

Smart Mining Creates New Openings in the Global Commodities Market

The general fall in prices and high degree of volatility in the commodities market are now having a major impact on the viability and strategic focus of raw materials companies and machine manufacturers. Irrespective of whether the situation is set to continue long term or undergo a complete change of direction, it has already had a transformative effect on the activities of mine operators and their suppliers. Increased productivity, efficiency, workplace safety and flexibility are now very much at the forefront and this has raised the issue of automation to a new level. The rapid development of digital technologies has created all kinds of innovative design possibilities for automation. Fully-integrated systems with (part-)autonomous machines that can move reliably in

and through different types of environment and make decisions independently and without human control are no longer the stuff of fantasy in the mining world. The industry has already made a successful start on implementing Mining 4.0.

This paper addresses the themes of face automation and remote control and describes the various forces that have paved the way towards digital mining and the manless face. Eickhoff Bergbautechnik has played a key role in the technological development of mechanised mining for more than 150 years. Machine automation beyond the system boundaries and the integration of digital technologies and data management are the main areas of focus for current research and development work.

Smart Mining als Chance im globalen Rohstoffmarkt

Der generelle Preisverfall und die starke Volatilität des Rohstoffmarkts wirken sich derzeit stark auf die Rentabilität und strategische Ausrichtung der Rohstoffunternehmen und Maschinenhersteller aus. Unabhängig davon, ob diese Situation langfristig anhält oder ob eine Kehrtwende bevorsteht, hat dies bereits jetzt einen transformativen Effekt auf die Operationen von Betreibern und Zulieferern. Produktivitätserhöhung, Effizienz, Arbeitssicherheit und Flexibilität stehen im Vordergrund und heben dadurch das Thema Automatisierung auf eine neue Ebene. Die rasante Entwicklung der digitalen Technologien bietet innovative Gestaltungsmöglichkeiten in der Automatisierung. Vollintegrierte Systeme mit (teil-)autonomen Maschinen, die sich ohne menschliche Steuerung verlässlich in und durch Umgebungen bewegen

und selbstständig Entscheidungen treffen, sind im Bergbau schon heute keine Traumwelt mehr. Die Branche hat bereits erfolgreich mit der Umsetzung von Bergbau 4.0 begonnen.

Dieser Beitrag nimmt Bezug auf die Strebautomation und Fernsteuerung und zeigt die Impulse auf, die den Weg zum digitalen Bergbau und zum mannlosen Streb ebnen. Bereits seit über 150 Jahren spielt die Eickhoff Bergbautechnik eine führende Rolle bei der technologischen Weiterentwicklung des mechanisierten Bergbaus. Die Automatisierung der Maschine über die Systemgrenze hinaus sowie die Integration der digitalen Technologien und des Datenmanagements sind die Schwerpunkte der aktuellen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten.

Development of the commodities market and its consequences

Over the next five years the global raw-materials market is also likely to undergo a major structural change. Since the beginning of the millennium coal production capacity has been increasing continuously through ongoing expansion and the commissioning of new mines. The direct result of this overcapacity were falling prices and the closure of mines with high production costs (Figure 1). Increasingly stringent environmental regulations imposed on the two largest coal producers – China and the USA – have also driven up costs and led to a further stifling of production, while a downshift in economic growth has only intensified the negative performance of the world coal market. Generally speaking the Chinese market has been the main cause of the global fall

Entwicklung des Rohstoffmarkts und die Folgen

In den nächsten fünf Jahren dürfte der weltweite Rohstoffmarkt weiterhin einen grundlegenden Strukturwandel erleben. Seit Anfang der 2000er Jahre erfolgte eine kontinuierliche Steigerung der Förderkapazitäten von Kohle durch andauernde Erweiterung und Inbetriebnahme neuer Bergwerke. Sinkende Preise und die Schließung von Minen mit hohen Produktionskosten waren eine direkte Folge der Überkapazität (Bild 1). Verschärfte Umweltschutzvorschriften der größten Verbraucher von Kohle – China und USA – trieben die Kosten zusätzlich und führten zu einer weiteren Drosselung der Produktion. Ferner verschärften Abschwächungen des Wirtschaftswachstums die negativen Entwicklungen auf dem Weltkohlemarkt. Insgesamt ist der chinesische Markt als Hauptgrund des globalen Preisverfalls der Kohle zu sehen. In Anbetracht

in coal prices. Given the significant overcapacity in this market any sustained rise in prices seems unlikely at this time. In fact, if anything, the current circumstances seem to reinforce the view that prices could well fall even further (2, 3).

Market developments in India would seem to buck this trend. In order to close the gap between demand and availability India has to increase its production levels quite dramatically. Here the emphasis is on expanding deep-mined production levels using modern and reliable equipment. The development of this market promises to deliver a positive outcome for mining supplier companies and could act as a significant driver of growth. However all this will require a comprehensive programme of structural change if the total market potential is to be unleashed (2, 3).

The end of the super-boom is therefore heralding-in a new mining phase where operations and process optimisation and cost savings will be the dominant feature. In the Australian market in particular there are signs that production units are being strategically re-equipped and upgraded under the general heading of “boosting productivity and improving efficiency”. Mining companies and suppliers are having to adapt to the new mining reality and will have to take landmark strategic decisions if they are to position themselves effectively in a cautious and volatile market environment.

A new digital era for the mining industry

The operational investments being made by mining companies are now focussing very much on improving profitability and efficiency. At the same time all the regulatory requirements have to be met and a safe working environment has to be maintained so that the workforce and the operating equipment are given as much overall protection as possible. Those suppliers who play their part in improving production levels cost effectively – while at the same time meeting all the necessary safety standards – and who are able to react more flexibly to changing circumstances and to their customers’ demands, will be the big winners. There are now real signs of a marked increase in activity centred around the theme of automation. Ongoing equipment development and the introduction of innovative technologies are already bringing a high level of automation and control to the coal winning process.

However, the advent of digital change in the mining industry is raising the subject of automation to a completely new level. The implementation of the Industry 4.0 approach, digitalisation, networking and collaboration, along with the latest developments in sensor technology and data analysis, provide countless opportunities for significant change and will herald-in a new era in the mining industry. If all this new technology is to be used to best effect it will be necessary to formulate clear objectives so that the catalysts of digital change can be properly deployed and controlled. The vision of the manless coal face, where the human operator merely plays a support and monitoring role from the safety of his control station, remains one of the industry’s major goals.

The transformation of the underground (sub-)systems into cutting, loading and conveying, as combined under the generic concept of Mining 4.0, will help master the complexity of the entire operation. By avoiding non-productive times and increasing face output this technology-driven approach will impact on the existing

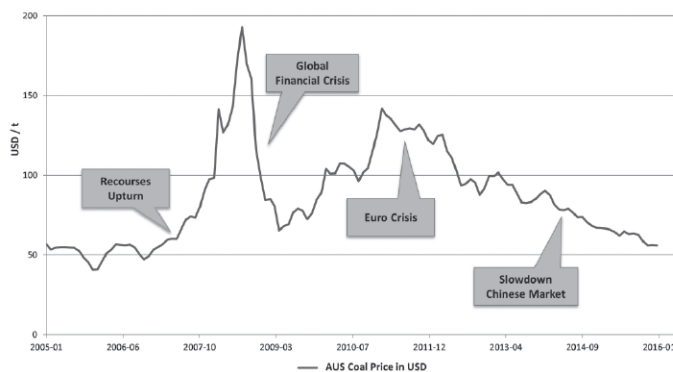


Fig. 1. Coal price trends (index mundi) (1).
Bild 1. Entwicklung des Kohlepreises (index mundi) (1).

der starken Überkapazitäten ist mit einer nachhaltigen Steigerung der Preisentwicklung zurzeit nicht zu rechnen. Im Gegenteil, die aktuellen Gegebenheiten bestätigen die Auffassung, dass weiterhin eine Preisentwicklung nach unten möglich ist (2, 3).

