen Untertageabbau der Adern, der teilweise sogar noch händisch erfolgt, evaluiert.

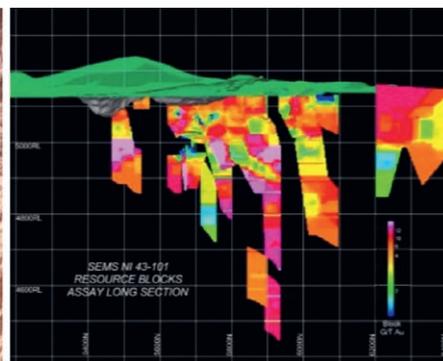


Fig. 9. Artisanal vein mining in Ghana (left). Near vertical gold veins of Kubi main deposit (right).  
Bild 9. Artisanaler Abbau von Goldadern in Ghana (links). Nahezu vertikale Goldadern der Lagerstätte Kubi (rechts). Source/Quelle: Asante Gold Corporation 2021

## 6 Geeignete Erzkörper

Das VCM-System wird wirtschaftlich nicht mit dem konventionellen großflächigen

berlite dikes to greater depths, the mining company Koidu and Bauer tested the cutter mining system (Figure 8). The chosen cutter width of 800 mm was based on the assumption by Koidu of a dike width between 800 and 1,000 mm.

Bauer, in cooperation with various mining companies, is currently investigating the possibility of using the cutter mining system to mine vertical or near vertical ore bodies, with a special focus on gold veins. These types of veins occur in North and South America, Australia and Africa, among other places. A good example are the vertical gold veins of an Asante Gold mine in Ghana (Figure 9). Here, the cutter mining system is being evaluated as an alternative solution to conventional underground mining of the veins, some of which were even still mined using artisanal methods.

## 6 Most feasible ore bodies

Cutter mining will not be able to compete economically with conventional large-scale open pit or underground mining. However, commodities with high value per ton, which occur in small ore bodies or veins, are particularly suitable for this new mining method.

To investigate application possibilities of the selective VCM system, an intensive study was performed by Delft University in the Netherlands to select suitable ore bodies based on conditions such as compressive strength, deposit geometry, associated rocks, abrasiveness, and ore value.

As a result, the most appropriate orebodies for cutter mining were identified as:

- kimberlite pipes and dikes;
- metallurgical coal in steep stratiform beds;
- gold turbidite-hosted veins;
- uranium hydrothermal veins;
- diamond sediment-hosted pockets;
- gold sediment-hosted pockets;
- rare earth residual enrichment;
- seafloor massive sulfide deposits.

## 7 Roadmap to a full-scale mining system

The economic success of a mining method depends to a large extent on the characteristics of the deposit. Among other factors, ore value, hardness, abrasiveness and the geological, petro-

Tagebau oder Bergbau unter Tage konkurrieren können. Allerdings sind Rohstoffe mit hohem Wert pro Tonne, die in geringmächtigen Erzkörpern oder -gängen vorkommen, für dieses neue Abbauverfahren besonders geeignet.

Um die Einsatzmöglichkeiten des selektiven VCM-Systems zu untersuchen, wurde von der Universität Delft in den Niederlanden eine intensive Studie durchgeführt, um geeignete Erzkörper anhand von Bedingungen wie Druckfestigkeit, Lagerstättengeometrie, Nebengestein, Abrasivität und Erzgehalt auszuwählen.

Als Ergebnis wurden die für das VCM System am besten geeigneten Erzkörper identifiziert:

- Kimberlit Schloten und Gänge,
- metallurgische Kohle in steil abfallenden Flözen,
- Goldadern in Turbiditablagerungen,
- hydrothermale Uranerzgänge,
- Diamanten in Sedimenttaschen,
- Gold in Sedimenttaschen,
- Lagerstätten von angereicherten Seltenen Erden,
- Massivsulfidlagerstätten am Meeresboden.

## 7 Fahrplan zu einem anwendungsreifen Bergbausystem

Der wirtschaftliche Erfolg eines Bergbauverfahrens hängt wesentlich von den Eigenschaften der Lagerstätte ab. U.a. haben Erzgehalt, Festigkeit, Abrasivität sowie die geologischen, petrographischen und geotechnischen Eigenschaften des Erzkörpers und des Muttergesteins einen direkten Einfluss auf die Abbauleistung und damit die Wirtschaftlichkeit.

