

Efficient Mining of High Seams with Automated LTCC Operations

Longwall mining is an expensive undertaking – from the preparation of the site to capital investment in the equipment. That is why longwall owners have high performance expectations, especially in tough economic times when commodity prices are low. One of the ways longwall mines achieve or exceed their owners' expectations is through the use of high efficient Longwall Top Coal Caving (LTCC) technology production, in combination with

the extensive use of automation. LTCC remains a seldom used method for mining high seams efficiently and ecologically with sustainable use of deposits. If this mining methodology is used in combination with the advantages of automated longwalls, these technologies enable longwall mines to use the deposits in the most efficient and sustainable way possible, which reduces operational costs, improves profitability and boosts efficiency.

Effizienter Abbau hoher Flöze im automatisierten Strebbbruchbau (LTCC)

Die untertägige Gewinnung von Steinkohle im Strebbau ist ein sehr aufwändiges und kostenintensives Verfahren – angefangen bei der notwendigen Auffahrung der Strecken bis hin zu den hohen Kosten für die Strebausrüstung. Naturgemäß haben die Kohleproduzenten hohe Leistungserwartungen, vor allem in wirtschaftlich schwierigen Zeiten, wenn die Rohstoffpreise niedrig sind. Um ihre hohen Erwartungen zu erfüllen oder sogar zu übertreffen, ist ein vielversprechender Weg der Einsatz eines hocheffizienten Hangend-

abzugsverfahrens (Longwall Top Coal Caving – LTCC) in Verbindung mit umfassender Automatisierung. LTCC ist eine selten verwendete Methode, um hohe Flöze effizient und ökologisch im Hinblick auf die nachhaltige Nutzung von Lagerstätten zu gewinnen. Wenn diese Gewinnungsmethode in Kombination mit den Vorteilen automatisierter Strebsysteme angewendet wird, ermöglicht sie es, die Lagerstätte effizient und nachhaltig zu nutzen, die Betriebskosten zu senken sowie die Rentabilität und die Effizienz zu steigern.

Introduction

Today's longwall mines are safer, more productive and more efficient than ever before. Over the years, longwall machinery has grown more complex, forcing manufacturers to optimize interaction between systems and machines such as roof supports, conveyors, beam stage loaders and shearers.

In the past decade, these systems became even more complex with the professional introduction and extended usage of the Longwall Top Coal Caving technology (LTCC). In combination with traditional longwall technologies (Figure 1), these systems also significantly increase productivity by mining more coal in a given lease area.

The principle of top coal caving technology

LTCC is a special type of longwall mining used in very thick seams, typically bigger than 6 m. In these geological conditions, the resource coal is often left unmined because conventionally used equipment cannot operate successfully beyond 6 m mining height. This may cause further geological problems later on in the mining process and also result in an extremely inefficient and non-ecological treatment of natural resources.

Einführung

Der Abbau von Kohle im Strebbau ist heute sicherer, produktiver und effizienter als je zuvor. Im Lauf der Zeit sind die eingesetzten Systeme und Maschinen komplexer geworden, wodurch die Hersteller gezwungen waren, das Zusammenspiel zwischen den Subsystemen wie dem Schildausbau, Strebförderern, Streckenförderern (BSL) und Walzenladern zu optimieren.

In den letzten zehn Jahren sind diese Gewinnungssysteme durch die breite Einführung und Anwendung des Hangendabzugs im Strebbbruchbau (Longwall Top Coal Caving – LTCC) immer komplexer geworden (Bild 1). In Kombination mit den traditionellen Strebbautechniken haben diese Systeme auch die Produktivität erheblich gesteigert, da das Ausbringen aus einem Flöz erhöht werden kann.

Die Funktionsweise des Hangendabzugs im Strebbbruchbau (LTCC)

Der Hangendabzug ist eine besondere Form des Strebbbruchbaus, die in sehr mächtigen Flözen – normalerweise über 6 m – zum Einsatz kommt. Unter solchen geologischen Bedingungen wird ein Großteil des Kohlevorkommens nicht abgebaut, da die konven-

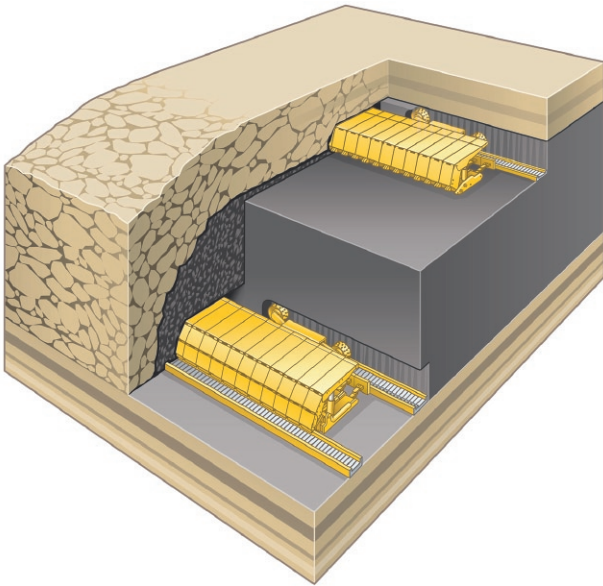


Fig. 1. Multilevel Longwall Top Coal Caving (LTCC).
Bild 1. Strebruchbau auf mehreren Ebenen. Source/Quelle: Caterpillar

There are also longwall systems available for large seam areas, mainly from the Chinese market, operating at cutting heights of up to 7,5 to 8 m (Figure 2). However, these systems offer some major disadvantages. The 7 to 8 m roof supports reach an extremely high weight, are difficult to handle in underground transportation and may cause ground damage during operation. The large equipment size also increases the investment cost and offers less flexibility in lower seams or varying geological conditions. All auxiliary equipment of the longwall system typically needs to grow with the size of the face. This results in the use of extremely large leg cylinders, which further require larger pump stations. The cutting height can only be supported by a relating immersive cutting machine that is able to mine the full cutting height in one cut, without any other additional mining equipment. Furthermore, the extreme face height causes an added risk for miners at the face who must work at a dangerous height to access all equipment areas in the operation, such as the canopy. Due to the extreme seam front size and height, the possible risk of roof falls and collapsing face must also be handled proactively, resulting in the need for additional preventive equipment, such as chain curtains or other guards. This makes the entire operation more complex and costly.

All of these problems could be eliminated by using LTCC equipment, which is based on normal, manageable equipment size for underground longwall operations and can be used in more common seam heights without significant changes or investment.

Top Coal Caving uses the natural forces of gravity to aid mining the coal above the roof supports.

LTCC systems are based on a conventional longwall system set-up with roof supports, AFC, BSL for material handling and shearer as mining machine. The roof supports have an extended rear canopy with sliding functions and caving doors, which are situated behind the base into the gob. A second AFC is attached to the rear of roof supports – running directly below the canopy openings. This AFC feeds into the main BSL at the main gate side of the longwall, so that both material flows are merged before

tionell eingesetzte Ausrüstung für Höhen jenseits von 6 m kaum geeignet ist. Dies kann im weiteren Verlauf des Abbauprozesses zu zusätzlichen geologischen Problemen führen und auch zu einem äußerst ineffizienten und unökonomischen Umgang mit den natürlichen Ressourcen.