Konträr dazu ist die Marktentwicklung in Indien zu sehen. Um die Lücke zwischen Nachfrage und Verfügbarkeit schließen zu können, muss Indien das Produktionsniveau deutlich erhöhen. Der Schwerpunkt geht hin zum Ausbau der untertägigen Förderung mit sicherer und moderner Ausrüstung. Die Entwicklung dieses Markts bietet eine positive Perspektive für die Bergbauzulieferer und könnte als wichtiger Wachstumstreiber dienen. Voraussetzung hierfür ist aber eine umfassende strukturelle Veränderung, um das gesamte Marktpotential zu entfesseln (2, 3).

Das Ende des Super-Booms leitet somit eine neue Bergbauphase ein, die von Betriebs- und Prozessoptimierung sowie Kosteneinsparung geprägt ist. Besonders im australischen Markt ist derzeit eine strategische Aus- und Aufrüstung der Betriebe unter der Gesamtüberschrift „Produktivitätserhöhung und Effizienzsteigerung“ zu beobachten. Die Unternehmen und Zulieferer müssen sich der neuen Bergbaurealität stellen und richtungweisend strategische Entscheidungen treffen, um sich in einem verhaltenen, volatilen Marktumfeld optimal zu positionieren.

Neue digitale Ära im Bergbau

Die operativen Investitionen der Bergbauunternehmen werden derzeit ausgesprochen stark in Richtung Ertrags- und Effizienzsteigerung gelenkt. Gleichzeitig sollen alle regulatorischen Anforderungen und die Aufrechterhaltung einer sicheren Arbeitsumgebung gewährleistet werden, um möglichst Mensch und Maschinen ganzheitlich zu schützen. Zulieferer, die dazu beitragen, die Produktion kosteneffizient zu steigern – bei Einhaltung aller notwendigen Sicherheitsstandards – und die flexibler auf Veränderungen und Kundenwünsche reagieren, werden zu den großen Gewinnern gehören. Daher ist eine deutliche Zunahme von Aktivitäten rund um das Thema Automatisierung zu verzeichnen. Die kontinuierliche technische Weiterentwicklung der Betriebsmittel und der Einsatz von innovativen Technologien führen bereits heute zu einem hohen Automatisierungs- und Steuerungsgrad beim Abbauprozess.

Der Einzug des digitalen Wandels in den Bergbau hebt das Thema Automatisierung aber auf eine ganz neue Ebene. Die Umsetzung der durch Industrie 4.0 beschriebenen Lösungsansätze,

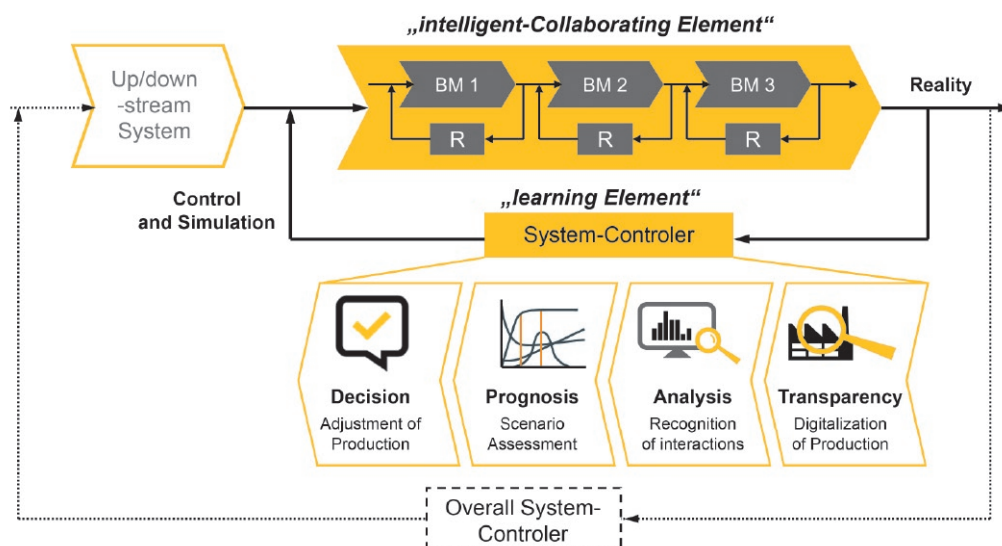


Fig. 2. Mining 4.0 – basic conception of relationships and objectives (4, 5).
Bild 2. Bergbau 4.0 – Grundverständnis der Zusammenhänge und Zielsetzungen (4, 5).

structures and on operating performance. However, the methods being considered initially present a very mixed picture. The interactions and cause-effect relationships involved are best illustrated in Figure 2 by using the principle of the control circuit (4, 5).

In this case the control loop is formed by the direct and indirect processes operating within the sub-systems along the mining process chain (cutting, loading, conveying). Longwall coal winning, e.g., is such a sub-system. This is where the shearer loader, face conveyor and powered supports all interact with one another. By making use of the growing opportunities in information/communication technology and networking we are now in a position to optimise the degree of interaction – and the level of collaboration – within this control loop. This can equally be regarded as the “intelligent-collaborative” element in a future Mining 4.0 Infrastructure. The ultimate objective is to improve flexibility and efficiency in the existing models (4, 5).

The purpose of the controller, on the other hand, is to influence or alter these existing models and in this respect it can be regarded as the “learning” element in a future Mining 4.0 Infrastructure. It is through this that the revolutionary character of Industry 4.0 is able to emerge, as only through the systematic horizontal and vertical networking of man, machines, objects and ICT systems can such mining sub-systems be controlled in the first place. The creation of transparency, that is to say the availability of these data and the possibility of processing them further, is crucial for the “learning process”. In subsequent steps it will then be possible to identify cause-effect relationships that can in turn be modelled to generate prognoses on the basis of which decisions can be taken. The substantive sequence of transparency, analysis, prognosis and decision making also corresponds to the chronological approach used when implementing these “learning” structures in the sub-systems in question. This logic is not only restricted to the actual sub-systems but can also be expanded to include the entire mining process chain (4, 5).

The volumes of data available form the basis for decisions and prognoses that can lead to the control and restructuring of the processes involved. The rapid advances in information technology are bringing with them a massive expansion in the amount of data available and this creates almost unlimited opportunities for long-term storage. And the complexity of the data is growing in parallel

die Digitalisierung, Vernetzung und Kollaboration sowie die Neuerungen bei Sensortechnik und Datenanalyse bieten zahlreiche Ansatzpunkte für substantielle Veränderungen und leiten eine neue Ära im Bergbau ein. Als Basis für die optimale Umsetzung müssen klare Ziele formuliert werden, um die Katalysatoren des digitalen Wandels richtig einsetzen und steuern zu können. Dabei ist die Vision des mannlosen Strebs, in welcher der Mensch sich von einer sicheren Leitwarte aus auf Assistenz- und Überwachungsfunktionen konzentriert, nach wie vor ein wesentliches Ziel.

Die unter dem Oberbegriff Bergbau 4.0 zusammengefasste Transformation der untertätig eingesetzten (Sub-)Systeme in Lösen, Laden und Fördern soll die Komplexität beherrschen. Technikgetrieben wird – durch Vermeidung von Nebenzeiten und Erhöhung des Outputs – Einfluss auf bestehende Strukturen und die betriebliche Leistung genommen. Die Ansätze geben jedoch zunächst ein sehr heterogenes Bild ab. Zur Verdeutlichung der Wirkzusammenhänge eignet sich das Prinzip des Regelkreises in Bild 2 (4, 5).