Da keine Lagerstätte der anderen gleicht, muss auch die Abbaumethode – in diesem Fall das VCM-System – an die individuellen Projektparameter angepasst werden. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Eignung und Wirtschaftlichkeit des VCM-Verfahrens für jedes Projekt Schritt für Schritt zu untersuchen. Ein detailliertes Testprogramm gilt als zentraler Punkt für eine erfolgreiche Evaluierung (Bild 10).

Um die finanziellen, terminlichen und technischen Risiken eines Probetriebs zu minimieren, empfiehlt Bauer die Verwendung einer Standardfräse. Diese Systeme sind weltweit im Einsatz. Ein kontinuierlicher Probetrieb über einen längeren Zeitraum, bei dem verschiedene Schneidradkonfigurationen und

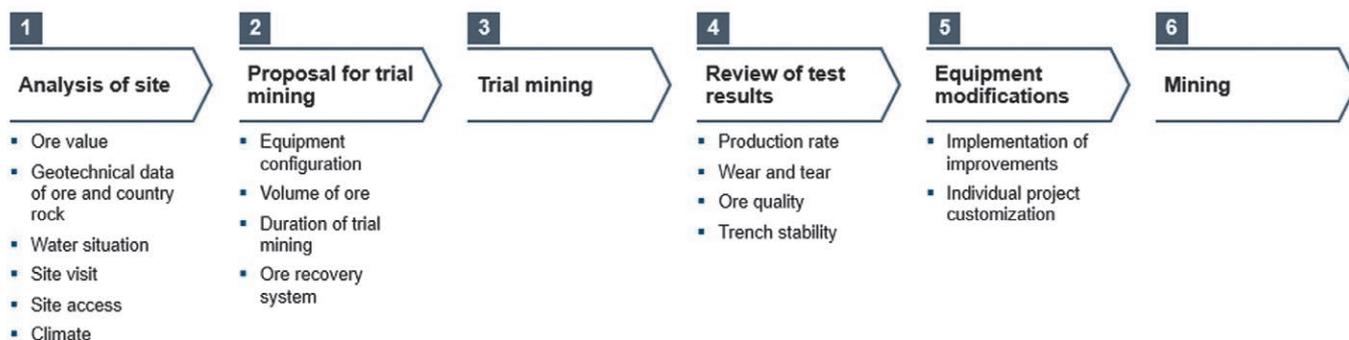


Fig. 10. General phases of a customized cutter mining project.

Bild 10. Allgemeine Phasen eines kundenspezifischen Cutter Mining-Projekts. Source/Quelle: BAUER Maschinen GmbH

graphic and geotechnical characteristics of the orebody and host rock have a direct influence on the mining performance and thus the economic viability.

Because no two deposits are alike, the mining method - in this case the cutter mining system - must also be adapted to the individual project parameters. For this reason, it is necessary to investigate the suitability and economic viability of the cutter mining method for each project. A detailed trial mining program is considered the central point for a successful evaluation (Figure 10).

To minimize the financial, scheduling and technical risks of trial mining, Bauer recommends the use of a standard Bauer cutter system, which is widely used around the world. Continuous trial mining, over an extended period of time, as well as testing different cutter wheel configurations and cutting parameters, allows a realistic determination of achievable performance criteria. It also allows a good estimation of the operating costs for both the cutter system under the given project conditions and the ancillary operations. With the knowledge gained, the necessary modifications and adaptations can then also be determined from an equipment engineering point of view to obtain a customized and efficient large-scale mining system for the respective project.

## 8 Future VCM equipment developments

In line with the company slogan "Passion for Progress", Bauer is constantly working on improvements and innovations for the cutter mining system to increase productivity in certain commodities and to extend the application of the mining method to further and harder ore bodies. The next steps in equipment development that Bauer is currently working on:

- full electrification of the complete mining system;
- increased production rate;
- increased depth capacity;
- automation of the cutting process;
- digitalization of complete mining set-up; and
- customization to each individual project.

