Aarti Sörensen
Karl Nienhaus
Elisabeth Clausen

Smart Mining – Today and Tomorrow

Digital technologies offer the potential to deliver significant improvements by improving the quality and availability of data and informations, which in turn can be the key to significant productivity gains. In addition, meaningful digital technologies can help to reduce the environmental impact. It is therefore assumed that digital technologies have the potential to be the key to the sustainability of the industry or at least to enable significant improvements. The future of mining is "smart". However, as is often the case with popular slogans, the exact meaning is becoming increasingly fuzzy. Therefore, this article provides an overview of smart mining as a term, concept and global trend.

Smart Mining – heute und morgen

Digitale Technologien bieten das Potential, zu deutlichen Verbesserungen zu führen, indem sie eine Verbesserung der Qualität und Verfügbarkeit von Daten und Informationen ermöglichen, was wiederum der Schlüssel zu signifikanten Produktivitätssteigerungen sein kann. Darüber hinaus können sinnvoll eingesetzte digitale Technologien einen Beitrag zu einer Verringerung der Umweltauswirkungen leisten. Daher wird davon ausgegangen, dass digitale Technologien das Potential haben, der Schlüssel für die Zukunftsfähigkeit der Branche zu sein. Die Zukunft des Bergbaus ist „smart" – dies scheint heute der allgemeine Konsens zu sein. Doch wie so oft bei populären Schlagwörtern, wird die genaue Bedeutung zunehmend unscharf. Daher bietet dieser Artikel einen Überblick über Smart Mining als Begriff, Konzept und globalen Trend.

Changing framework conditions

There is no doubt that the global mining industry today is under pressure in several ways and has to respond to the changing demands of a wide range of stakeholders but also to changing technical and economic conditions.

On the one hand, declining ore grades, increasing mining depths and mining in remote regions are leading to longer, energy-intensive production distances. The demand for water and energy is increasing and, as a result, so are the overall production costs. It has been observed for several decades that overall productivity has been declining and has only recently stabilized or, in some areas, improved. These trends are also leading to longer periods for the development of new mining projects (1).

On the other hand, the values of the "stakeholders" and the social expectations as well as the often newly set framework conditions for mining companies are changing. (End-)consumers increasingly demand that companies ensure that products come from traceable sources and are produced in a responsible manner, that they offer fair and secure jobs to their employees, and that they protect the environment and support the communities in which they operate. Investors are increasingly judging companies on factors such as their environmental footprint, carbon footprint, greenhouse gas emissions and energy consumption, as well as their safety record and the benefits to employees (2).

Veränderung der Rahmenbedingungen

Es besteht kein Zweifel, dass die globale Bergbauindustrie heute in mehrfacher Hinsicht unter Druck steht und auf die sich wandelnden Anforderungen einer Vielzahl von Interessengruppen, aber auch auf sich ändernde technische und wirtschaftliche Bedingungen reagieren muss.

Einerseits führen abnehmende Wertstoffgehalte, zunehmende Teufen und der Abbau in abgelegenen Regionen zu längeren, energieintensiven Förderentfernungen. Der Wasser- und Energiebedarf erhöht sich und infolgedessen auch die Gesamtproduktionskosten. Seit mehreren Jahrzehnten wird beobachtet, dass die Gesamtproduktivität rückläufig ist und sich erst vor kurzem stabilisiert hat bzw. in einigen Bereichen verbessert wurde. Diese Trends führen auch zu einer längeren Dauer für die Entwicklung von neuen Bergbauprojekten (1).

Auf der anderen Seite verändern sich die Wertevorstellungen der „Stakeholder" und die gesellschaftlichen Erwartungen sowie die oft neu gesetzten Rahmenbedingungen für Bergbauunternehmen. Die (End-)Verbraucher fordern zunehmend von den Unternehmen, dass Produkte aus nachvollziehbaren Quellen und verantwortungsbewusster Produktion stammen, sie ihren Mitarbeitern faire und sichere Arbeitsplätze bieten und gleichzeitig die Umwelt schonen und die Gemeinden und Kommunen fördern, in denen sie tätig sind. Die Investoren beurteilen die Unternehmen zunehmend nach Faktoren wie ihrer Umweltbilanz, ihrem CO_2-Fußabdruck, ihren

Fig. 1. Developing people and technology – the Institute for Advanced Mining Technology of the RWTH Aachen University.
Bild 1. Menschen und Technik fördern – das Institute for Advanced Mining Technology an der RWTH Aachen. Photo/Foto: RWTH Aachen.

Nevertheless, the industry still has the reputation of "taking more than it gives" and is therefore in a reputation crisis. The mining industry of the future must align with the social values of the next generation. Increased transparency, responsible technological innovation, sustainability and shared prosperity are the values that will shape a very different society in the future (3).

As a result, mining companies around the world continue to be under pressure to be cost-competitive and generate acceptable returns for shareholders. At the same time, there is a growing demand for companies that align their performance with the triple bottom line of sustainability, i.e., measuring and evaluating social, environmental and economical performance (4).

As a particular peculiarity of the industry, mining companies have always had to deal with a high degree of uncertainty and imperfect information in their operations, regardless of where in the world they operate. Knowledge about the actual structure and condition of the deposit is limited, the general conditions for mining companies can be extremely challenging, the high variability and changing quality of the rock to be mined pose a major problem for the mining industry and for all downstream processing operations. These characteristics of mining represent a considerable difficulty for the mining operations as well as their economic performance (5).