Die Regelstrecke bilden dabei die direkten und indirekten Prozesse innerhalb der Subsysteme entlang der bergmännischen Prozesskette (Lösen, Laden, Fördern). Die schneidende Gewinnung im Strebbau ist beispielsweise ein solches Subsystem. Hier interagieren Walzenlader, Förderer und Ausbau. Unter Nutzung der zunehmenden Möglichkeiten in der Informations- und Kommunikationstechnik und Vernetzung gilt es, das Zusammenwirken – eben die Kollaboration – innerhalb dieser Regelstrecke zu optimieren. Sie kann entsprechend auch als das „intelligent-kollaborative“ Element einer zukünftigen Bergbau 4.0-Infrastruktur angesehen werden. Zielsetzung ist die Steigerung von Flexibilität und Effizienz in bestehenden Mustern (4, 5).

Der Regler hat hingegen die Aufgabe, diese bestehenden Muster zu beeinflussen bzw. zu verändern. Er kann damit auch als „lernende“ Element einer zukünftigen Bergbau 4.0-Infrastruktur angesehen werden. Durch ihn kommt der revolutionäre Charakter von Industrie 4.0 zum Vorschein; denn erst durch die konsequente horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen ist eine solche Regelung von Subsystemen im Bergbau überhaupt möglich. Die Schaffung von Transparenz, d.h. die Verfügbarmachung und die Möglichkeit zur Weiterverarbeitung dieser Daten, ist für den „Lernprozess“ konstituierend. In weiteren Schritten lassen sich Wirkzusammenhän-

with this. This is a result of the very large quantities of data being provided, the processing and analysis of huge datasets in ever shorter time-frames and the large variety of data of varying consistency. This is where standard database systems reach their limits. Mathematical and statistical algorithms are therefore needed, along with new declarative languages that can optimise and parallelise the analysis process. Scenario evaluations call for complex data models and the application of combined analysis techniques from the different fields of mathematics, machine learning and signal processing so that improvements in performance can ultimately be achieved. The demand for new data-visualisation techniques is also growing at the same time. Static reports can no longer reproduce the high information content or interpret and display the wide range of data in a flexible manner (6).

There are also signs that the man-machine-interface is being transformed by smart hardware. This is fundamentally changing the type of interaction and indeed the workplace itself. Remote-controlled operations, an increasing range of assistance functions and ever more intuitive operating concepts are extending and improving the working environment in the mining industry and are generally providing operators and users with a better and safer experience when it comes to deploying machines and equipment. The new technologies will affect the entire chain of mining-specific operations. Transparent machine operating parameters are optimising the flow of materials and the servicing and maintenance strategies. Enhanced remote control systems and a higher level of automation are leading to improved performance management and greater competitiveness.

Mining 4.0 in cutting coal winning

The key to an "intelligent-collaborative" infrastructure lies not only in data handling but also in networking the sensors on the winning machine and on the totality of the participating face components. This is no easy matter as it requires a high degree of coordination and understanding in dealing with special data. Moreover, technological change in the mining industry usually takes a relatively long time to implement. The constantly changing environmental conditions and the need to prove the new technology in practice make it difficult to establish automation systems that in other industries have already become state-of-the-art (4, 5).

Eickhoff has brought a number of technological developments to the mining industry since the introduction of its first shearer loader in 1954. These include radio remote control in 1966, industry-standard PCs (IPC) in 2001, the EiControl shearer control system in 2005, its sensor-based development EiControlPlus in 2007 and finally the parametrised control system EiControlSB in 2008. Since 2010 ongoing shearer development has focused increasingly on mechatronic discipline, in which machine engineering, electrotechnology and software are all closely fused together. This can mainly be seen in the increasing ratio of software and sensor technology in the machines and in the advanced data and communications infrastructure (7).

Modern shearer loaders are fitted with a whole range of sensors that fulfil various tasks on a redundant basis and are ideally designed on different operating principles (Figure 3). Sensors for relative and absolute position determination and navigation provide a detailed description of the face profile. In conjunction with highly

ge erkennen, deren Modellierung wiederum Prognosen zulassen, auf deren Basis Entscheidungen getroffen werden können. Die inhaltliche Abfolge von Transparenz, Analyse, Prognose und Entscheidung entspricht dabei auch dem zeitlichen Vorgehen bei der Implementierung dieser „lernenden“ Strukturen in den Subsystemen. Dabei ist diese Logik nicht nur auf die jeweiligen Subsysteme beschränkt; sie lässt sich auch auf die komplette bergmännische Prozesskette ausweiten (4, 5).

Die verfügbaren Datenmengen bilden das Fundament von Entscheidungen und Prognosen, die zu einer Regelung und Umgestaltung der Prozesse führen. Die rasant voranschreitende Entwicklung im Bereich der Informationstechnologie führt zu einer extremen Vergrößerung der verfügbaren Datenmengen und bietet fast unbegrenzte Möglichkeiten zur Langzeitspeicherung. Parallel dazu wächst die Datenkomplexität. Diese entsteht durch ein sehr großes Datenvolumen, die Verarbeitung und Analyse riesiger Datenmengen in immer kürzer werdenden Zeitfenstern sowie große Datenvielfalt bei unterschiedlicher Konsistenz. Handelsübliche Datenbanksysteme stoßen hier an ihre Grenzen. Es werden neue deklarative Sprachen zur Optimierung und Parallelisierung der Analysen sowie mathematische und statistische Algorithmen benötigt. Szenario-Bewertungen erfordern komplexe Datenmodelle und die Nutzung kombinierter Analyseverfahren aus den unterschiedlichen Bereichen der Mathematik, des maschinellen Lernens und der Signalverarbeitung, um schließlich verbesserte Leistungen zu erzielen. Gleichzeitig steigt auch der Bedarf an neuartigen Techniken zur Datenvisualisierung. Statische Berichte können nicht mehr den hohen Informationsgehalt wiedergeben und die umfangreichen Daten flexibel interpretieren und anzeigen (6).

Zusätzlich ist eine Transformation der Mensch-Maschine-Schnittstelle durch smarte Hardware zu verzeichnen. Dies verändert grundlegend die Art der Interaktion und den Arbeitsplatz an sich. Ferngesteuerte Operationen und immer mehr Assistenzfunktionen sowie intuitive Bedienkonzepte erweitern und verbessern das Arbeitsumfeld im Bergbau und bieten dem Betreiber/Bediener eine meist bessere und sicherere Erfahrung mit den Betriebsmitteln. Die neuen Technologien werden die gesamte Kette der bergbauspezifischen Operationen verändern. Transparente Maschinenbetriebsbilder optimieren Materialfluss und Instandhaltungsstrategien. Verstärktes Remote Controlling und ein höherer Automatisierungsgrad führen zu einem verbesserten Leistungsmanagement und einer steigenden Wettbewerbsfähigkeit.

Bergbau 4.0 in der schneidenden Gewinnung

Der Schlüssel zu einer „intelligent-kollaborativen“ Infrastruktur liegt außer im Datenhandling auch in der Vernetzung der Sensorik der Gewinnungsmaschine und der Gesamtheit aller beteiligten Strebkomponenten. Keine leichte Aufgabe, da ein hohes Maß an Koordination und Verständnis im Umgang mit Spezialdaten notwendig ist und der Technologiewechsel im Bergbau in der Regel relativ lange dauert. Die sich ständig ändernden Umgebungsbedingungen und die notwendige Bewährung in der Praxis erschweren es, Automatisierungssysteme zu etablieren, die in anderen Industriezweigen schon Stand der Technik sind.