In particular, the increased production rate in hard rock is crucial to being accepted in the mining sector as a new mining method. One of the Bauer targets is to achieve a mining rate of 100 t/h in up to 100 MPa UCS rock.

Based on the parameters of the individual ore body, future improvements to this may include:

- teeth configuration on the cutter wheels;
- quality and design of the teeth to fit specific ore properties;
- improvement of the gear boxes;
- increase of installed power and weight on bit;
- improvement of pump capacity;
- increase contact surface of the cutter head; and
- optimization of productive hours, e.g., fast exchange system of cutter wheels.

## 9 Sustainability of the cutter mining system

Mining has always been in the focus of various interests. Economic viability, environmental impact and social acceptance are key factors that need to be balanced to achieve a sustainable mining solution.

Fräsparameter getestet werden, ermöglicht eine realistische Bestimmung der erreichbaren Leistungskriterien. Außerdem lassen sich so die Betriebskosten sowohl für das Fräsen-System als auch für die Nebenarbeiten unter den gegebenen Projektbedingungen gut abschätzen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen können dann auch notwendige Modifikationen und Anpassungen aus gerätetechnischer Sicht bestimmt werden, um ein maßgeschneidertes und effizientes Großabbausystem für den jeweiligen Projekteinsatz zu erhalten.

## 8 Zukünftige VCM Geräteentwicklungen

Gemäß dem Firmenslogan „Begeistert für Fortschritt“ arbeitet Bauer ständig an Verbesserungen und Innovationen auch für das Cutter Mining-Verfahren, um die Produktivität für den Einsatz bei bestimmten Rohstoffen zu erhöhen und die Anwendungsmöglichkeiten des Abbaufahrens auf weitere und härtere Erzkörper auszudehnen. Die nächsten Schritte in der Geräteentwicklung, an denen Bauer derzeit arbeitet:

- Vollelektrifizierung des gesamten Abbausystems,
- Erhöhung der Produktionsrate,
- Erhöhung der erreichbaren Teufe,
- Automatisierung des Fräsprozesses,
- Digitalisierung der kompletten Abbaugeräte und
- Anpassung an jedes einzelne Projekt.

Insbesondere die Steigerung der Produktionsleistung im Hartgestein ist entscheidend, um im Bergbau als neue Abbaumethode akzeptiert zu werden. Eines der Ziele von Bauer ist es, eine Abbaurate von 100 t/h in Gestein mit einer Festigkeit bis zu 100 MPa UCS zu erreichen.

Weitere Verbesserungen können, basierend auf den Parametern des jeweiligen Erzkörpers, durchgeführt werden. Dazu gehören:

- Konfiguration der Zähne auf den Fräsrädern,
- Qualität und Design der Zähne zur Anpassung an spezifische Erzeigenschaften,
- Verbesserung der Getriebe,
- Erhöhung der installierten Leistung und der Vorschubkraft,
- Erhöhung der Pumpenleistung,
- Vergrößerung der Kontaktfläche des Fräsenkopfs und
- Optimierung der Produktivstunden, z.B. durch Schnellwechselsystem der Schneidräder.

## 9 Nachhaltigkeit des VCM-Systems

Der Bergbau stand schon immer im Fokus verschiedener Interessen. Wirtschaftliche Rentabilität, Umweltverträglichkeit und soziale Akzeptanz sind Schlüsselfaktoren, die für eine nachhaltige Bergbaulösung in Einklang gebracht werden müssen.

Das Bauer-VCM-System minimiert den gesamten ökologischen Fußabdruck des Bergbaubetriebs und optimiert zudem die Gesamtkosten des Projekts durch:

- ausschließliche Konzentration auf den Erzabbau,
- Minimierung der Abraumquote,
- Vermeidung umfangreicher Abraumhalden,
- Eliminierung umfangreicher Grundwasserabsenkungen und
- Minimierung der Rekultivierungskosten.

The Bauer cutter mining system minimizes the overall environmental footprint of mining operations and also optimizes the overall project costs by:

- focusing on ore extraction only;
- minimized strip ratio;
- avoiding extensive mine dumps;
- eliminating extensive water drawdowns; and
- minimizing reclamation costs at the end of mine life.