Against this background, digital technologies offer the potential to deliver significant improvements by improving the quality and availability of data and informations, which in turn can be the key to significant productivity gains. In addition, meaningful digital technologies can help to reduce the environmental impact. It is therefore assumed that digital technologies have the potential to be the key to the sustainability of the industry or at least to enable significant improvements. The future of mining is "smart" – this seems to be the general consensus today.

However, as is often the case with popular slogans, the exact meaning is becoming increasingly fuzzy. Therefore, this article provides an overview of smart mining as a term, concept and global trend.

Treibhausgasemissionen und ihrem Energieverbrauch sowie nach ihrer Sicherheitsbilanz und den Vorteilen für die Mitarbeiter (2).

Dennoch hat die Branche immer noch das Ansehen, dass sie „mehr nimmt, als dass sie gibt", und befindet sich daher in einer Reputationskrise. Der Bergbau der Zukunft muss sich mit den gesellschaftlichen Werten der nächsten Generation verbinden. Erhöhte Transparenz, verantwortungsvolle technologische Innovation, Nachhaltigkeit und gemeinsamer Wohlstand sind die Werte, die zukünftig eine ganz andere Gesellschaft gestalten werden (3).

Folglich stehen Bergbauunternehmen weltweit weiterhin unter dem Druck, kostenmäßig wettbewerbsfähig zu sein und akzeptable Renditen für die Aktionäre zu erzielen. Darüber hinaus besteht zugleich eine wachsende Nachfrage nach Unternehmen, die ihre Leistung anhand der Dreifachbilanz der Nachhaltigkeit ausrichten, d. h. welche die soziale, ökologische und ökonomische Leistung messen und bewerten (4).

Als besondere Eigenheit der Branche mussten die Bergbauunternehmen seit jeher mit einem hohen Maß an Unsicherheit und Unvollkommenheit an Informationen in ihren Betrieben umgehen, unabhängig davon, wo auf der Welt sie tätig sind. Das Wissen über den tatsächlichen Aufbau und den Zustand der Lagerstätte ist begrenzt, die Rahmenbedingungen für Produktionsbetriebe können extrem herausfordernd sein, die z.T. täglichen Veränderungen des abzubauenden Gesteins sind groß und ein enormes Problem für den Abbau und für alle nachgeschalteten Verarbeitungsprozesse. Diese Eigenschaften des Bergbaus stellen eine erhebliche Erschwernis für die Anlagen, ihren Betrieb wie auch für das wirtschaftliche Ergebnis eines Bergbauunternehmens dar (5).

Vor diesem Hintergrund bieten digitale Technologien das Potential, zu deutlichen Verbesserungen zu führen, indem sie eine Verbesserung der Qualität und Verfügbarkeit von Daten und Informationen ermöglichen, was wiederum der Schlüssel zu signifikanten Produktivitätssteigerungen sein kann. Darüber hinaus können sinnvoll eingesetzte digitale Technologien einen Beitrag zu einer Verringerung der Umweltauswirkungen leisten. Daher

So, what exactly is Smart Mining?

Interestingly, although the term is now widely used, there is no established definition for the term "Smart Mining" yet.

Some sources say that "smart" refers to the use of digital technologies to make mining "more specific, measurable, accepted, realistic and timed", while other sources point out that "smart" began as an abbreviation for "**s**elf-**m**onitoring **a**nalysis and **r**eporting **t**echnologies" (6). As a first starting point, it can be stated that "smart" has to do with digitally enabled acquisition and processing of data, which is derived from the evaluation of data and information from connected machines, devices and plant components. This data and information flow back into the organization to make better decisions in real time. The successful implementation of an "ecosystem" of IoT devices (IoT – Internet of Things), which enables plant managers and operators to make better and anticipatory decisions, makes a mine "intelligent" (7).

At the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) of RWTH Aachen University, Aachen/Germany, we define Smart Mining as "the intelligent connection and integration of mining machines (physical components) using information and communication technologies (cyber-systems) to form so-called cyber-physical systems, where the exchange and transmission of data and information takes place via a platform, the IIoT (Industrial Internet of Things)" (Figure 1). The intelligent mine of the future thus represents the long-term vision of a digitally connected, autonomous mine in which the connected systems are able to reduce the ever-increasing complexity to such an extent that improved decision-making can be realized in real time (In this context, "real time" is to be understood as "right time", i.e. the information must be available "in time" for the process, i.e. not necessarily in milliseconds depending on the process.). The mines of the future will therefore not only be digitally integrated, but also flexible and selective as well as dynamically adaptable, robust and reliable (8).

On the basis of these definitions, the next section will elaborate on the types of equipment and components in a mine that have the potential to be digitized and to improve the mining operation by integrating them into the IIoT landscape.

The technological landscape

In general, the infrastructure components of an intelligent mine include

- automated equipment (such as excavators and dump trucks, shearers and conveyors, drilling equipment, crushers, bunkers, skip units, etc.);
- hardware components (such as sensors, RFID tags, wireless infrastructure, drones, embedded systems); and
- software components (such as cloud and platform solutions, data analysis solutions, 3D imaging and modeling software, remote management solutions, etc.) (9).