Seit der Einführung des Eickhoff-Walzenladers im Jahr 1954 implementierte das Unternehmen eine Reihe von Weiterentwicklungen

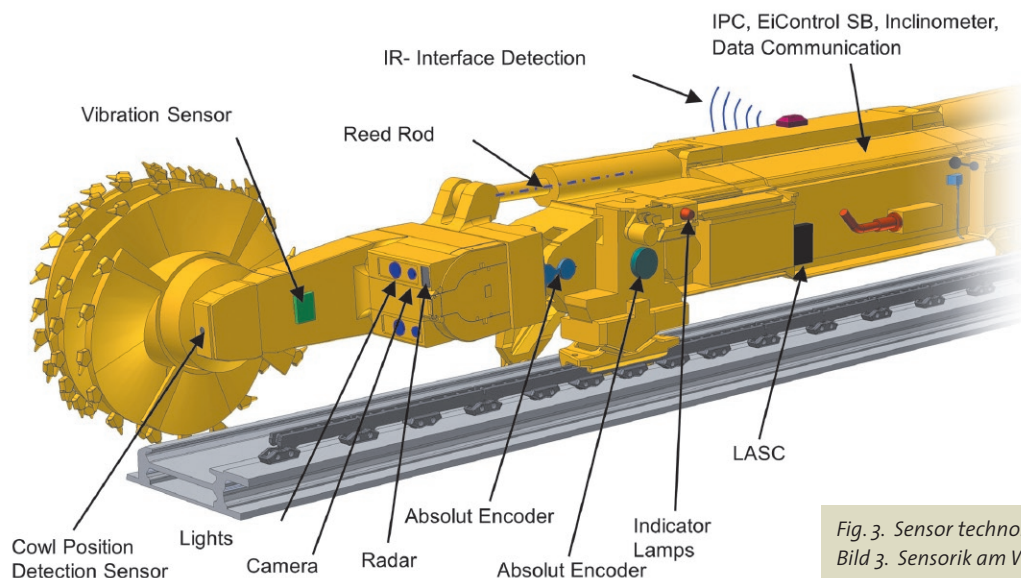


Fig. 3. Sensor technology on the drum shearer loader (4, 5).
Bild 3. Sensorik am Walzenlader (4, 5).

complex control algorithms this enables the winning process to be controlled to an accuracy of just a few millimetres. Additional sensors designed for geological environment recognition improve the precision of the coal winning operation and help the machine adhere to the geological boundaries, while sensors for geometric environment detection can proactively recognise potential danger areas and avoid collisions between the machine and the supports. The external and internal machine environment is recorded and assessed using sensors that can determine machine status and performance. The entire sensor network is supplemented by a diagnostic system designed for rapid fault analysis and easy maintenance. The latter registers data and historic events so that condition-based maintenance planning can be put into effect. The shearer is also capable of conducting plausibility checks and performing self-diagnostic tests on its condition and load status (4, 5).

Video-monitoring systems are used for remote machine control and travelway monitoring. Additional graphic displays provide access to sensors, audible warnings and input devices. The communications flow between man and machine is much improved as a result. The continuing improvement of sensor technology plays a major role here, as the more autonomous the technical application, the more information it requires about its physical environment and about itself. It is the “key to all the efforts aimed at the autonomisation of machines and equipment”. Integrated sensor concepts for environment perception are being refined and improved by way of real-time capable processing logic and increasing built-in intelligence. In the highly dynamic and extreme conditions that prevail below ground these optimised systems are capable of operating faultlessly, adapting independently to their operating environment and performing their own regulation and control functions (Figure 4) (4, 5, 8).

The shearer loader as the central element in digital mining

An examination of the entire face system shows that the coal shearer is the central, collaborating element. This machine is in continuous communication with the face supports and coal conveyor (Figure 5). Information such as conveyor loading status, shearer position, active identification of collision hazards and other operating and process data are exchanged and relayed to

gen, wie z.B. die Funkfernsteuerung im Jahr 1966, die IndustriePCs (IPC) im Jahr 2001, das Steuerungskonzept EiControl im Jahr 2005, die sensortechnische Erweiterung EiControlPlus im Jahr 2007 und schließlich die parametrisierte Steuerung EiControlSB im Jahr 2008. Seit dem Jahr 2010 fokussiert sich die Weiterentwicklung des Walzenladers immer mehr auf eine mechatronische Disziplin, in der Maschinenbau, Elektrotechnik sowie Software eng miteinander verschmelzen. Zu erkennen ist dies vor allem am steigenden Sensor- und Softwareanteil in den Maschinen sowie einer zukunftsweisenden Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (7).

Der Walzenlader ist heute mit zahlreichen Sensoren ausgerüstet, die unterschiedliche Ausgaben redundant übernehmen und idealerweise ein unterschiedliches Funktionsprinzip verfolgen (Bild 3.) Sensoren zur relativen und absoluten Positionsbestimmung und Navigation liefern eine detaillierte Darstellung des Strebprofils. In Verbindung mit hochkomplexen Steuerungsalgorithmen erlaubt dies eine bis auf wenige Millimeter genaue Steuerung des Abbauprozesses. Weitere Sensoren zur geologischen Umfelderkennung verbessern die Abbaugenaugigkeit und das Einhalten der Lagerstättengrenzen. Sensorik zur geometrischen Umfelderkennung erkennen vorausschauend potentielle Gefahrenstellen und vermeiden Kollisionen der Maschine mit dem Ausbau. Die Registrierung und die Bewertung der äußeren und inneren Umwelt der Maschinen erfolgt mit Sensoren zur Erfassung von Maschinenzustand und -performance. Abgerundet wird die Sensorik durch ein Diagnostiksystem zur schnellen Fehleranalyse und einfachen Wartung. Daten und historische Ereignisse werden hierbei aufgezeichnet und eine zustandsbasierte Instandhaltungsplanung ermöglicht. Der Walzenlader ist darüber hinaus in der Lage, Eigendiagnosen über seinen Zustand und seine Belastung sowie Plausibilitätsprüfungen durchzuführen (4, 5).

Video-Monitoring-Systeme ermöglichen die Fahrwegüberwachung und Fernsteuerung. Weitere graphische Digitalanzeigen bieten Zugriff auf Sensoren, akustische Signalgeber und Eingabegeräte. Der Kommunikationsfluss zwischen Mensch und Maschine wird deutlich verbessert. Die Weiterentwicklung der Sensortechnik spielt hier eine herausragende Rolle, denn je autonomer die technische Anwendung, desto mehr Informationen benötigt sie über ihre physikalische Umgebung und über sich

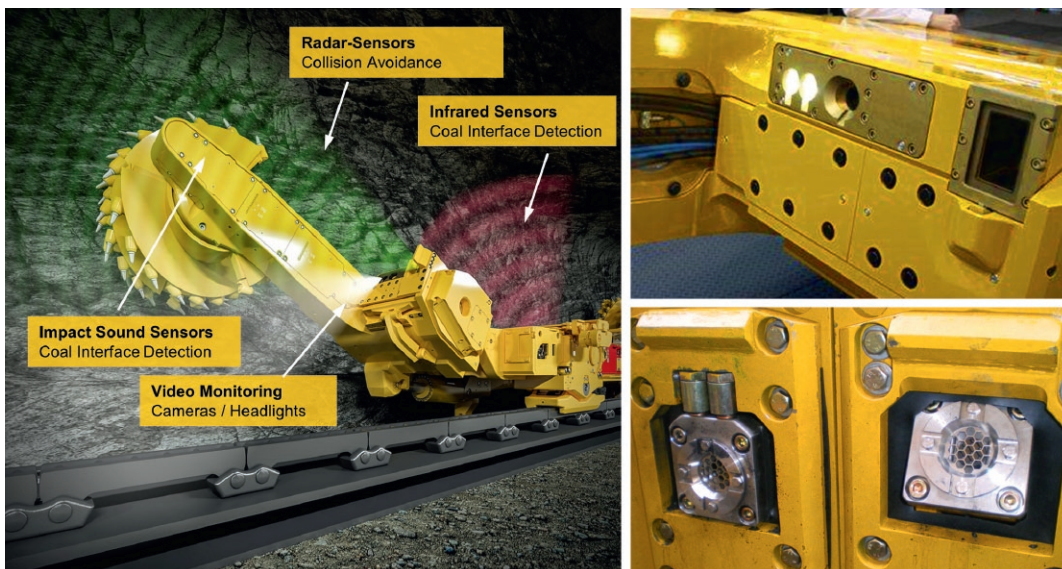


Fig. 4. Environment detection systems on coal shearers (4, 5).
Bild 4. Umfelderkfassungssysteme am Walzenlader (4, 5).

the operator's station and to the surface control room. After the shearer has passed through, the shields are automatically reset and the conveyor is snaked forward. The conveyor drives and chain tension are controlled using measurement data relating to the conveyor fill status and the load acting on the transmission system. If any irregularities are observed in the process, such as a shield unit that is set too low, the situation is assessed and appropriate measures are taken. This may involve triggering a signal to halt the coal shearer, with the maintenance personnel above and below ground being immediately informed of the incident (4, 5).