Es gibt auch Strebbausysteme für große Flözmächtigkeiten, vor allem auf dem chinesischen Markt mit Schneidhöhen von 7,5 bis 8 m (Bild 2). Diese Systeme haben aber einige gravierende Nachteile. Der Schildausbau erreicht mit seinem Verstellbereich bis 8 m ein extrem hohes Gewicht, ist unter Tage schwierig zu transportieren und kann im Betrieb das Liegende zerstören. Die schiere Größe der Ausrüstung erhöht auch die Investitionskosten und schränkt die Flexibilität in weniger mächtigen Flözen oder bei wechselnden geologischen Bedingungen ein. Mit der Höhe des Strebs wächst normalerweise auch die gesamte Hilfsausrüstung mit. Dies führt zu extrem großen Stempelzylindern, die ihrerseits wieder größere Pumpenstationen erfordern. Hand in Hand mit der Schneidhöhe geht ein entsprechender Walzenlader, der die volle Schneidhöhe in einem Schnitt ohne zusätzliche Hilfsausrüstung bewältigen kann. Außerdem vergrößert die enorme Strebhöhe die Gefahr für die Arbeiter vor Ort, die in gefährlichen Höhen arbeiten müssen, um alle Bereiche der Ausrüstung, z.B. die Kappe, zu erreichen. Wegen der extremen Höhe der Strebfront, müssen das Risiko von Hangendausbrüchen und des Hereinbrechens der Ortsbrust vorausschauend eingeplant werden, was wiederum den Bedarf an zusätzlicher Ausrüstung wie Kettenvorhängen oder anderen Schutzvorrichtungen vergrößert. All das macht den Betrieb noch komplexer und kostenträchtiger.

Diese Probleme entfallen beim Einsatz einer LTCC-Ausrüstung. Ihr Einsatz bei geringeren Flözmächtigkeiten kann ohne größere Änderungen oder Investitionen erfolgen.

LTCC-Systeme basieren auf konventionellen Strebbau-Systemkonfigurationen mit Schildausbau, Strebförderern (AFC) und Streckenförderer (BSL) zur Produktförderung und einem Walzenlader als Gewinnungsmaschine. Der Schildausbau besitzt ein verlängertes hinteres Bruchschild mit Gleitkappenfunktion und Bruchbautüren, die versatzseitig hinter der Kufe liegen. Ein zweiter Strebförderer ist an der Rückseite des Schildausbaus befestigt und verläuft direkt unter den Öffnungen in den Bruchschilden. Dieser Strebförderer übergibt das Haufwerk am Strebeingang



Fig. 2. 8 m roof support at China Coal Show.
Bild 2. 8 m-Schildausbau auf der China Coal Show.
Source/Quelle: Caterpillar



Fig. 3. Cat Longwall Top Coal Caving Equipment.
Bild 3. Cat LTCC-Ausrüstung. Source/Quelle: Caterpillar

conveyed into the crusher and further onto the mine belt systems. Caterpillar considers LTCC systems to have two mining machines, the shearer and the automated operated caving doors set (Figure 3).

These are the typical sequences of LTCC operation:

- The lower section of the seam is cut by the shearer at a set height.
- New roof in front of the canopy is supported by flipper and or sliding canopies.
- The front AFC transports the coal out of the face.
- Conventionally the system moves towards the next web cut.
- The coal left in the above section cut by the machine is induced to cave.
- The coal falls onto the rear canopies.
- The sliding rear canopies are sequentially opened.
- The coal falls through onto the rear mounted AFC conveyor.
- The rear canopies are opened and closed in a controlled manner to ensure the conveyor is loaded efficiently and to prevent stone from being taken out when all coal has been recovered.
- The rear AFC transports the coal out of the face.
- The rear conveyor is pulled towards the roof supports.
- Final cavity will fill with caved stone as the stone is drawn out ("the gob").

The beam stage loader at the main gate is extended beyond the face conveyor to enable the rear mounted conveyor to discharge coal directly onto it and carry the coal to the belt conveyor system.

In this type of LTCC longwall, the shearer continues to play a key role. As the basic cutting machine, it dictates the rhythm of production and face advance. If the shearer is operated at productivity, all other longwall sub-systems must follow in an efficient manner. Unlike conventional longwalls, the caving operation may cause the shearer to wait until the upper seam section is mined out sufficiently. This results in a higher level automation strategy, and the mining rhythm may need to be adjusted by the automation system of the whole LTCC longwall.

While the shearer is mining the lower seam section at his nominal or adjusted cutting height, the upper seam section remains until the roof support continues to support this area (Fig-

auf den Streckenförderer in der Hauptstrecke, sodass beide Materialströme noch vor dem Brecher und der weiteren Abförderanlage vereinigt werden (1). Cat LTCC-Systeme verfügen über zwei „Gewinnungsmaschinen“, den Walzenlader und einen automatisierten Bruchbautürensatz (Bild 3).

Der typische Betriebsablauf im Strebbruchbau mit Hangendabzug sieht wie folgt aus:

- Der untere Teil des Flözes wird vom Walzenlader bis zu einer festgelegten Höhe herausgeschnitten.
- Das neue Hangende vor der Kappe wird von einem Kohlenstoßfänger oder von Gleitkappen abgestützt.
- Der vordere Strebförderer fördert die Kohle aus dem Streb.
- Das System rückt auf konventionelle Weise zum nächsten Schnitt in das Gefüge vor.
- Die nach dem Schnitt im oberen Bereich des Flözes verbliebene Kohle wird zu Bruch gebracht.
- Die Kohle fällt auf die hinteren Bruchschilde.
- Die als Gleitkappen mit Bruchbautüren ausgeführten hinteren Bruchschilde öffnen sich nacheinander.
- Die Kohle fällt auf den hinteren Strebförderer.
- Die hinteren Klappen werden kontrolliert geöffnet und geschlossen, damit der Förderer effizient befüllt und kein Nebengestein aufgeladen wird, wenn die gesamte Kohle hereingewonnen ist.
- Der hintere Strebförderer fördert die Kohle aus dem Streb.
- Der hintere Förderer wird in Richtung des Schildausbaus nachgezogen.
- Der abschließende Hohlraum füllt sich mit dem hereingebrochenen Gebirge (Alter Mann).

Der Streckenförderer in der Hauptstecke ist über den vorderen Strebförderer hinaus verlängert, so dass der hintere Strebförderer seine Kohle ebenfalls direkt auf den Streckenförderer übergeben kann.

Auch bei dieser Art von LTCC-Strebbau, spielt der Walzenlader eine Schlüsselrolle. Als Hauptgewinnungsmaschine diktiert er den Rhythmus von Produktion und Vorrücken des Strebs. Damit der Walzenlader produktiv betrieben werden kann, müssen alle anderen Subsysteme des Strebs effizient folgen. Anders als beim konventionellen Strebbau kann es sein, dass der Walzenlader warten muss, bis ausreichend Kohle aus dem oberen Flözbereich hereinge-

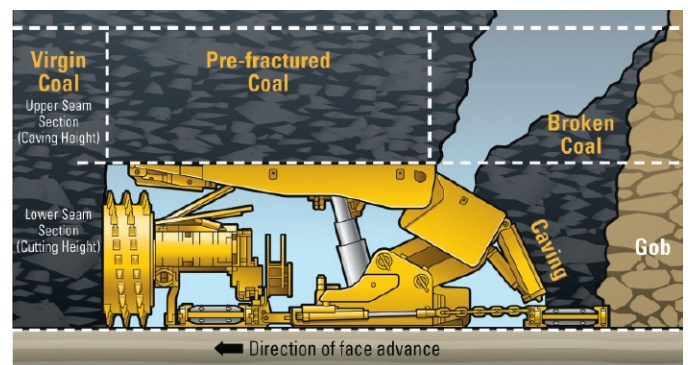


Fig. 4. Cat LTCC system.
Bild 4. Cat Strebbruchbausystem. Source/Quelle: Caterpillar