In addition, new technologies such as modular mobile machines and battery-powered electric vehicles, the integration of renewable energy sources or even on-site 3D printing can help to make the operation of a mine smarter, which in this case can also lead to an increase in resource efficiency and a reduction in the consumption of fossil fuels and energy and water demands. This last as-

wird davon ausgegangen, dass digitale Technologien das Potential haben, der Schlüssel für die Zukunftsfähigkeit der Branche zu sein oder zumindest deutliche Verbesserungen zu ermöglichen. Die Zukunft des Bergbaus ist „smart" – dies scheint heute der allgemeine Konsens zu sein.

Doch wie so oft bei populären Schlagwörtern, wird die genaue Bedeutung zunehmend unscharf. Daher bietet dieser Artikel einen Überblick über Smart Mining als Begriff, Konzept und globalen Trend.

Was genau ist also Smart Mining?

Interessanterweise gibt es, obwohl der Begriff inzwischen weit verbreitet ist, bisher keine feste Definition für den Begriff „Smart Mining".

In einigen Quellen wird davon gesprochen, dass „smart" bedeutet, dass der Bergbau durch die Anwendung digitaler Technologien „spezifischer, messbar, akzeptiert, realistisch und terminiert" wird, während andere Quellen darauf verweisen, dass „smart" als Abkürzung für „selbstüberwachende Analyse- und Berichtstechnologien" („**s**elf-**m**onitoring **a**nalysis and **r**eporting **t**echnologies") begonnen hat (6). Als ein erster Ausgangspunkt kann festgestellt werden, dass „smart" mit einer digital befähigten Erfassung und Verarbeitung von Daten zu tun hat, die aus vernetzten Maschinen, Geräten und Anlagenteilen kommt. Diese Daten und Informationen fließen zurück in die Organisation, um damit bessere Entscheidungen in Echtzeit treffen zu können. Die erfolgreiche Implementierung eines „Ökosystems" von IoT-Geräten (IoT – Internet of Things), welches es Betriebsleitern ermöglicht, bessere und vorausschauende Entscheidungen zu treffen, macht ein Bergwerk „intelligent" (7).

Am Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen definieren wir Smart Mining als „die intelligente Vernetzung und Integration von Bergbaumaschinen (physische Komponenten) unter Verwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien (Cyber-Systeme) zu sogenannten cyber-physischen Systemen, wobei der Austausch und die Übertragung von Daten und Informationen über eine Plattform, das IIoT (Industrial Internet of Things), erfolgt" (Bild 1). Das intelligente Bergwerk der Zukunft stellt somit die langfristige Vision eines digital vernetzten, autonomen Bergwerks dar, in dem die vernetzten Systeme in der Lage sind, die weiter zunehmende Komplexität so weit zu reduzieren, dass eine verbesserte Entscheidungsfindung in Echtzeit realisiert werden kann (In diesem Zusammenhang ist „Echtzeit" als „Rechtzeit" zu verstehen, die Information muss also „rechtzeitig" für den Prozess vorliegen, also je nach Prozess nicht notwendigerweise in Millisekunden.). Die Bergwerke der Zukunft werden daher nicht nur digital vernetzt, sondern auch flexibel und selektiv sowie dynamisch anpassbar, robust und zuverlässig sein (8).

Auf der Grundlage dieser Definitionen wird im nächsten Abschnitt näher aufgezeigt, welche Arten von Ausrüstung und Komponenten in einem Bergwerk das Potential haben, digitalisiert zu werden und den Rohstoffgewinnungsbetrieb durch ihre Integration in die IIoT-Landschaft zu verbessern.

Die Technologielandschaft

Im Allgemeinen umfassen die Komponenten der Infrastruktur eines intelligenten Bergwerks

pect is part of what the World Bank is now calling "Climate Smart Mining", which emphasizes the dimensions of sustainability and social and environmental responsibility for global mining.

However, the "IT core" of most of the applications mentioned above are robust and reliable sensors that collect data and, in combination with a secure data transmission and communication infrastructure and sophisticated algorithms and software programs, transform them into meaningful information – ideally in real time.

Sensor-based applications can be used to monitor key (performance) parameters of machines and equipment in real time and improve failure prediction, while at the same time enabling the monitoring and control of process parameters such as optimized material flow, best possible equipment utilization, improved processing and optimized ventilation on demand.

The automation of operating equipment has already been implemented in numerous mines worldwide, e.g., through highly automated dump trucks, drilling rigs or "longwalls". Automated machines above ground can usually rely on GPS data for localization and navigation. Additional sensors on the machines and the associated data infrastructure and software combine the information from all subsystems into a complete picture. The implementation of automated localization and navigation solutions in underground mining is much more difficult because GPS signals and other traditional localization services do not work below the surface. Therefore, alternatives must be provided in the form of local localization and positioning systems.

Implementation challenges

In terms of implementing intelligent solutions for mining, the two biggest questions for a mine seem to be the "what" and the "how", apart from the often-discussed reluctance to implement (risky) digital technologies and to try something new.

The decision on "what", i.e. what kind of technologies should be used in a particular operation, requires a prior solid analysis of the existing problems as well as tailor-made solutions based on the results of the evaluation. In addition, a robust and functioning IT infrastructure is an important basis for ensuring secure communication between different systems and types of equipment. In this context, ensuring the interoperability of systems in particular is the key to integrating machines and processes throughout the mine and the entire value chain. At present, however, this is still difficult to implement due to a lack of standardization. One contribution to solving this problem is, e.g., the "Open Platform Communications Unified Architecture" (OPC UA).