The Bauer alternative mining method makes it possible to optimize the entire mine infrastructure and shorten the time to mining significantly, which allows revenues to be generated at a very early stage of a mining project:

- Reduced mine development costs, e.g. for water management, pre-stripping of the overburden.
- By pre-crushing the ore with the cutter wheels, the crushing plant of the processing can be reduced. Concentrating on the ore and minimizing the dilution reduces the material throughput of the processing plant.
- Minimizing material hauling and associated roadworks and maintenance.

In addition to its application in new mining projects, the cutter system also offers great advantages in ongoing mining projects. The life of a mine can be extended by mining the remnants of an ore body without increasing the environmental footprint and without the need for additional infrastructure.

Cutter mining, which involves no or very little environmental impact and optimizes the economic efficiency of a mine through selective mining of the ore body, can achieve significantly better acceptance by authorities and the public compared to conventional mining. The Bauer cutter mining system helps to meet the growing demand for urgently needed raw materials in a modern society, which is increasingly focused on sustainability. It has the ability to turn small ore bodies and veins into economic and ecological mining projects.

#### References / Quellenverzeichnis

- BAUER Mining Solutions Brochure, 905.852.2 – 10/2020 (BAUER Maschine GmbH).
- BAUER Trench Cutter Systems, 905.853.2 – 04/2020 (BAUER Maschinen GmbH).
- Schwank, S. (Bauer Maschinen GmbH) (2003): Method and apparatus for excavating soil material. Canadian Patent CA2438634 A1.
- Schwank, S.; Schoepf, U.: The Vertical Attack. Colorado School of Mines-Seminar, March 2021.
- Schwank, S. (2015): Cutter mining – cross-over technology from civil engineering to mining. Proceedings Third International Future Mining Conference, pp 95–100, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Asante Gold Corporation, Website [www.asantegold.com](http://www.asantegold.com)

Die gesamte Bergwerksinfrastruktur kann durch den Einsatz der alternativen Abbaumethode von Bauer optimiert werden. Außerdem wird die Vorlaufzeit bis zum ersten Erzgewinn erheblich verkürzt, wodurch bereits in einer sehr frühen Phase eines Bergbauprojekts Einnahmen erzielt werden können. Weitere Vorteile sind:

- Geringerer Erschließungsaufwand, z.B. für Wasserhaltung, Vorabbau der Überlagerung.
- Durch die in der Fräse erfolgte Zerkleinerung des Erzes kann die Brecheranlage der Aufbereitung verkleinert werden. Durch die Konzentration auf das Erz mit nur wenig taubem Gestein kann der Durchsatz der Aufbereitung reduziert werden.
- Minimierung des Materialtransports und der damit verbundenen Straßenbau- und Wartungsarbeiten.

Neben dem Einsatz in neuen Bergbauprojekten bietet das VCM-System auch große Vorteile bei laufenden Bergbauprojekten. Die Lebensdauer eines Bergwerks kann verlängert werden, indem die Reste eines Erzkörpers abgebaut werden, ohne die Umwelt weiter zu belasten und ohne, dass eine zusätzliche Infrastruktur erforderlich ist.

Cutter Mining, das mit keinen oder nur sehr geringen Umweltauswirkungen verbunden ist und durch den selektiven Abbau des Erzkörpers die Wirtschaftlichkeit eines Bergwerks optimiert, kann im Vergleich zum konventionellen Bergbau eine deutlich bessere Akzeptanz bei Behörden und Öffentlichkeit erreichen. Das Bauer Cutter Mining System (VCM) trägt dazu bei, den wachsenden Bedarf an dringend benötigten Rohstoffen in einer modernen, zunehmend auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Gesellschaft zu decken. Mit diesem System können auch kleine Erzkörper und -gänge ökonomisch und ökologisch nachhaltig abgebaut werden.

#### Authors / Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Schöpf, Dipl.-Ing. Stefan Schwank, Bauer Mining Solutions, BAUER Maschinen GmbH, Schrobenhausen/Germany