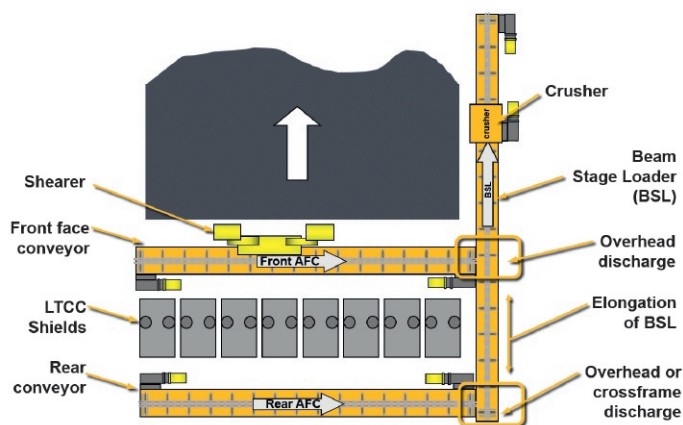


Fig. 5. LTCC coal clearance system – top view.

Bild 5. Abbau beim LTCC – Ansicht von oben. Source/Quelle: Caterpillar

ure 4). The movement of equipment and changed load during the advance cycles pre-fractures the coal in this area. Once the canopy is preceded, the coal starts to break and is prepared for the caving process (2).

Typical cutting heights in LTCC operations are 2.5 to 4 m. In contrast, typical caving heights are in the range of 2.5 to 8 m in some operations. Cat customers do not currently have experience in these higher caving heights, but more meters may be possible after a geological expert investigation. Today mines equipped with Cat equipment are used in seam heights of 5 to 12 m.

Technical specialities for LTCC coal clearance

As mentioned, three conveyors are used in material handling in an LTCC operation. While the known front face conveyor (front AFC) uses conventional overhead discharge, the rear caving conveyor (rear AFC) uses overhead or alternative crossframe discharge. Before both material flows are mined conventionally and caved, they run through the shared crusher and are fed further onto the mine's belt system (Figure 5).

Since all equipment in operation must be covered sufficiently by stable and reliable shelter, gob shield extensions are used to cover the drive systems of the rear conveyor. To reduce the design effort for this shelter, a minimum width of the drive equipment is beneficial. In order to prevent parallel positioning of gearbox and conveyor end frame, a specific gearbox has been developed and brought successfully into operation that enables the mine to position the gearbox and motor assembly in line with the rear conveyor (Figure 6). This intermediate gear, called Z65, allows operation of the conveyor with a KP 65 at the conveyor's upstream side, while full CST 65 power and torque rating is applicable (Continuous power at 1,500 rpm: 1200 kW and max. torque: 650.000 kNm).

Multi-level LTCC operation

In extremely high seams, such as 12 m and above, a "Multi-Level LTCC"-operation may be used. This mining procedure starts with a conventional longwall operation on the top level of the seam just beneath the rock roof. Here a defined undercut is made. Such a cut would typically be 2.5 to 3 m in height and would not impact the lower area. Finally, it follows the usage of LTCC operations in the

wonnen ist. Dies führt zu einem stärker automatisierten Vorgehen und der Gewinnrhythmus muss unter Umständen hinsichtlich der Automation des gesamten Verfahrens angepasst werden.

Während der Walzenlader den unteren Bereich des Flözes bis zu seiner Nennschneidhöhe oder der eingestellten Schneidhöhe hereingewinnt, bleibt der obere Bereich des Flözes stehen, solange der Schildausbau diesen Bereich abstützt (Bild 4). Die Bewegung der Ausrüstung und die Veränderung der Last während der Schreitzyklen lockert die Kohle in diesem Bereich. Ist die Kappe dann vorgerückt, fängt die Kohle an hereinzubrechen und ist für den Bruchbau vorbereitet (2).

Typische Schneidhöhen beim Strebbruchbau liegen zwischen 2,5 und 4 m. In manchen Betrieben erreichen die Verbruchhöhen bis zu 8 m. Die Kunden von Caterpillar haben aktuell keine Erfahrungen mit diesen größeren Bruchbauhöhen, die aber nach einer geologischen Fachuntersuchung möglich sind. Die mit einer Ausrüstung von Caterpillar ausgestatteten Bergwerke weisen heute Strebmächtigkeiten von 5 bis 12 m auf.

Technische Besonderheiten beim Strebbruchbau

Wie bereits erwähnt, werden beim LTCC drei Förderer zur Förderung des Haufwerks eingesetzt. Während der bekannte vordere Strebförderer (front AFC) über einen konventionellen Kopfabwurf für die Übergabe auf den Streckenförderer verfügt, nutzt der hintere Strebförderer (rear AFC) einen Kopfabwurf oder alternativ eine Kreuzrahmenübergabe. Beide Materialströme, sowohl der durch konventionellen Abbau bzw. der durch Hereinbrechen gewonnene, laufen durch den gemeinsamen Brecher und werden weiter auf die Abförderanlage des Bergwerks übergeben (Bild 5).

Da die gesamte Ausrüstung mit einem stabilen und verlässlichen Schutz bedeckt sein muss, werden Bruchschildaufsätze verwendet, um die Antriebssysteme des hinteren Förderers abzudecken. Um den konstruktiven Aufwand für diesen Schutz zu begrenzen, ist eine Minimierung der Breite der Antriebsausrüstung sinnvoll. Um eine parallele Anordnung von Getriebe und Fördererendstück zu vermeiden, wurde ein spezielles Getriebe entwickelt und erfolgreich eingeführt, das es ermöglichte, Getriebe und Motoraggregat mit dem hinteren Strebförderer in Reihe anzuordnen (Bild 6). Dieses Zwischengetriebe mit der Bezeichnung Z65 sorgt dafür, dass der Antrieb des Förderers mit einem konventionellen

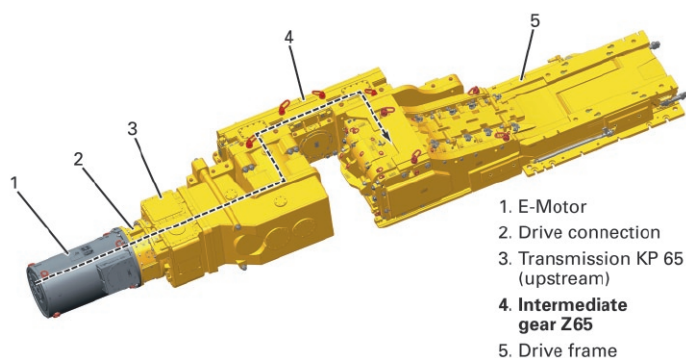


Fig. 6. LTCC specific drive design for rear AFC prevents drive system from being too extended in the gob.