In order to bring about a fundamental change in this context, the IT components must be adapted to each mine site and implemented there. However, this is exactly where many companies have their problems. Although they have taken individual measures, be it condition monitoring or the location of people using sensors, they do not implement them at every mine site (10).

The "how" of introducing new technologies refers to the entire process of implementation and integration, often into an ongoing operation. This includes personnel management, the adaptation of management systems and changes in corporate culture, as well as a proactive approach to the changing work requirements and the changing qualification needs of the workforce and the new employees to be recruited. Great importance must

- automatisierte Geräte (wie beispielsweise Bagger und Muldenkipper, Walzenlader und Förderanlagen, Bohrgeräte, Brecher, Bunker, Skip-Anlagen usw.),
- Hardwarekomponenten (wie Sensoren, RFID-Tags, drahtlose Infrastruktur, Drohnen, eingebettete Systeme) und
- Softwarekomponenten (wie Cloud- und Plattformlösungen, Datenanalyselösungen, 3D-Bildgebungs- und Modellierungssoftware, Remote-Management-Lösungen u.a.) (9).

Daneben können neue Technologien wie modulare mobile Maschinen und batteriebetriebene Elektrofahrzeuge die Integration erneuerbarer Energien oder auch lokaler 3D-Druck dazu beitragen, den Betrieb eines Bergwerks intelligenter zu gestalten, was in diesem Fall auch eine Steigerung der Ressourceneffizienz und eine Senkung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe sowie des Energie- und Wasserbedarfs zur Folge haben kann. Dieser letzte Aspekt ist Teil dessen, was die Weltbank jetzt als „Climate Smart Mining" bezeichnet und hierbei besonders die Dimensionen der Nachhaltigkeit und der sozialen und ökologischen Verantwortung für den weltweiten Bergbau betont.

Der „IT-Kern" der meisten der oben genannten Anwendungen sind jedoch robuste und zuverlässige Sensoren, die Daten erfassen und in Kombination mit einer sicheren Datenübertragungs- und Kommunikationsinfrastruktur sowie hoch entwickelten Algorithmen und Softwareprogrammen in aussagekräftige Informationen verwandeln – idealerweise in Echtzeit.

Sensorgestützte Anwendungen können einerseits zur Überwachung wichtiger (Leistungs-)Parameter von Maschinen und Geräten in Echtzeit und zur Verbesserung der Ausfallvorhersage eingesetzt werden, während sie gleichzeitig die Überwachung und Steuerung von Prozessparametern, wie z.B. einen optimierten Materialfluss, eine bestmögliche Geräteauslastung, einen verbesserten Aufbereitungsprozess sowie eine optimierte Wettertechnik (Ventilation on Demand) ermöglichen.

Die Automatisierung von Betriebsmitteln wurde bereits in zahlreichen Bergwerken weltweit z.B. durch hochautomatisierte Muldenkipper, Bohrgeräte oder „Longwalls" realisiert. Automatisierte Maschinen können sich über Tage zur Lokalisierung und Navigation meist auf GPS-Daten stützen. Weitere Sensoren an den Maschinen und die dazu gehörende Dateninfrastruktur und Software kombinieren die Informationen aus allen Teilsystemen zu einem Gesamtbild. Die Implementierung von automatisierten Lokalisierungs- und Navigationslösungen im Tiefbau ist weitaus schwieriger, da GPS-Signale und andere klassische Lokalisierungsdienste nicht unter der Erdoberfläche funktionieren. Es müssen also Alternativen in Form von lokalen Lokalisierungs- und Positionierungssystemen bereitgestellt werden.

Aufgabenstellungen bei der Umsetzung

Im Hinblick auf die Implementierung intelligenter Lösungen für den Bergbau scheinen die beiden größten Probleme für ein Bergwerk das „Was" und das „Wie" zu sein – einmal abgesehen von der oft diskutierten Zurückhaltung, (risikobehaftete) digitale Technologien zu implementieren und etwas Neues auszuprobieren.

Die Entscheidung, „Was", also welche Art von Technologien bei einem bestimmten Betrieb eingesetzt werden sollte, erfordert eine vorhergehende solide Analyse der bestehenden Pro-

Fig. 2. Autonomous systems improve safety and productivity in mines.
Bild 2. Autonome Systeme verbessern die Sicherheit und erhöhen die Produktivität in Bergwerken. Photo/Foto: Sandvik

be placed on their training and long-term loyalty and retainment to the company, as the "investment in training" is becoming ever greater. The mine operator must ensure that the workforce has the digital skills required for the "mine of the future", whether above or below ground (11).

In summary, intelligent technologies and increasing automation can help mining companies to improve the three aspects of sustainability outlined above. However, success will depend on how these possibilities are implemented in concrete terms and on a case-by-case basis and embedded in an overall process.

The role of research and innovation

Although much progress has been made over the last decade and a wide range of technologies are now widely available, there are new challenges that need to be addressed through research, innovation and cooperation.

One area that can help to further develop digitally supported autonomous systems will be the increasing use of artificial intelligence (AI), machine learning, robotics-based process automation, sophisticated system analysis and modelling (Figure 2). This will enable us to "understand" the data and thus develop a "situation awareness", and to gain insights into the overall processes in near real-time (in time) and determine which possible courses of action need to be considered (12).