All this depends on having efficient and reliable communication systems. The technology currently employed in the mining industry meets all established industrial standards. It is designed for redundancy, can be power-cable connected or may even be based on DSL, fibre-optic cable or WLAN. Internally the shearer is networked to all the necessary sensors via a bus system. Internal communication and communication with the operator's station and surface control room is performed via the Ethernet. Various different protocols are used here for data transmission purposes (4, 5).

The pacemaker for the control process is the state-based EicontrolSB automatic system. This is effectively the core element of the shearer loader, as it separates the cutting process methodically into different and independent steps. Each status or phase is clearly defined and together they form a closed cycle. The pre-configured process can be altered and extended by the user at any time so that it can be adapted to meet external requirements. The sequential execution of the status table is governed by the process cycle. The machine reacts independently and in a manner that is tailored to the changing conditions. The machine operator, who may be on the coal face or in a remote control room, is able to correct things and alter the process accordingly (4, 5).

From remote control to full automation

The withdrawal of personnel from the danger zone is one of the main benefits of the ongoing automation of the mining industry. Another is the efficiency with which deposits can be exploited in coal seams as low as 1.2 metres in height. This is only possible through the full automation and/or remote control of all the participating sub-systems.

selbst. Sie ist „der Schlüssel für alle Bestrebungen, Maschinen und Anlagen autonom zu gestalten“. Bereits integrierte Sensor-konzepte zur Umfelderkfassung werden durch eine echtzeitfähige Verarbeitungslogik und zunehmende Eigenintelligenz verfeinert. Die optimierten Systeme sind in der Lage, in den höchst dynamischen und extremen untertägigen Bedingungen fehlerlos zu arbeiten, sich autonom ihrer Einsatzumgebung anzupassen und die Selbststeuerung zu übernehmen (Bild 4) (4, 5, 8).

Der Walzenlader als Zentrum des digitalen Bergbaus

Betrachtet man das Gesamtsystem ist der Walzenlader das zentrale, kollaborierende Element. Er kommuniziert kontinuierlich mit Ausbau und Förderer (Bild 5). Informationen wie Fördererbeladung, Standort des Walzenladers, aktive Erkennung von Kollisionsgefahren und andere Verfahrens- und Prozessdaten werden ausgetauscht und zum Steuerstand und zur Leitwarte gesendet. Nach der Durchfahrt des Walzenladers werden die Schilde vollautomatisch gesetzt und der Förderer gerückt. Die Steuerung der Fördererantriebe und der Kettenspannung erfolgt durch Bestimmung der Fördererbeladung und der Lastsituation an den Getrieben. Werden Unregelmäßigkeiten beim Prozess beobachtet – wie z.B. ein zu tief gesetzter Ausbau – wird die Situation bewertet und entsprechende Maßnahmen werden getroffen. Beispielsweise stoppt ein Haltesignal den Walzenlader und das Wartungspersonal unter und über Tage wird informiert (4, 5).

Voraussetzung sind dabei leistungsfähige und zuverlässige Kommunikationssysteme. Die derzeit im Bergbau eingesetzten Systeme erfüllen alle etablierten Industriestandards. Sie sind redundant ausgelegt, können energiekabelgebunden sein oder auch auf DSL, LWL oder WLAN basieren. Intern ist der Walzenlader über ein Bussystem mit allen notwendigen Sensoren vernetzt. Die Kommunikation untereinander, mit dem Steuerstand und mit der Leitwarte erfolgt über Ethernet. Dabei werden unterschiedliche Protokolle zur Datenübertragung genutzt (4, 5).

Taktgeber für den Steuerungsprozess ist die State-Based-Automatik EicontrolSB. Denn sie ist das Herzstück des Walzenladers und unterteilt den Schneidprozess methodisch in unterschiedliche und unabhängige Schritte. Die sogenannten Zustände sind klar definiert und bilden einen geschlossenen Zyklus. Der vordefi-

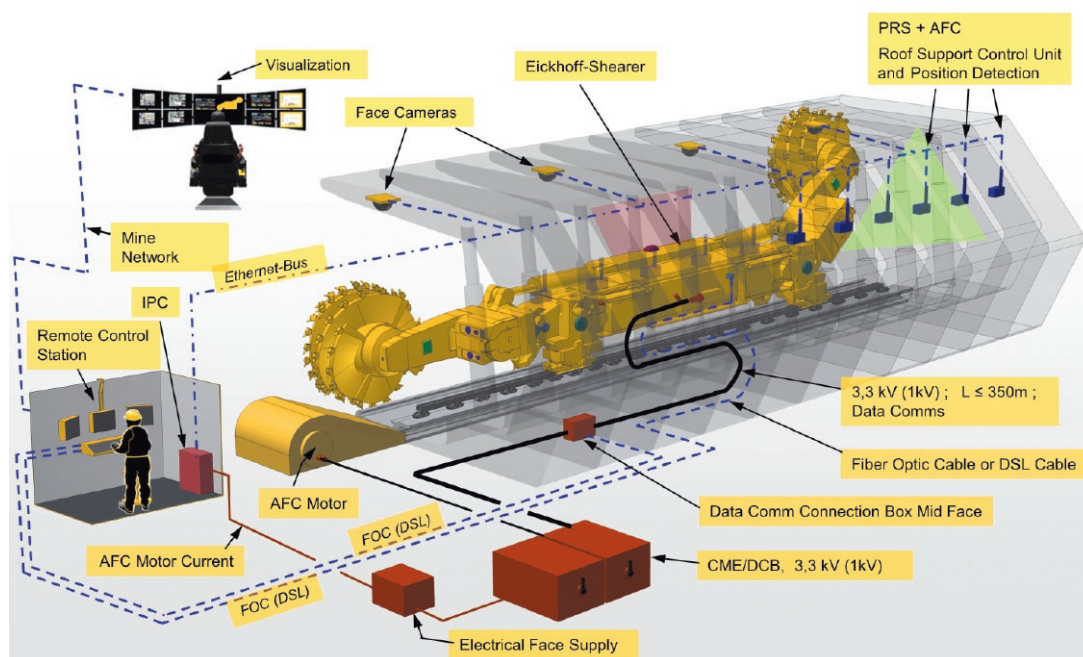


Fig. 5. The coal shearer as the central element on the longwall face (4, 5).
Bild 5. Der Walzenlader als zentrales Element im Streb (4, 5).

From his position in the control room the operator uses on-face cameras, sensors and positioning software to steer and monitor the winning process. The control station is linked to the shearer by means of TCP/IP protocols that are transmitted via redundant powerline-modem and fibre-optic connections. The functions are performed by joystick or handheld controller – or can be semi-automated. In the latter case the operator only intervenes to take corrective actions. These features were systematically introduced with the development of the new Eickhoff SL 300L thin-seam shearer (Figure 6) and the technology was subsequently improved and refined during initial operational trials carried out at collieries in Russia (4, 5).