Bild 6. Strebbruchbauspezifische Antriebskonstruktion für hinteren Strebförderer verhindert zu weites Auskragen des Antriebssystems in den Versatz. Source/Quelle: Caterpillar

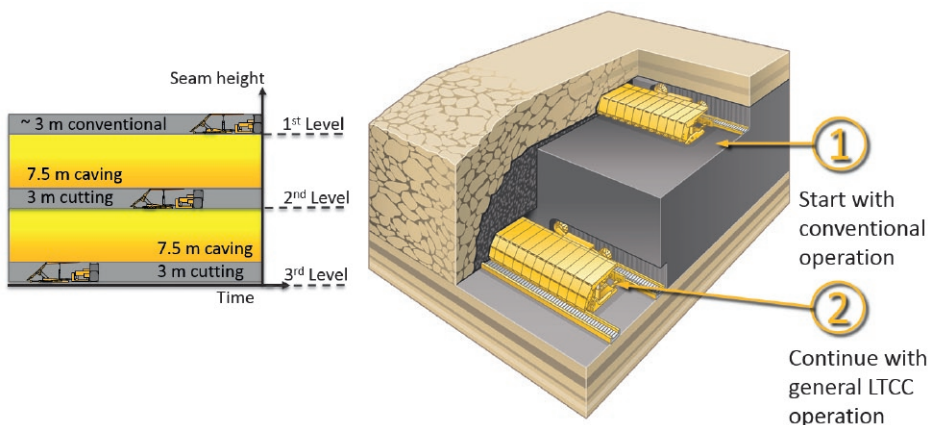


Fig. 7. Multi-level LTCC operation – exemplary cutting and caving heights.
 Bild 7. Strebruchbau auf mehreren Ebenen – beispielhafte Schneid- und Bruchbauhöhen.
 Source/Quelle: Caterpillar

lower layer (Figure 7). After this operation, the full seam height is mined out or another LTCC operation may follow in a third level.

Geological footprint for top coal caving

Since LTCC systems are designed to mine extreme high seams, not all underground coal mining areas are suitable for this type of operation. In addition to China, Russia, Australia and Turkey own high coal seams, which allow this type of operation (Figure 8). China already uses this technology extensively and Australia uses it in a couple of very productive installations. Two years ago, two LTCC operations were started in Turkey with the intention of using the multi-level LTCC method. Twenty years ago in Slovenia, a slightly different equipment than shown here was used successfully in a lenticular deposit. Here the caving doors are situated in the center of the main canopy.

Production rates in existing applications

In addition to the sustainable usage of the deposit, a LTCC operation offers the advantage of increased production. As long as the shearer and caving operation do not have to wait for each other and produce in parallel, the production rate realized will be higher than with conventional shearer mining alone. However, LTCC operations do not advance as fast as pure shearer faces of similar dimensions, but they also do not slow down to the half or less in daily advance.

Over a one month period within an Australian 6.4 m high seam, a production rate of 1,500 to 3,500 t/h was reached. In this

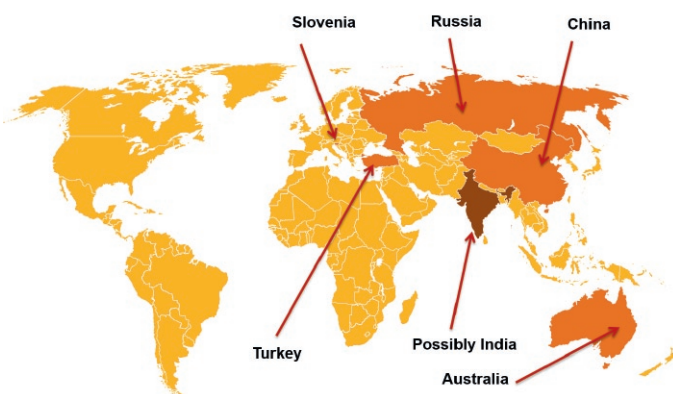


Fig. 8. Geological suitability of coal mining areas for LTCC operation.
 Bild 8. Geologische Eignung von Kohleabbaugebieten für das LTCC-Verfahren. Source/Quelle: Caterpillar

Cat KP 65 bewerkstelligt werden kann, der am kopfstreckenseitigen Ende dem Förderer vorgeschaltet ist. Somit können das volle Drehmoment und die volle Leistung eines Cat CST 65-Getriebes genutzt werden (Dauerleistung bei 1,500 min⁻¹: 1.200 kW und max. Drehmoment: 650.000 kNm).

Strebruchbau auf mehreren Ebenen

Stehen extrem hohe Flöze von 12 m und mehr zum Abbau an, kann möglicherweise ein „Multi-Level LTCC“-Abbau (LTCC auf mehreren Ebenen) angewendet werden. Dabei beginnt der Abbau in einem konventionellen Streb, der im oberen Bereich des Flözes aufgefahren wird, direkt unter dem Hangenden. Hier wird ein Schram gesetzt. Solch ein Schram hat typischerweise eine Höhe von 2,5 bis 3 m und möglichst keine Auswirkungen auf den liegenden Teil des Flözes. Anschließend wird dort ein Streb zum Hangendabzug aufgefahren (Bild 7). Ist das Flöz danach nicht in seiner ganzen Höhe hereingewonnen, kann noch eine dritte Abbauebene folgen.

Geologische Voraussetzungen für den Hangendabzug

Da Strebruchbausysteme für den Abbau extrem hoher Flöze konstruiert sind, eignen sich nicht alle Kohleabbaugebiete für dieses Verfahren. Außer in China gibt es noch in Russland, Australien und der Türkei mächtige Kohleflöze, die dieses Verfahren zulassen (Bild 8). China setzt die Technologie bereits in großem Umfang ein und Australien nutzt sie in einer Reihe sehr produktiver Abbaubetriebe. Vor zwei Jahren wurden auch in der Türkei zwei LTCC-Betriebe in Betrieb genommen, wobei ein Einsatz des Mehrebenen-Verfahrens geplant war. Vor zwanzig Jahren wurde in Slowenien eine etwas andere Ausrüstung als die hier beschriebene erfolgreich in einer linsenförmigen Lagerstätte eingesetzt. Dabei waren die Bruchbautüren mittig in der Hauptkappe angebracht.

Produktivität bestehender Anlagen

Außer der nachhaltigen Nutzung der Lagerstätte bietet das Strebruchbauverfahren mit Hangendabzug auch den Vorteil höherer Produktivität. Solange Walzenlader und Bruchbaugewinnung nicht aufeinander warten müssen und parallel produzieren, ist die Gewinnungsgeschwindigkeit höher als bei der konventionellen Gewinnung nur mit dem Walzenlader. Zwar rückt der Streb selten ganz so schnell vor wie in reinen Walzenstriben vergleichbarer Größe, im Tagesmittel wird aber auch nicht die halbe Geschwindigkeit unterschritten.

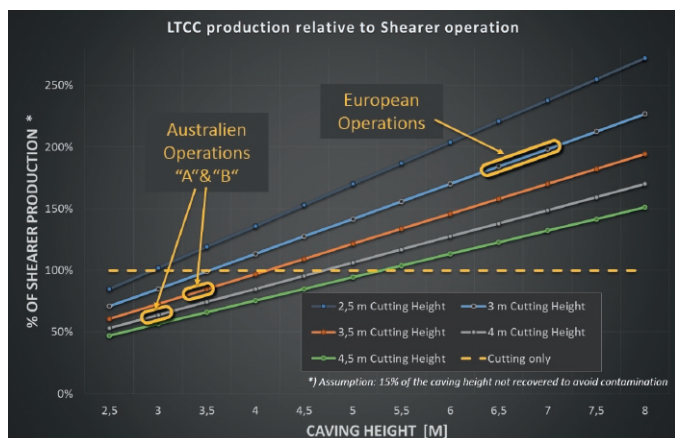


Fig. 9. Theoretical production rates – relation of caving to conventional cutting.