The complexity and harsh conditions, especially in underground mines, require technological developments, supported by additional research, especially with regard to the development of autonomous systems underground (Figure 3). While the location of personnel and equipment in some mines has been realized with the help of WiFi networks, the underground autonomous localization, positioning and navigation of machines as well as machine-to-machine communication systems still require a lot of research and innovation. The AMT is one of the few research institutes worldwide that conducts applied research on alternative sensor technologies such as ultra-wideband technology (UWB) and sensor fusion to further advance the development of automated and autonomous machines for use in the demanding conditions of raw material extraction.

Particularly with regard to machine-to-machine communication, another important aspect is the further development of an interoperability standard for safe and reliable data exchange

bleme sowie von maßgeschneiderten Lösungen auf der Grundlage der Ergebnisse der Bewertung. Zudem ist eine robuste und funktionierende IT-Infrastruktur eine wichtige Grundlage, um die Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen und Gerätetypen sicher zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang ist insbesondere auch die Sicherstellung der Interoperabilität von Systemen der Schlüssel zur Integration von Maschinen und Prozessen im gesamten Bergwerk und in der gesamten Wertschöpfungskette. Derzeit ist dies jedoch aufgrund einer geringen Standardisierung noch schwierig umzusetzen. Ein Lösungsbeitrag dazu ist z. B. die „Open Platform Communications Unified Architecture" (OPC UA).

Um in diesem Zusammenhang einen grundlegenden Wandel zu bewirken, müssen die IT-Komponenten an jeden Bergwerksstandort angepasst und dort implementiert werden können. Viele Unternehmen haben jedoch genau dort ihre Probleme. Sie haben zwar individuelle Maßnahmen ergriffen, sei es das Condition Monitoring oder die Ortung von Personen durch Sensoren, aber sie setzen diese nicht an jedem Standort um (10).

Das „Wie" der Einführung neuer Technologien bezieht sich auf den gesamten Prozess der Implementierung und Integration, oft in einen laufenden Betrieb. Dazu gehören das Personalmanagement, die Anpassung der Managementsysteme und der Wandel in der Unternehmenskultur genauso wie ein proaktiver Umgang mit den veränderten Arbeitsanforderungen und dem veränderten Qualifikationsbedarf der Belegschaft und den anzuwerbenden neuen Mitarbeitern. Großer Wert muss auf deren Ausbildung und langfristige Bindung an das Unternehmen gelegt werden, da die „Investitionen in die Ausbildung" immer höher werden. Der Bergwerksbetreiber muss sicherstellen, dass seine Belegschaft über die für das „Bergwerk der Zukunft" erforderlichen digitalen Kenntnisse verfügt, sei es nun über oder unter Tage (11).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass intelligente Technologien und eine zunehmende Automatisierung den Bergbaubetrieben helfen können, die oben skizzierten drei Aspekte der Nachhaltigkeit zu verbessern. Der Erfolg wird jedoch davon abhängen, wie diese Möglichkeiten konkret und im Einzelfall umgesetzt und in einen Gesamtprozess eingebettet werden.

Die Rolle von Forschung und Innovation

Auch wenn in den letzten zehn Jahren viele Fortschritte erzielt wurden und eine Vielzahl von Technologien inzwischen allgemein verfügbar ist, gibt es neue Aufgaben, die durch Forschung, Innovation und Kooperation angegangen werden müssen.

Ein Bereich, der dabei helfen kann, digital unterstützte autonome Maschinen und Anlagen weiter zu entwickeln, wird die zunehmende Nutzung von künstlicher Intelligenz (KI), maschinellem Lernen, robotergestützter Prozessautomatisierung, ausgefeilter Systemanalyse und Modellierung sein (Bild 2). Damit wird es ermöglicht, die Daten zu „verstehen", so ein „Situationsbewusstsein" zu entwickeln, nahezu in Echtzeit (Rechtzeit) Einblicke in die Gesamtabläufe zu gewinnen und festzulegen, welche Handlungsoptionen in Betracht gezogen werden müssen (12).

Die Komplexität und die rauen Bedingungen insbesondere im untertägigen Bergbau erfordern technologische Entwicklungen, gestützt durch zusätzliche Forschung, insbesondere im Hinblick

Fig. 3. The exploration vehicle "Dora" navigates autonomously and demonstrates technologies for the mining of the future. Representatives of the UPNS4D+ consortium present and demonstrate their joint development in the world cultural heritage Rammelsberg mine (Goslar/Germany) at the closing event of the funding series R4 – "Innovative Technologies for Resource Efficiency" (funded by the BMBF under the FKZ 033R126D). // Bild 3. Das Erkundungsfahrzeug „Dora" navigiert autonom in untertägigen Grubenbauen und demonstriert Technologien für den Bergbau der Zukunft. Vertreter des UPNS4D+ Konsortiums präsentieren und demonstrieren ihre gemeinsame Entwicklung im Weltkulturerbe Bergwerk Rammelsberg (Goslar) bei der Abschlussveranstaltung der Förderreihe R4 – „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz" (gefördert vom BMBF unter dem FKZ 033R126D). Photo/Foto: AMT

through "Open Platform Communications" (OPC) standards for mining machines. Experts see the OPC Unified Architecture (UA) as a central communication standard in IoT and Industry 4.0 environments. OPC UA is a manufacturer and platform-independent, service-oriented communication standard that will play an important role in promoting autonomous developments in mining. VDMA Mining is taking a leading role in the development of OPC UA CS Mining, the adapted OPC UA standard for the mining industry. VDMA Mining cooperates with a number of companies that are actively involved in the development of the OPC UA CS Mining. The AMT supports VDMA Mining in this process, and representatives of the existing International Rock Excavation Data Exchange Standard (IREDES) also participate in the process. In addition, VDMA Mining is in contact with the Global Mining Guidelines Group (GMG) to ensure that the standards are globally compatible and are disseminated at international level.