In July 2015 the Russian coal industry commissioned a new face with a seam thickness of 1.7 m. This face was then used as a test bed for newly developed remote-control and automation elements that for the first time took the industry close to the vision of the “manless coal face”. The overall planning and practical implementation work needed to deliver this project, which was carried out jointly by the German companies Eickhoff Bergbautechnik GmbH, Bochum, Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH, Dachau, and Becker Mining Systems AG, Friedrichsthal, created the necessary conditions for a face visualisation system that allows the operator to concentrate on performing monitoring and control functions from the safety of a remote control room. Video cameras mounted on the shield supports and on the shearer itself create a longwall-face monitoring system and allow the operator to follow the trajectory of the cutting machine. Rapid data links are used so that all the data needed for the control of the shearer and face installation can be exchanged between the face components and the gate-end stations. The entire coal winning process can be observed and controlled from the remote-control panel in the gate road. A large number of additional sensors and transmitters mounted on-board the SL 300 and on the various face elements use the repetition of defined cutting sequences to achieve what is essentially an all-automatic longwall face operation. Collaborative sensor systems operating beyond

nierte Prozess kann vom Anwender jedoch beliebig verändert, erweitert und somit jederzeit auf die externen Erfordernisse angepasst werden. Die sequentielle Abarbeitung der Zustandstabelle ist abhängig vom Prozessablauf. Die Maschine reagiert selbstständig und maßgeschneidert auf wechselnde Bedingungen. Der Maschinenfahrer kann dabei vor Ort oder von einer abgesetzten Leitwarte aus korrigieren und den Prozess verändern (4, 5).

Von der Fernsteuerung zur Vollautomatisierung

Der Rückzug des Personals aus der Gefährdungszone ist ein zentraler Vorteil zunehmender Automatisierung. Außerdem wird eine effiziente Ausnutzung von Lagerstätten in besonders niedrigen Mächtigkeiten bis 1,2 m möglich. Dies funktioniert nur durch Vollautomatisierung und/oder Fernsteuerung aller beteiligter Subsysteme.

Der Bediener kann dabei von der Leitwarte aus mithilfe von Strebkameras, Sensoren und Positionierungssoftware den Gewinnungsprozess steuern und überwachen. Die Anbindung des Steuerstands an den Walzenlader erfolgt über TCP/IP-Protokolle, die über redundante Powerline-Modem- und Glasfaserverbindungen übertragen werden. Die Funktionen werden durch Joystick oder Handheld-Controller übernommen – oder semi-automatisiert. Bei letzterem werden nur Korrekturen mit minimalem Steuerungseingriff vorgenommen. Diese Punkte wurden bei der Entwicklung des neuen Niedrigwalzenladers SL 300L von Eickhoff konsequent umgesetzt (Bild 6) und durch erste Einsatzerfahrungen im russischen Steinkohlenbergbau kontinuierlich weiterentwickelt (4, 5).

Seit Juli 2015 ist im russischen Raum ein neuer Streb mit einer Flözmächtigkeit von 1.7 m in Betrieb. Der Einsatz von neuartigen Fernsteuerungs- und Automatisierungselementen ermöglicht erstmalig eine Annäherung an die Vision des „mannlosen Strebs“. Die gemeinsame Konzeptionierung und konkrete Umsetzung des Projekts durch die Firmen Eickhoff Bergbautechnik GmbH, Bochum, Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH, Dachau, und Becker Mining Systems AG, Friedrichsthal, schaffen die notwendigen Voraussetzungen zur Strebvisualisierung, mit

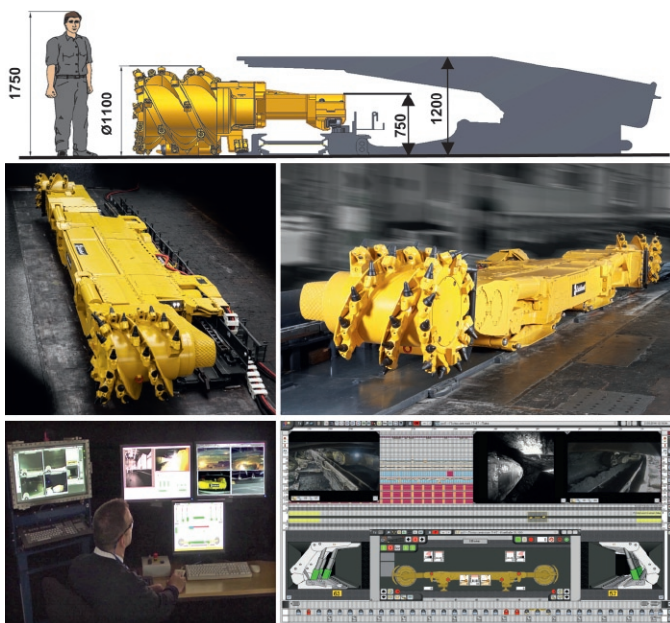


Fig. 6. SL 300L thin-seam coal shearer: seam thickness 1.2 to 1.8 m and remote/face control system (button left: Eickhoff remote control, button right: integrated face control system from Marco) (4, 5, 9).
 Bild 6. Niedrigwalzenlader SL 300L: Strebmächtigkeit 1,2 bis 1,8 m und Fern-/Strebsteuerung (unten links: Eickhoff-Fernsteuerung, unten rechts: integrierte Strebsteuerung von Marco (4, 5, 9).

the boundaries of the machine provide environment perception and detection and support the automatic regime as it copes with dynamic geological conditions.

Further interfaces are used to ensure that these data are relayed to the surface control room for display purposes. All the process data can be analysed and archived, an interaction that generates a number of new possibilities. Mine operators are able to obtain information on the face equipment and coal winning operation that is accurate to the second. Eickhoff engineers use these data to develop and improve their products and to optimise their service performance and logistics (Figure 7). The planning of repair work is significantly accelerated thanks to machine-specific fingerprinting and the repair times themselves are shortened. The introduction of this system has heralded-in a new technology level for longwall mining.

The next level is the complete networking of all participating sub-systems. In order to achieve full automation all the different face elements in direct connection with one another have to be developed together. The creation of cross-functional transparency is the basic prerequisite for continuative analyses, the derivation of forecasts and projections and the decision options that derive from them, as decision-supporting systems can only be used effectively when all the relevant data are collected and deployed as part of an uninterrupted process (4, 5).

deren Hilfe der Bediener sich von einem sicheren Kontrollraum auf Überwachungs- und Steuerungsfunktionen konzentrieren kann. Die Überwachung des Stoßes sowie die Trajektorie des Walzenladers erfolgt mittels Videokameras an den Schilden und am Walzenlader. Über eine schnelle Datenverbindung werden alle notwendigen Daten zwischen den Strebkomponenten und der Streckenstation zur Steuerung des Walzenladers und der Strebausrüstung ausgetauscht. Der gesamte Abbauprozess kann über den Fernsteuerstand in der Wetterstrecke beobachtet und kontrolliert werden. Eine große Anzahl von zusätzlichen Gebern und Sensoren am Walzenlader SL 300 sowie an den Strebelementen erlauben durch Wiederholung definierter Schnittsequenzen einen weitgehend automatisierten Strebbetrieb. Kollaborierende Sensorsysteme über die Maschinengrenze hinaus ermöglichen eine Umfelderkassung und unterstützen die Automatik bei den dynamischen geologischen Bedingungen.

Weitere Schnittstellen gewährleisten die Visualisierung der Daten über Tage am Steuerstand. Alle Prozessdaten können analysiert und archiviert werden, wodurch sich neue Möglichkeiten in der Interaktion ergeben. Betreiber erhalten sekundengenaue Informationen zu den Betriebsmitteln und zur Gewinnungsoperation. Die Eickhoff-Ingenieure nutzen diese Informationen, um Produktverbesserungen zu entwickeln und die Service- und Logistikleistungen zu optimieren (Bild 7). Die Planung von Reparureinsätzen wird durch das maschinenspezifische Fingerprinting deutlich beschleunigt und die Reparaturzeiten werden verkürzt. Bei der Einführung dieses Systems wird eine neue Technologiestufe beim Langfrontabbau eingeleitet.