Bild 9. Theoretische Produktionsraten – Verhältnis konventionelle Gewinnung zu Bruchbau. Source/Quelle: Caterpillar

Operation A, the lower seam section was mined out by 3.9 m nominal. In addition, 2.5 m were mined with the caving principle. This equals a production ratio of about 61% from front mining system to 39% of the rear mining system. In Operation B, similar figures of 1,500 to 3,500 t/h were achieved for the month, where the seam relates to a production ratio of about 57% for shearer mining and 43% by caving.

Around the same time period, a European operation was operated at 10.6 m in a Multi-Level LTCC method. Here the production ratio with 3.1 m traditional mining and 7.5 m LTCC based caving was about 29% front to 71% rear. Overall, production of the face was about 1,000 to 2,500 t/h (Figure 9).

Automated Cat longwall top coal caving

With the automation of equipment, it is important to know and manage the controllable degrees of freedom in the system. While roof support and conveyor show several degrees of freedom, such as shield height and the canopy position, they also show the distance between conveyor pan and pantoon. There are additional degrees of freedom to be steered in an LTCC system (Figure 10). Beside the caving door ①, the sliding canopy position ② and the rear conveyor advance ③ are the defined and controlled degrees of freedom in an LTCC system. When automating and managing the production rate of the caving system, it is also important to consider the total shield height ④ and canopy angle ⑤.

Steering the first three degrees of freedom is possible by closed loop position control. All three degrees related to the caving doors, caving slides and the conveyor position are equipped with relating displacement sensors, providing real time feedback during any movement. It then becomes possible to perform various LTCC procedures, such as

- Standard LTCC procedure, for BiDi method;
- High Flow LTCC procedure, for UniDi method;
- Staggered LTCC procedure, used for UniDi method (preferred).

These automation methods are applied in combination with general automation modes and features for roof support and for the

Über einen Zeitraum von einem Monat wurde in einem australischen Flöz von 6,4 m Mächtigkeit eine Produktionsleistung von 1.500 bis 3.500 t/h erreicht. In dieser Anlage A wurde der untere Flözbereich von 3,9 m mit einem Walzenlader hereingewonnen. Zusätzlich wurden 2,5 m durch Bruchbau gewonnen. Dies bedeutet einen Produktivitätsanteil von ca. 61% des vorderen Gewinnungssystems gegenüber 39% des hinteren Gewinnungssystems. In einer weiteren Anlage B wurden ähnliche Zahlen für die Dauer eines Monats erreicht. Dabei hatte die Gewinnung mit dem Walzenlader einen Anteil von ca. 57% an der Produktion und der Bruchbau von 43%.

Ungefähr zur selben Zeit wurde in Europa ein Flöz von 10,6 m Mächtigkeit im Mehrebenen-Verfahren abgebaut. Hier betrug das Verhältnis zwischen der Produktionsleistung der konventionellen Hereingewinnung (3,1 m) und der Hereingewinnung durch den Bruchbau (7,5 m) ca. 29% für die vordere Gewinnung gegenüber 71% für die hintere. Insgesamt betrug die Gewinnungsleistung des Strebs 1.000 bis 2.500 t/h (Bild 9).

Automatisiertes Cat Hangendabzugsverfahren

Bei automatisierter Ausrüstung ist es wichtig, die einstellbaren Freiheitsgrade im System zu kennen und zu steuern. Schildausbau und Förderer weisen mehrere Freiheitsgrade auf wie Schildhöhe und Kappenstellung, aber auch den Abstand zwischen Fördererinne und Kufe (Bild 10). Es gibt noch weitere einstellbare Freiheitsgrade in einem LTCC-System. Außer der Bruchbautür ① sind die Schiebekappenstellung ② und der Nachzug des hinteren Förderers ③ die einstell- und steuerbaren Freiheitsgrade eines Strebbruchbau-Systems. Bei der Automatisierung und der Einstellung der Produktionsleistung des Bruchbausystems ist es auch wichtig, die Gesamthöhe des Schildes ④ und den Anstellwinkel der Kappe ⑤ zu berücksichtigen.

Die Steuerung der ersten drei Freiheitsgrade erfolgt durch aktive Regelung. Alle drei Freiheitsgrade, die sich auf die Bruchbautüren, die Bruchbauschiebekappe und die Fördererstellung beziehen, sind mit entsprechenden Abstandssensoren ausgerüstet, die jede Bewegung in Echtzeit zurückmelden. Dadurch ist es möglich, verschiedene LTCC-Verfahren einzusetzen:

- Standard-Strebbruchbau, bidirektional,
- High Flow-Strebbruchbau, unidirektional,
- Staffel-Strebbruchbau, unidirektional (bevorzugt).

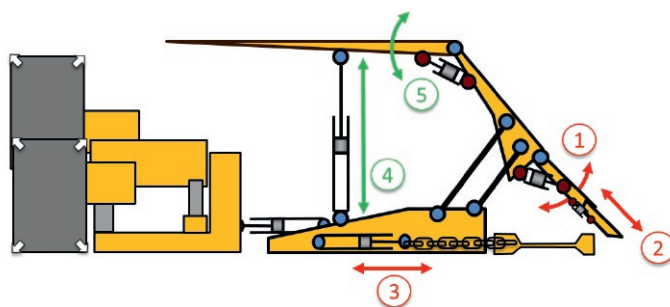


Fig. 10. Controlled degrees of freedom in a LTCC system.
Bild 10. Steuerbare Freiheitsgrade in einem LTCC-System.
Source/Quelle: Caterpillar

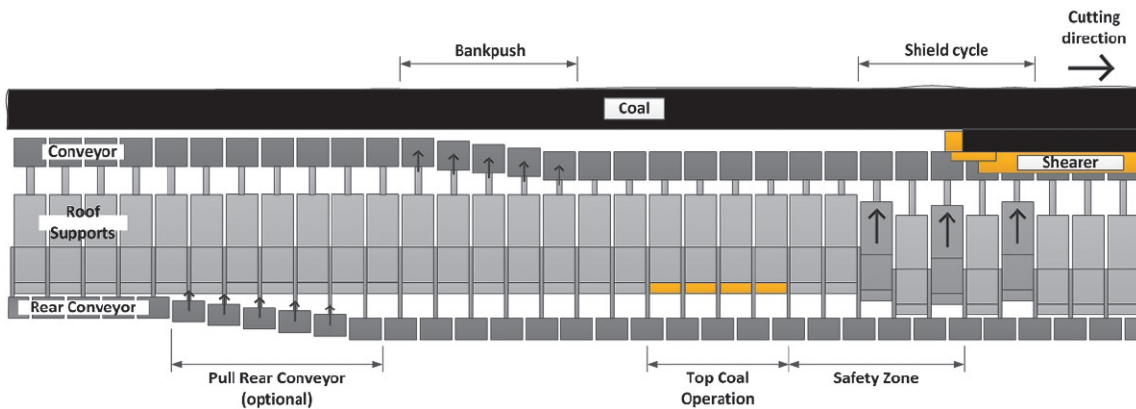


Fig. 11. Standard LTCC procedure used for BiDi method.
Bild 11. Normaler Strebruchbau, bidirektional.
Source/Quelle: Caterpillar

shearer. The roof supports in these types of installations are operated in an Shearer Random Batch (SRB) mode in combination with a shield height control. In parallel, the shearer is operated in State Based Automation (SBA) to run repetitive extraction cycles. In parallel the Shearer is operated in SBA to run repetitive extraction cycles while in best case as well the extraction- and horizon-control mode is active and finally all equipment participate to realize active face alignment (3, 5). Optimally the shearer is further operated in extraction- and horizon-control mode to respect the floor and roof profile and to follow the seam incline automatically. Finally face alignment is turned active enabling shearer position data being shared with the roof supports controls for optimizing the conveyor position¹⁾.