Another area in which forward-looking research into new methods and technologies can contribute is the further development of selective and low-impact mining methods in order to increase resource efficiency and safety while reducing the amount of overburden or waste material produced during production. Much progress has been made in primary processing with the aim of consuming less energy, water and chemicals while at the same time increasing the proportion of valuable rock extracted. In terms of selective extraction, advances in real-time material detection, e.g., during the conveying process and/or prior to processing, can further contribute to reducing the amount of waste material to be processed, thereby further optimizing resource efficiency and energy consumption. In

auf die Schaffung von autonomen Systemen unter Tage (Bild 3). Während die Ortung von Personal und Ausrüstung in einigen Bergwerken mit Hilfe von WiFi-Netzwerken realisiert wurde, haben untertätige autonome Lokalisierung, Positionierung und Navigation von Maschinen sowie die Maschine-zu-Maschine-Kommunikationssysteme noch immer einen großen Forschungs- und Innovationsbedarf. Das AMT ist eines der wenigen Forschungsinstitute weltweit, welches angewandte Forschung zu alternativen Sensortechnologien wie der Ultrabreitbandtechnologie (UWB) sowie der Sensorfusion betreibt, um die Entwicklung von automatisierten und autonomen Maschinen für den Einsatz unter den anspruchsvollen Bedingungen der Rohstoffgewinnung weiter voranzutreiben.

Insbesondere im Hinblick auf die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation ist ein weiterer wichtiger Aspekt die Weiterentwicklung eines Interoperabilitätsstandards für den sicheren und zuverlässigen Datenaustausch durch „Open Platform Communications" (OPC) Standards für Bergbaumaschinen. Experten sehen die OPC Unified Architecture (UA) als einen zentralen Kommunikationsstandard in IoT- und Industry 4.0-Umgebungen. OPC UA ist ein hersteller- und plattformunabhängiger, serviceorientierter Kommunikationsstandard, der eine wichtige Rolle bei der Förderung autonomer Entwicklungen im Bergbau spielen wird. Der VDMA Mining übernimmt eine führende Rolle bei der Entwicklung des OPC UA CS Mining, dem angepassten OPC UA-Standard für die Bergbauindustrie. Dabei arbeitet der VDMA Mining mit einer Reihe von Unternehmen zusammen, die aktiv an der Entwicklung des OPC UA CS Mining mitwirken. Das AMT unterstützt den VDMA Mining bei diesem Prozess, und Vertreter des bestehenden International Rock Excavation Data Exchange Standard (IREDES) nehmen ebenfalls an dem Prozess teil. Darüber hinaus steht der VDMA Mining in Kontakt mit der Global Mining Guidelines Group (GMG), um sicherzustellen, dass die Standards weltweit kompatibel sind und auf internationaler Ebene verbreitet werden.

Ein weiterer Bereich, in dem zukunftsweisende Forschung zu neuen Methoden und Technologien beitragen kann, ist die Weiterentwicklung selektiver und schonender Abbaumethoden, um die Ressourceneffizienz und Sicherheit zu erhöhen und gleichzeitig den bei der Produktion anfallenden Abraum zu verringern. Viele Fortschritte wurden bei der primären Aufbereitung mit dem Ziel erzielt, weniger Energie, Wasser und Chemikalien zu benötigen und gleichzeitig den Anteil des gewonnenen Wertgesteins zu erhöhen. Im Hinblick auf die selektive Gewinnung können Fortschritte bei der Echtzeit-Materialerkennung, z. B. während des Zerkleinerungsprozesses und/oder vor der Verarbeitung, weiter dazu beitragen, die Menge des in die Aufbereitung gelangenden Abraums zu reduzieren und damit die Ressourceneffizienz und den Energiebedarf weiter zu optimieren. In diesem Bereich leistet das AMT Pionierarbeit bei der Anwendung von Infrarot-Thermographie (IR) als bildgebendes Verfahren sowie von Acoustic Emission (AE)-Technologie für eine prozessintegrierte Materialcharakterisierung (13).

Forschung und Innovation spielen eine wichtige Rolle, um die Bergbauindustrie zukunftsfähig zu machen und es gibt noch eine Vielzahl weiterer Bereiche, in denen Forschung und Innovation einen wichtigen Beitrag leisten können.

this area, AMT is pioneering the use of infrared thermography (IR) as an imaging method and acoustic emission (AE) technology for process-integrated material characterization (13).

Research and innovation play an important role in making the mining industry fit for the future and there are many other areas where research and innovation can make an important contribution.