Das nächste Level ist die vollständige Vernetzung aller beteiligten Subsysteme. Für eine Vollautomatisierung müssen alle Strebelemente im direkten Zusammenhang weiterentwickelt werden. Die Schaffung von bereichsübergreifender Transparenz ist die Grundvoraussetzung für weiterführende Analysen, die Ableitung von Prognosen und sich hieraus ergebende Entscheidungsoptionen. Denn erst mit der durchgängigen Aufnahme und Bereitstellung aller relevanten Daten lassen sich entscheidungsunterstützende Systeme effektiv einsetzen (4, 5).

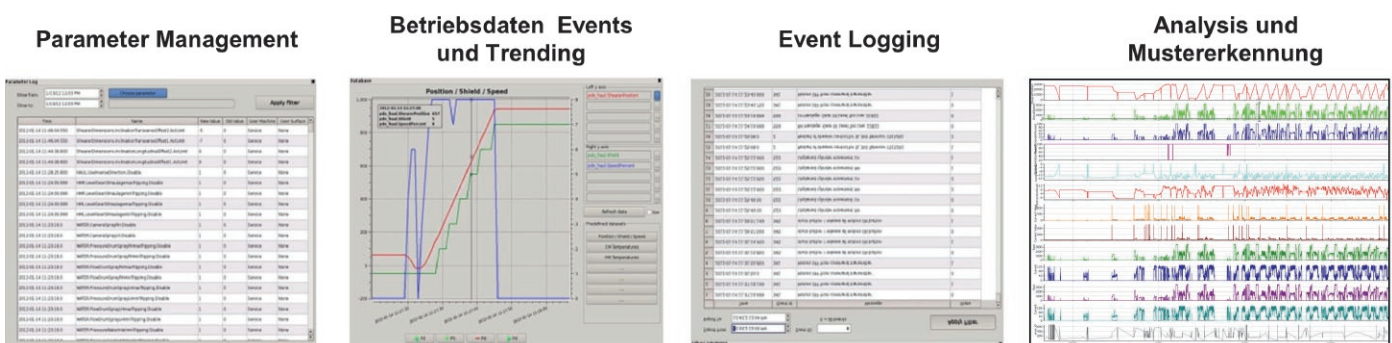


Fig. 7. Database applications and pattern recognition (10). // Bild 7. Datenbank Applikationen und Mustererkennung (10).

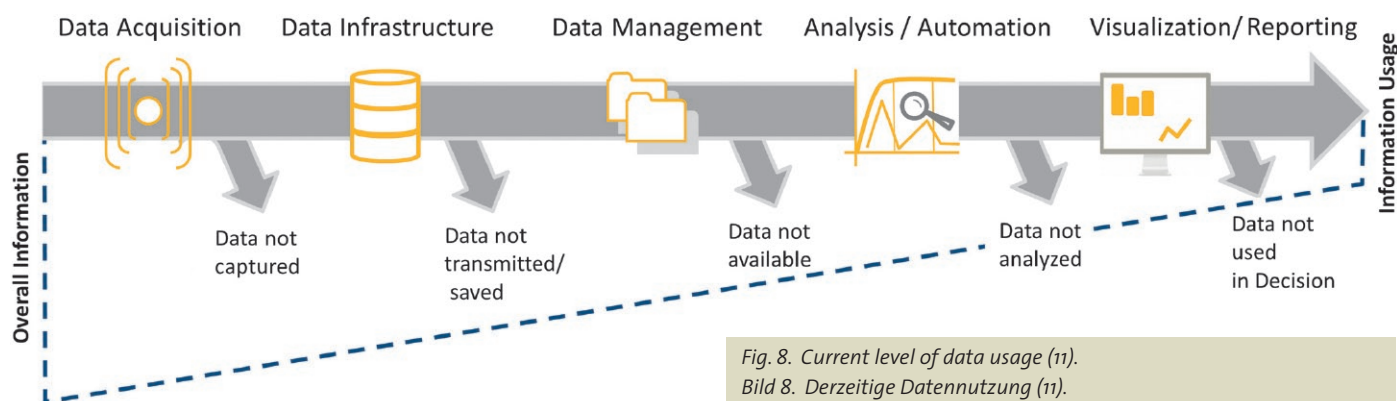


Fig. 8. Current level of data usage (11).

Bild 8. Derzeitige Datennutzung (11).

The digitised image of the operating processes and equipment, and the decisions that are governed by it, is currently generated on the basis of a small data segment – even though the machines in question have a large number of sensors at their disposal. Here alone it is possible to see that there is a huge potential to be exploited to purposive effect in that deviations from the normal mode of operation can already be quickly identified by examining a small selection of data (Figure 8) (11).

At the same time, the amounts of data being produced and the real-time reaction require an extremely rapid data transmission and analysis capability. Processing the sensor data locally, e.g. as near as possible to their source of origin, is both faster and more efficient and can significantly relieve the transmission channels. The devices themselves are becoming ever smarter, they are able to recognise their environment and collect data accordingly, they can be remotely controlled and they can take decisions (12).

The logical implementation of Smart Mining

Smart Mining applies information technology along the entire process chain from exploration, geological modelling and the winning operations through to transport and logistics. With Mining 4.0 and innovative communications technologies it is possible to make the transition from remote control to fully autonomous operation. Shearer loader, face supports, conveyor, coal crusher and belt conveyors are all integrated into a superordinate 3D face control system (Figure 9). This ensures that all relevant data are included and made available across the board. These “Big Data” are made transparent by means of high-performance analysis systems that recognise links and relationships and enable all the sub-systems to communicate proactively with each other (4, 5).

Uninterrupted event-logging enables the system to run through a very well-founded fault diagnosis routine. The system increases the prognostic capacity and enables reactions to be made to process deviations in real-time. An extensive parameter management capability also gives the system the flexibility it needs. Additional function-enhancing system elements are also possible, such as self-learning environment and status detection systems. The 3D face control system, which runs on different hierarchical and communication levels, allows a number of phased control commands to be issued for all participating face elements. A high degree of self-sufficiency and redundancy, which includes the entire array of sensors right through to the totality of the local sub-systems, ensures that the system has maximum operational reliability (4, 5).

Das digitale Abbild der Prozesse und Betriebsmittel sowie die dadurch getriebenen Entscheidungen entstehen derzeit auf Basis eines kleinen Datenausschnitts – obwohl die Maschinen über eine große Anzahl von Sensoren verfügen. Bereits hier wird das enorme Potential erkennbar, welches gezielt genutzt werden kann. Denn schon jetzt können durch die Betrachtung eines kleinen Datenausschnitts Abweichungen vom Regelbetrieb schnell identifiziert werden (Bild 8) (11).

Gleichzeitig erfordern die anfallenden Datenmengen und die Echtzeitreaktion eine extrem schnelle Datenübertragung und Datenanalyse. Eine Verarbeitung der Sensordaten lokal möglichst nah an der Entstehungsquelle ist effizienter und schneller und kann die Übertragungswege deutlich entlasten. Die Geräte selbst werden immer smarter, nehmen ihre Umgebung wahr, sammeln Daten, sind fernsteuerbar und können Entscheidungen treffen (12).

Konsequente Umsetzung von Smart Mining

Intelligenter Bergbau implementiert Informationstechnologie in der Gesamtkette von der Exploration, geologischen Modellierung, den Gewinnungsoperationen bis hin zu Transport und Logistik. Mittels Bergbau 4.0 und innovativer Kommunikationstechnologien gelingt der Übergang von der Fernsteuerung zur vollständig autonomen Operation. Walzenlader, Ausbau, Förderer, Brecher und Bandanlage werden in ein übergeordnetes 3D Streb-Controlsystem integriert (Bild 9). Hiermit werden alle relevanten Daten eingezogen und übergreifend verfügbar gemacht. Hochleistungsfähige Analysesysteme machen dabei „Big Data“ transparent. Sie erkennen Zusammenhänge und ermöglichen eine proaktive Kommunikation aller Subsysteme (4, 5).