The standard LTCC procedure used for BiDi Method works as follows (Figure 11): To begin, pull the caving shields in the same series as shields cycle according to the ASQ (automatic RS sequence).

1. The shearer passes the shield area.
2. The shield cycles passed
3. The operation of the LTCC doors behind a safety zone start. The safety zone is per parameter the defined distance between the passing shearer machine and roof supports to be operated automatically. Typically, this is about six roof supports. Up to two caving doors must open simultaneously within a group of four shields, but no overlapping movements are allowed.

The specific automation challenge is to generate and keep a simultaneous loading of the common BSL.

The High Flow LTCC Procedure is used for UniDi Method. This method is characterized by a simultaneous control of multiple doors while no operation of direct neighbors at the same time is initiated. The operation of doors acts as a wave from the main gate (MG) to the tail gate (TG): The shearer cuts from TG to MG in UniDi mode. That follows a cleanup shear at the MG (no full "snake"), followed by an LTCC operation wave MG to TG. As a result, the shearer directly follows MG to TG in UniDi or waits awhile until the machine is operated from MG to TG. This movement is

¹⁾ As at the date of creation of this document, the intellectual property rights in the LASC technology (Interconnection of Landmark Compliant Longwall Mining Equipment-Roof Support System Communication) are owned by the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. LASC technology is used and distributed by Caterpillar under license.

Diese Automationsmethoden werden in Kombination mit allgemeinen automatischen Betriebsarten und Funktionen für den Schildausbau und den Walzenlader verwendet. Der Schildausbau in dieser Art von Anlagen wird in der Betriebsart Shearer Random Batch (SRB) in Kombination mit einer Schildhöhensteuerung betrieben. Parallel dazu wird der Walzenlader in State Based Automation (SBA) betrieben, um Gewinnungszyklen zu wiederholen, während im besten Fall sowohl der Gewinnungs- als auch der Niveauregelungsbetrieb – Extraction Control und Horizon Control – aktiv sind und schließlich die gesamte Ausrüstung an der aktiven Strebausrichtung – Face Alignment – beteiligt ist (3, 5). Im optimalen Fall läuft der Walzenlader im Gewinnungs- und Niveauregelungsbetrieb, sodass er das Profil von Liegendem und Hangendem beachtet und dem Einfallen des Flözes automatisch folgt. Schließlich wird auch noch die Strebausrichtungsfunktion aktiviert, was die Nutzung der exakten Positionsdaten des Walzenladers durch die Schildausbausteuerung zwecks Optimierung der Fördererstellung ermöglicht¹⁾.

Beim Standardstrebruchbau mit direktonalem Betrieb stellt sich der Ablauf wie folgt dar (Bild 11): Zuerst müssen die Schilde in derselben Reihenfolge nachgezogen werden, als ob sie ASQ-Zyklen (Automatic RS Sequence) ausführen.

1. Der Walzenlader passiert den Schildbereich.
2. Die Schildzyklen laufen ab.
3. Der Betrieb der Bruchbautüren hinter einer Sicherheitszone beginnt. Die Sicherheitszone ist der per Parameter bestimmte Abstand zwischen der passierenden Schrämmaschine und den automatisch zu betätigenden Schildausbaueinheiten, typischerweise sind das ungefähr sechs. Bis zu zwei Brauchbautüren müssen sich in einer Gruppe von vier Schilden gleichzeitig öffnen, überlappende Bewegungen sind nicht erlaubt.

Die besondere Herausforderung für die Automation ist es, eine gleichzeitige Beladung des gemeinsamen Streckenförderers zu erreichen und aufrechtzuerhalten.

Der High Flow-Strebruchbau wird für die unidirektionale Methode verwendet. Sie zeichnet sich durch die gleichzeitige An-

¹⁾ Zum Datum der Erstellung dieses Dokuments gehören die geistigen Eigentumsrechte an der LASC-Technologie (Interconnection of Landmark Compliant Longwall Mining Equipment-Roof Support System Communication) der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Caterpillar nutzt und vertreibt die LASC-Technologie in Lizenz.

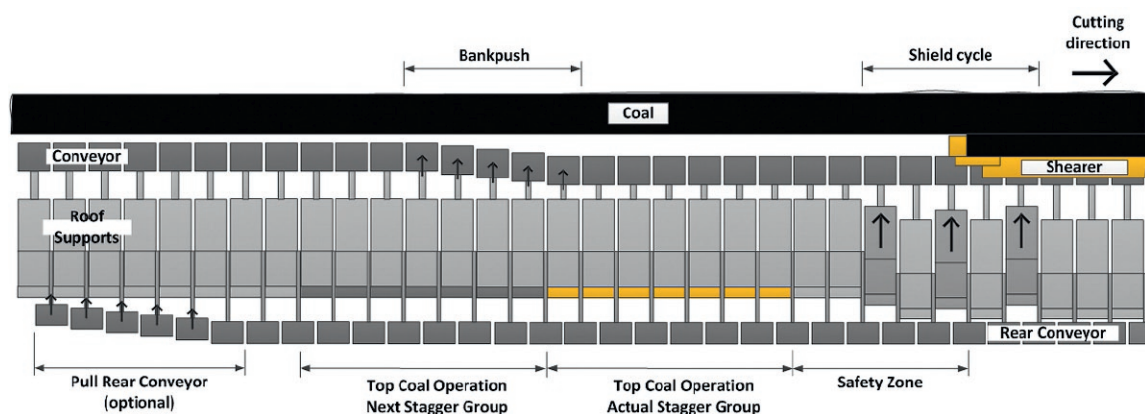


Fig. 12. Staggered LTCC procedure used for UniDi method preferably.
Bild 12. Versetzter Strebruchbau, für unidirektionale Methode bevorzugt.
Source/Quelle: Caterpillar

followed by a cleanup shearer at the TG end in a continuation from the start. This LTCC operation is almost independent from the actual shearer position and provides the highest production rates. An advanced control concept is needed for uniform loading of the Beam Stage Loader (BSL).

The third method, the Staggered LTCC Procedure, is preferred and is used for UniDi method. In Figure 12, a group of seven shields runs special patterns of caving door operation within its group. Then the assignment moves to another group of seven shields. Doors within this group can open overlapping as in the High Flow procedure. As mentioned earlier, maximum two caving doors are simultaneously operated. Further details are realized as in the High Flow procedure.

Top coal caving data from real applications

All automation cycles described are realized and proven in real operations. During the operation, visualization and analysis tools are frequently used – provided by the Cat MineStar capability set “Health for Longwall” (Figure 13). This toolset provides plenty of practical functions to monitor and analyze ongoing operations. In the main view status and movements are shown in detail to easily get an overview. Moreover the main view shows which caving function is currently active or has been active at a given time. The analysis of the playback features is very helpful. Due to the accelerated playback capability pattern, an analysis of shield movements is possible, as well as the real interaction between the shearer operation and the caving operation (4, 6).