Innovation refers not only to the technologies (processes, products, services) that are newly developed, but also to the process of their development and application. It seems to be a clear trend that innovation is increasingly implemented through collaborative networks, such as open innovation networks, "innovation ecosystems", collaborative research centres and other forms of interdisciplinary cooperation. In terms of technology adoption, there continues to be a trend for mining companies to engage and collaborate with a wide range of partners, including OEMs, technology service providers, start-ups and other suppliers, who are now also tending to focus on the rapidly evolving new technologies through novel collaborative channels (14). In both areas, cross-company collaboration is proving to be a fundamental aspect of innovation and the sustainable integration of new technologies.

Implications for German suppliers

Against this background, what role do suppliers play and what impact does this have on German mining technology and service providers (METS) in order to advance the mining industry in the age of cooperative innovation?

According to Peter McCarthy of AMC Consultants, most of the problems are solved by small METS companies, so they are expected to play a key role in promoting the industry as a whole. According to Ben Adair, CEO of the CRC ORE, a collaborative research centre in Australia, mining companies, suppliers and METS companies have the best chance of future-proofing the industry by working together to innovate the industry and tackle problems together. Another important benefit, according to Len Eros, Global Mining Manager for Motion Business at ABB, is that when an end user and an OEM or research team work together, the results can be particularly successful because the different team members bring different perspectives and understanding of the problem. The diversity of these teams leads to a more open way of thinking, which leads to new approaches to solutions (15).

Many players in the mining industry are already involved in a number of research partnerships and innovation networks that are looking for technological solutions to the specific challenges formulated by mine operators. Therefore, the promotion of cooperation between German suppliers, also in order to jointly develop all-in solutions that can be offered to international mine operators, is an important approach to sustainably ensure international competitiveness. As the integration of new technologies into existing processes is becoming increasingly complex, mine operators prefer such kinds of system solutions to one-off or isolated solutions. However, these solutions must be developed in cooperation, and the further development of standards such as OPC UA plays a central role in advancing IIoT in mining.

Summary and outlook

This article provides an overview of various aspects of smart mining and explains approaches to describing the multifaceted

Innovation bezieht sich dabei nicht nur auf die Technologien (Prozesse, Produkte, Dienstleistungen), die neu entwickelt werden, sondern auch auf den Prozess ihrer Entwicklung und der Anwendung. Es scheint ein klarer Trend zu sein, dass Innovationen zunehmend durch kollaborative Netzwerke, wie z. B. offene Innovationsnetzwerke, „Innovations-Ökosysteme", kollaborative Forschungszentren und andere Formen der interdisziplinären Zusammenarbeit umgesetzt werden. Im Hinblick auf die Einführung von Technologien gibt es weiterhin den Trend, dass Bergbauunternehmen ein breites Spektrum von Partnern einbinden und mit ihnen zusammenarbeiten, einschließlich OEMs, Technologie-Dienstleistern, Startups und anderen Zulieferern, die nun ebenfalls dazu tendieren, sich durch neuartige Kooperationswege auf die sich schnell entwickelnden neuen Technologien zu konzentrieren (14). In beiden Bereichen erweist sich eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit als ein grundlegender Aspekt von Innovation und der nachhaltigen Integration neuer Technologien.

Implikationen für deutsche Zulieferer

Welche Rolle spielen vor diesem Hintergrund die Zulieferer und welche Auswirkungen hat dies auf die deutschen Bergbautechnologie- und Dienstleistungsanbieter (mining technology and service providers, METS), um die Bergbauindustrie im Zeitalter der kooperativen Innovation voranzubringen?

Nach Ansicht von Peter McCarthy von AMC Consultants werden die meisten Probleme von kleinen METS-Unternehmen gelöst, sodass davon auszugehen ist, dass sie eine Schlüsselrolle bei der Förderung der gesamten Branche spielen werden. Nach Einschätzung von Ben Adair, CEO des CRC ORE, einem kollaborativen Forschungszentrum in Australien, haben Bergbauunternehmen, Zulieferer und METS-Unternehmen die besten Chancen, die Branche zukunftssicher zu machen, indem sie gemeinsam an der Innovation der Branche arbeiten und Probleme gemeinsam angehen. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist, laut Len Eros, Global Mining Manager für den Bereich Motion Business bei ABB, dass bei einer Zusammenarbeit zwischen einem Endanwender und einem OEM oder Forschungsteam die Ergebnisse besonders erfolgreich sein können, da die verschiedenen Teammitglieder unterschiedliche Sichtweisen und unterschiedliches Problemverständnis einbringen. Die Vielfalt dieser Teams erfordert ein offeneres Denken, was zu neuen Lösungsansätzen führt (15).

Zahlreiche Akteure der Bergbauindustrie sind heute bereits schon in eine Reihe von Forschungspartnerschaften und Innovationsnetzwerken eingebunden, die nach technologischen Lösungen für die von den Bergwerksbetreibern formulierten spezifischen Herausforderungen suchen. Daher ist auch die Förderung der Zusammenarbeit zwischen deutschen Zulieferern, auch um gemeinsam Systemlösungen zu entwickeln, die internationalen Bergwerksbetreibern angeboten werden können, ein wichtiger Ansatz, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig zu sichern. Da die Integration neuer Technologien in bestehende Prozesse immer komplexer wird, bevorzugen die Bergwerksbetreiber derartige Systemlösungen anstelle von Einzel- oder Inselösungen. Diese Lösungen müssen jedoch in der Zusammenarbeit erarbeitet werden, und dabei spielt die Weiterentwicklung von Standards wie OPC UA eine zentrale Rolle, um das IIoT im Bergbau weiter voranzubringen.