Das durchgängige Event-Logging ermöglicht dabei maximal fundierte Störungsdiagnosen. Das System erhöht die Prognosefähigkeit und erlaubt Reaktionen auf Prozessabweichungen in Echtzeit. Ein weitgehendes Parameter-Management verleiht dem System zudem die notwendige Flexibilität. Es ermöglicht die Implementierung weiterer funktionserweiternder Systemelemente, wie z. B. selbstlernende Umfeld- und Zustandserfassungssysteme. Das 3D Streb-Controlsystem, das in verschiedenen Hierarchie- und Kommunikationsebenen abläuft, ermöglicht aufeinander abgestimmte Steuerbefehle für alle beteiligten Strebelemente. Dabei sorgt eine größtmögliche Autarkie und Redundanz von der Sensorik bis hin zur Gesamtheit der lokalen Teilsysteme für eine maximale Betriebssicherheit des Systems (4, 5).

Derzeit ist eine voll integrierte und durchgängige Vernetzung und Automatisierung aller (Sub-)Systeme noch nicht in allen

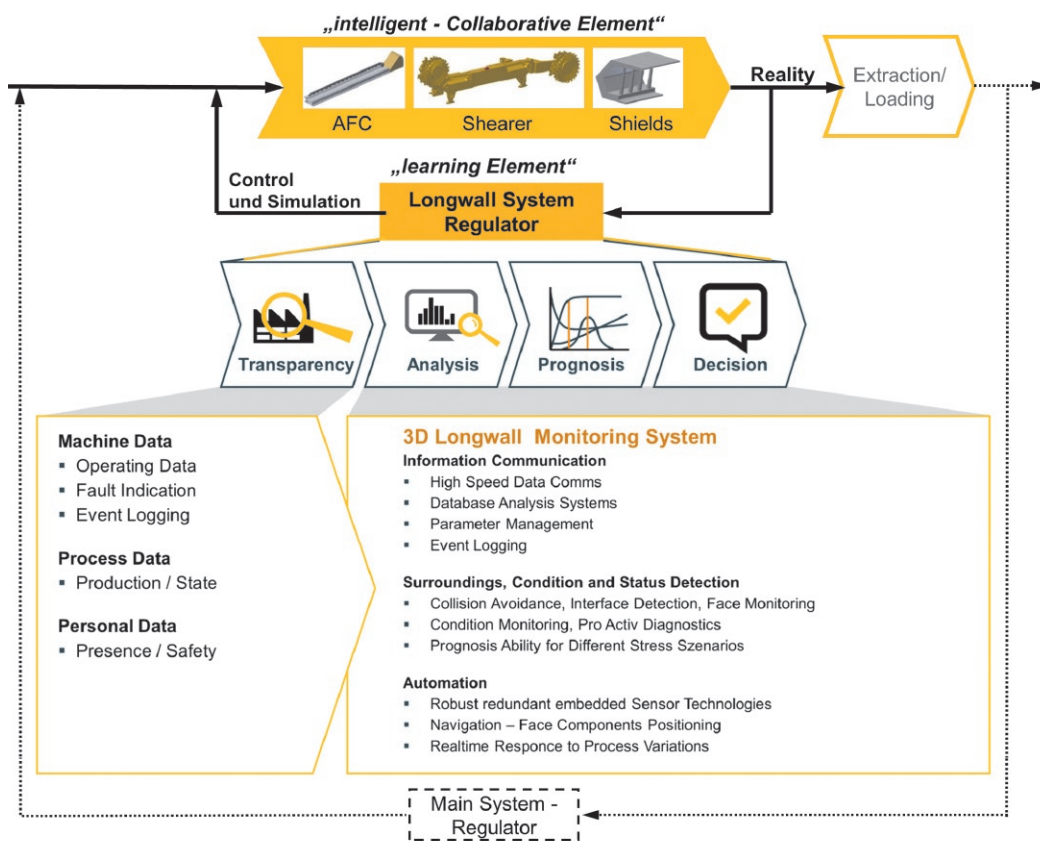


Fig. 9. Operating principle of the face controller and 3D face-control system (4, 5).
Bild 9. Funktionsweise des Strebreglers und 3D-Streb-Controlsystem (4, 5).

While the industry has yet to achieve fully integrated, continuous networking and automation of all (sub-)systems – such a development is no longer the pipedream of years ago. Rather it is the logical next step in the development chain of the deep mining industry. The only question that remains is how long will it take for the technical solutions being driven by digital change to be steered in the right direction. Mine operators and industry suppliers will have to undergo a fundamental change in vision and in strategic focus if the substantial changes needed are to be achieved. Implementing these new technologies will require strong management and a highly trained workforce that appreciates and understands the new methods of operation – and those who rise up to this challenge will be the big winners in tomorrow's world.

Ebenen realisiert – aber auch längs keine Fiktion mehr. Sie ist ein logischer nächster Schritt in der Entwicklungskette des untertägigen Bergbaus. Die Frage ist lediglich, wie lange es dauern wird, die vom digitalen Wandel getriebenen technischen Lösungsansätze in die richtige Richtung zu navigieren. Eine fundamentale Veränderung in der Vision und in der strategischen Ausrichtung von Betreibern sowie Zulieferern wird erforderlich sein, um die notwendigen substantiellen Veränderungen zu erzielen. Die Implementierung der neuer Technologien braucht ein starkes Management und qualifizierte Bergleute, die Verständnis für die neuen Arbeitsweisen haben, um zu den großen Gewinnern von morgen zu gehören.

References / Quellenverzeichnis

- (1) o. V.: Internetpräsentation index mundi <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=coal-australian&months=180>, 2016.
- (2) Hartlieb, P.: Die Kohle zur Jahresmitte und der globale Trend bis 2020. EnergieAgentur NRW, 5/2016.
- (3) Bergbau, Sonderausgabe Globale Bergbaumärkte. EnergieAgentur NRW, 5/2016.
- (4) Merchiers, A.; Mavroudis, F.; Pütz, M.: Industrie 4.0 Champion – Hochautomatisierte Systeme im untertägigen Bergbau. GeoResources, 2/2016, S. 31 - 40.
- (5) Merchiers, A.; Mavroudis, F.: Reaktion der Eickhoff-Gruppe auf die Anforderungen von Industrie 4.0. Vortrag, Forum Bergbau 4.0, RWTH Aachen, 12/2015.
- (6) Markl, V.; Hoerner, T.; Krcmar, H.: Big Data Management. Im Auftrag BMWi, 3/2014.
- (7) Nienhaus, K.; Mavroudis, F.; Hackelböcker, B.: Walzenlader Automation und Kommunikation – Ein Leitfadens zum autonomen Walzenlader. Vortrag AIMS, RWTH Aachen, 5/2009.
- (8) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Multimodale Sensorik- Konzepte der Umwelterkennung/-modellierung.
- (9) Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH: Nicht veröffentlichtes Material.
- (10) Douglas, S.; Lange, U.: Application of Eickhoff Shearer Automation. Vortrag, AIMS, RWTH Aachen, 5/2014.
- (11) Durrant-Whyte, H.; Geraghty, R.; Pujol, F.; Sellschop, R.: How digital innovation can improve mining productivity. McKinsey & Company, 11/ 2015.
- (12) Cisco Fog Computing Solutions: Unleash the power of the internet of things. White Paper Cisco Systems Inc., 2015.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Fiona Mavroudis, Dr.-Ing. Lars Pierburg, Eickhoff Bergbautechnik GmbH, Bochum