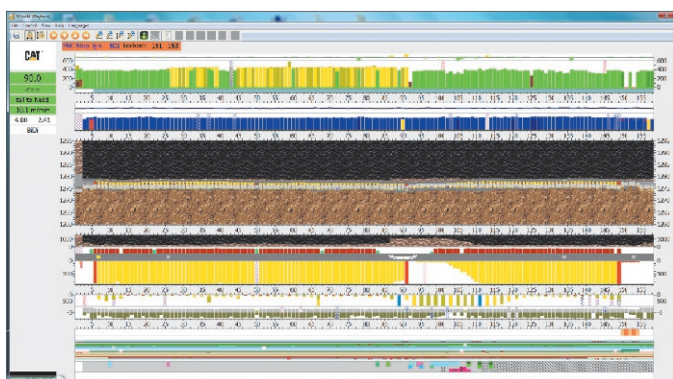


Fig. 13. Health for Longwall – all LTCC operation information at a glance.
Bild 13. Health for Longwall – alle Informationen zum Betrieb des Strebruchbaus auf einen Blick. Source/Quelle: Caterpillar

steuerung mehrerer Türen aus, wobei die gleichzeitige Einleitung der Betätigung von direkten Nachbarn nicht erlaubt ist. Die Türen werden in einer Welle von der Hauptstrecke (Main Gate, MG) bis zur Kopfstrecke (Tail Gate, TG) betätigt. Der Walzenlader schneidet in einer Richtung von der Kopf- zur Hauptstrecke. Dem folgt eine Reinigungsfahrt an der Hauptstrecke (keine volle Schleife), gefolgt von einer Bruchbau-Betätigungswelle von der Hauptstrecke zur Kopfstrecke. Daraufhin fährt der Walzenlader direkt in UniDi von der Haupt- zur Kopfstrecke oder wartet, während er von der Haupt- zur Kopfstrecke gesteuert wird. Auf diese Bewegung folgt eine Reinigungsfahrt am kopfstreckenseitigen Ende und der Ablauf beginnt von neuem. Dieses LTCC-Verfahren ist fast unabhängig von der Walzenladerstellung und bietet die höchsten Produktionsleistungen. Für die gleichmäßige Beladung des Streckenförderers ist ein hochentwickeltes Steuerungskonzept erforderlich.

Der Staffel-Strebruchbau wird bevorzugt für die unidirektionale Methode verwendet. Wie in Bild 12 dargestellt, durchläuft eine Gruppe von sieben Schilden besondere Betätigungsmuster der Bruchbautüren innerhalb dieser einen Gruppe. Dann wird eine andere Gruppe von sieben Schilden angesteuert. Die Türen in dieser Gruppe dürfen sich wie beim High Flow-Verfahren überlappend öffnen. Wie bereits erwähnt, werden höchstens zwei Bruchbautüren gleichzeitig betätigt. Der weitere Verlauf ist wie beim High Flow-Verfahren.

Reale Betriebsdaten aus dem Strebruchbau

Alle beschriebenen Automationszyklen sind in echten Betriebsituationen erprobt worden. Während des Betriebs werden häufig Visualisierungs- und Analysewerkzeuge aus dem Cat MineStar Funktionspaket „Health for Longwall“ eingesetzt (Bild 13). Das Paket bietet viele praktische Funktionen zur Überwachung und Analyse des laufenden Betriebs. In der Hauptansicht werden Status und Bewegungen detailliert dargestellt, sodass man einen Überblick erhält. Außerdem zeigt die Hauptansicht, welche Bruchbaufunktion gerade aktiv ist oder zu einer bestimmten Zeit aktiv gewesen ist. Für die Analyse sind die Playback-Funktionen sehr nützlich. Mit dem Schnelldurchlauf werden Muster sichtbar und es lassen sich die Schildbewegungen ebenso analysieren, wie das tatsächliche Zusammenspiel zwischen Walzenladerbetrieb und Bruchbaubetrieb (4, 6).

Ferngesteuerte und automatische Strebe

Außer den Funktionen zur Automatisierung des LTCC bietet die Strebbauautomation die vollständige Automation der Walzen-

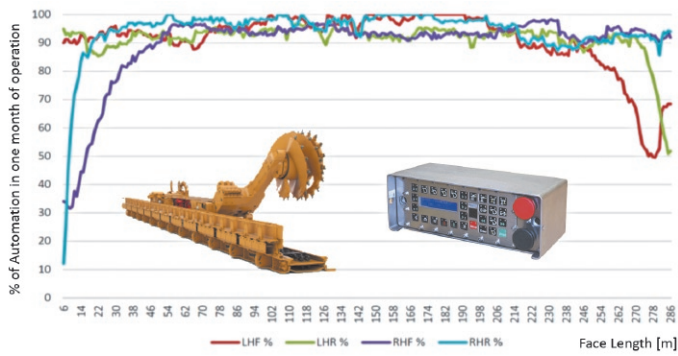


Fig. 14. Command for Longwall – percentage of operation in automation mode in a highly automated longwall system.
Bild 14. Command for Longwall – Anteil des Betriebs im Automatikmodus in einem hochautomatisierten Strebbausystem.
Source/Quelle: Caterpillar

Remote operated and automated longwalls

In addition to LTTC automation features, longwall automation provides full automation of the shearer and roof support equipment as part of “Command for Longwall”, another capability of Cat MineStar.

Shearer automation means reduced work time for operators near the cutting machine and at the face. Today, it is possible to run a shearer with only one operator instead of two, meaning no operator has to leave the fresh air stream. Furthermore, the operator can leave the machine for defined periods of the mining cycle and wide areas of the face. As a result, operators will spend less time in dangerous areas and are exposed to less dust and noise.

This technology is provided by Caterpillar as a “Command for Longwall” feature using state-based automation and it has been shown in real operations over a period of more than one year that it is possible for complete seam heights to reach more than 95% of operation time in automation mode (Figure 14).

While the shearer is operated in the highest level of automation mode and the roof supports follow by usage of SRB all time on their own, it is also possible to keep the face straight and the shape of the conveyor well-controlled. Figure 15 shows a life data based top view on the equipment in LTCC operation. The deviation from the targeted ideal conveyor line is in the dimension of 1 m at a 300 m wide face.

Discussion of LTCC application

Mines face some challenges when getting into the LTCC business, so it is necessary to adapt and optimize the LTCC procedure to individual mining conditions (processes, culture, continuous optimization, usage of Cat experience). Caterpillar offers individual adaptation of mining procedures, caving procedures and parameter settings.

Depending on the coal quality and geological specialties, auto-ignition in the gob can result in a possible fire hazard. This aspect needs to be handled proactively and professionally, planning the inerting with nitrogen or CO₂.

While in operation, it is important to monitor shield height and to steer the roof supports accordingly – so that they are not continuously operated at the end of the nominal shield height

lader- und Schildausrüstung als Bestandteil von „Command for Longwall“, einem weiteren Funktionspaket von Cat MineStar.

Die Walzenlader-Automatation führt zu einer Verkürzung der Arbeitszeiten, welche die Bediener neben der Schrämmaschine und im Streb während der Produktion verbringen müssen. Heutzutage ist es möglich, einen Walzenlader mit nur einem Bediener zu betreiben statt mit zweien. Das bedeutet, dass sich kein Bediener mehr im Abwetterstrom aufhalten muss. Außerdem kann der Bediener während bestimmter Zeitabschnitte des Gewinnungszyklus die Maschine und weite Bereiche des Strebs verlassen. Dadurch verbringt er weniger Zeit in gefährdeten Bereichen und ist Staub und Lärm weniger ausgesetzt.

Diese Technologie bietet Caterpillar als ein Leistungsmerkmal von „Command for Longwall“ an, welches u. a. statusbasierte Automation und durch Inertail Measurement Unit (IMU) unterstützte Navigation nutzt. Dabei wurde im Betrieb über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr nachgewiesen, dass es möglich ist, den Abbau der gesamten Flözmächtigkeit zu mehr als 95% im Automatikmodus zu betreiben (Bild 14).

Wenn die Schrämmaschine in der höchsten Automationsstufe betrieben wird und der Schildausbau dank SRB automatisch folgt, ist es möglich, den Streb „gerade zu halten“ und die Kontur des Förderers zu steuern. Bild 15 zeigt eine Draufsicht auf die Ausrüstung eines Strebbbruchbaubetriebs, die auf live übertragenen Daten beruht. Die Abweichung von der angestrebten idealen Fördererlinie bewegt sich im Rahmen von 1 m auf 300 m Strebfront.

Diskussion des Einsatzes von Strebbbruchbau

Die Bergwerke sehen sich beim Einstieg in den Strebbbruchbau mit Hangendabzug verschiedenen Herausforderungen gegenüber. Sie müssen das Verfahren an die örtlichen Bedingungen anpassen und optimieren (Prozesse, Betriebskultur, Nutzung der Erfahrung von Erstausrüstern). Caterpillar bietet die individuelle Anpassung von Gewinnungsverfahren, Bruchbauverfahren und Parametereinstellungen an.

Je nach Qualität der Kohle und den geologischen Gegebenheiten besteht das Risiko der Selbstentzündung im Alten Mann. Hier muss vorausschauend und professionell gehandelt werden, wobei eine Inertisierung mit Stickstoff oder CO₂ einzuplanen ist.

Während des Abbaus ist es wichtig, die Schildhöhe zu überwachen und den Schildausbau entsprechend zu steuern, damit er nicht ständig im oberen Verstellbereich betrieben wird. Sonst könnte es passieren, dass er den Kontakt zum Hangenden verliert. Dies kann im Zusammenspiel mit manueller Überstreckung

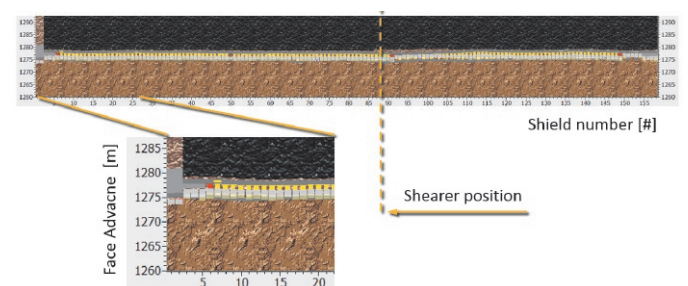


Fig. 15. Command for Longwall – face alignment in LTCC operation.
Bild 15. Command for Longwall – Strebausrichtung im Betrieb eines Strebbbruchbaus. Source/Quelle: Caterpillar

range. Otherwise the roof supports could lose contact to the roof. This, in combination with manual hyperextension of the canopies, may lead to major destruction of the shield components, especially after roof pressure comes back (cylinders, pins, cylinder bearings). By using automation modes and reducing manual interaction, these operational mistakes can be avoided.

Too slow face advance speed could result in excessive roof pressure. This may cause loose roof and roof falls in front of the canopies or at their tip. To prevent these types of events, it is important to keep a certain advance rate. In the worst case scenario, it will reduce time for caving operation.

There are some important lessons learned when establishing high automated longwall operations. It is all about creating a cultural change and having all mine personnel striving for improvements while having the crew well-trained. The management need to get crews focused on total mine conditions instead of focusing only on machine conditions. At the same time, the frequent and right usage of health-toolsets for continuous improvement is recommended. The operations should be reviewed regularly to achieve better efficiency and overall improvements on an ongoing basis.

Conclusion

LTCC allows mining of seam areas that shearers typically do not reach. High resource recovery – 85 to 90% – in high seams is possible, resulting in sustainable mining. The technology allows reduction of waste (minimal with regard to coal resources), resulting in a reduction of operating costs. By achieving the highest productivity possible, operations will stay profitable, even in difficult economic times. Finally, in comparison with high face longwall mining, the LTCC technology makes it possible to improve mine safety.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Ringleff, H.; Rutherford, A.: Australia's First LTCC Face Operation, 2007.
- (2) www.youtube.com: The principle of longwall top coal caving (LTCC).
- (3) Mundry, S.; Gajetzki, M.: Longwall Automation Serving High Level of Production Expectation. International Journal of Mining Reclamation and Environment, Vereinigtes Königreich, 06/2015.
- (4) Mundry, S.; Gajetzki, M.; Dietz, H.-W.: Supporting Toolsets for Efficient & Productive Longwall Operation. Longwall Conference 2015, Hunter Valley, Australien, 10/2015.
- (5) Mundry, S.; Dietz, H.-W.; Gajetzki, M.: How to Further Improve Longwall Operation for Higher Efficiency and Productivity. Conference Proceedings XXV School of Underground Mining 2016, Polen, 03/2016.
- (6) Mundry, S.: Technologies for Efficient & Productive Longwall Operation. Underground Mining and International Mining Forum 2016, Krakau (Polen), 02/2016.

der Kappen zu größeren Beschädigungen an den Schildkomponenten – Zylinder, Bolzen, Zylinderlager – führen, vor allem, wenn der Druck aus dem Hangenden zunimmt. Durch Automation und weniger manuelle Eingriffe lassen sich solche Bedienfehler meistens vermeiden.

Eine zu geringe Abbaugeschwindigkeit kann zu übermäßigem Druck aus dem Hangenden führen. Dies kann eine Auflockerung und ein Hereinbrechen des Hangenden vor den Kappen oder an ihrer Spitze verursachen. Um dies zu vermeiden, muss eine gewisse Abbaugeschwindigkeit eingehalten werden. Im schlechtesten Fall verkürzt sich die Zeit für den Bruchbau.

Aus der Einführung des automatisierten Strebbetriebs lassen sich entscheidende Schlüsse ziehen. Wichtig ist vor allem, dass man einen Kulturwandel schafft, die Belegschaft unter Tage anhält, sich um Verbesserungen zu bemühen, und sie darüber hinaus regelmäßig schult. Die Werksleitung muss die Belegschaft dazu bringen, auf den Gesamtzustand der Grube als Produktionssystem zu achten und nicht nur auf den Zustand einzelner Maschinen. Gleichzeitig wird die konsequente und korrekte Verwendung des Cat MineStar Funktionspakets Health für die fortlaufende Verbesserung empfohlen. Der Betrieb muss regelmäßig überprüft werden, damit dauerhaft die Effektivität erhöht wird und allgemeine Verbesserungen erreicht werden.

Fazit

Der Strebbbruchbau mit Hangendabzug erlaubt die Gewinnung in Bereichen des Flözes, die für Walzenlader normalerweise nicht zu erreichen sind. In mächtigen Flözen ist ein hohes Kohleausbringen von 85 bis 90% möglich. Die Betriebskosten sinken, da relativ gesehen viel weniger Nebengestein gefördert wird im Verhältnis zur gewonnenen Kohle. Dank hoher Produktivität bleibt der Abbau so selbst in wirtschaftlich schwierigen Zeiten profitabel. Darüber hinaus ist Strebbbruchbau mit Hangendabzug gegenüber dem konventionellen Strebbau mit hohen Abbaufrenten eine Möglichkeit, die Arbeitssicherheit zu verbessern.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Sebastian Mundry, Dipl.-Ing. Christoph Sandgathe, Caterpillar Global Mining Europe GmbH, Lünen