Fig. 4. The Smart Mining Conference takes place every two years in Aachen. The next will be in autumn 2021. Bild 4. Die Smart Mining Conference findet alle zwei Jahre in Aachen statt. Der nächste Termin ist im Herbst 2021. Source/Quelle: RWTH Aachen

content and meaning of the term. In addition, some of the challenges associated with Smart Mining are discussed and highlighted. These go beyond the technologies to be deployed and also concern the process of development, introduction and sustainable adaptation. Some of the future areas of research and innovation were also addressed, with particular emphasis on the aspect of new collaborative working methods as a future way to successfully develop the mining industry towards a smarter and more sustainable extraction of the required raw materials. Subsequently, some implications for German suppliers were outlined and suggestions for future orientation and development were made. The need for suppliers and mine operators to work together in innovation networks and cooperative research centres could be a key factor in advancing the industry as a whole and to be able to harness the potential of technological innovation and intelligent mining in a sustainable manner.

As complementary information, it should be noted that the AMT, in cooperation with VDMA Mining and DMT GmbH & Co. KG, organizes the "Smart Mining Conference" every two years to promote cooperation within the industry and provide a platform where new technological advances can be presented and discussed with an international audience (Figure 4). The next Smart Mining Conference will take place in November 2021 in Aachen/Germany, and will provide industry experts, start-ups and technology providers with an excellent opportunity to present new solutions and promote cooperation at national and international levels.

As further complementary information, the mining company Anglo American has created a framework with its FutureSmart Mining™ project to embody a visionary approach in which technology, digitalization and sustainability go hand in hand (16). The goal of this approach is to enable innovations that can fundamentally change the way mining operates, if necessary, and significantly reduce the environmental footprint while making mining safer and more productive. The corresponding "FutureSmart Mining Forum", which is organized by Anglo American at regular intervals, has already become an important platform for promoting cooperation and innovation in the industry.

What is clear from this initiative and the discussion in international forums is that a clear vision for reducing the environmental impact of mining while improving productivity and safety are the common characteristics for future mining. Although the ex-

Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Artikel bietet einen Überblick über verschiedene Aspekte von Smart Mining und erläutert Ansätze zur Beschreibung des vielfältigen Inhalts und der Bedeutung des Begriffs. Darüber hinaus werden einige der mit Smart Mining verbundenen Aufgabenstellungen erörtert und aufgezeigt. Diese gehen über die einzusetzenden Technologien hinaus und betreffen auch den Prozess der Entwicklung, Einführung und der nachhaltigen Adaption. Es wurden zudem einige der Zukunftsbereiche von Forschung und Innovation angesprochen, wobei insbesondere der Aspekt neuer kollaborativer Arbeitsmethoden als künftiger Weg zur erfolgreichen Weiterentwicklung der Bergbauindustrie hin zu einer intelligenteren und nachhaltigeren Gewinnung der benötigten Rohstoffe hervorgehoben wurde. Anschließend wurden einige Implikationen für deutsche Zulieferer skizziert und Vorschläge für die zukünftige Ausrichtung und Entwicklung gemacht. Die Notwendigkeit der Zusammenarbeit zwischen Zulieferern und Bergwerksbetreibern in Innovationsnetzwerken und Kooperations-Forschungszentren kann sich als Schlüsselfaktor erweisen, um die Industrie als Ganzes voranzubringen und das Potential der technologischen Innovation und des intelligenten Bergbaus nachhaltig nutzen zu können.

Als ergänzende Information sei darauf hingewiesen, dass das AMT in Zusammenarbeit mit dem VDMA Mining und der DMT GmbH & Co. KG alle zwei Jahre die „Smart Mining Conference" veranstaltet, um die Zusammenarbeit innerhalb der Branche zu fördern und eine Plattform zu bieten, auf der neue technologische Fortschritte einem internationalen Publikum vorgestellt und diskutiert werden können (Bild 4). Die nächste Smart Mining-Konferenz findet im November 2021 in Aachen statt und bietet Branchenexperten, Start-ups und Technologieanbietern einen professionellen Rahmen, um neue Lösungen vorzustellen und die Zusammenarbeit auf nationaler und internationaler Ebene zu fördern.

Als weitere ergänzende Information ist zu berichten, dass das Bergbauunternehmen Anglo American mit seinem FutureSmart Mining™-Projekt einen Rahmen geschaffen hat, um einen visionären Ansatz zu fördern, bei dem Technologie, Digitalisierung und Nachhaltigkeit Hand in Hand gehen (16). Das Ziel dieses Ansatzes ist es, Innovationen zu ermöglichen, welche die Funktionsweise des Bergbaus ggf. auch grundlegend verändern, den ökologischen Fußabdruck signifikant verringern und gleichzeitig den Bergbau sicherer und produktiver machen. Das entsprechende „FutureSmart Mining Forum", das von Anglo American in regelmäßigen Abständen organisiert wird, ist bereits zu einer wichtigen Plattform für die Förderung von Zusammenarbeit und Innovation in der Branche geworden.

Was aus dieser Initiative und der Diskussion in internationalen Foren deutlich wird, ist, dass eine klare Vision zur Verringerung der Umweltauswirkungen des Bergbaus bei gleichzeitiger Verbesserung der Produktivität und Sicherheit die gemeinsamen Merkmale für den zukünftigen Bergbau darstellen. Obwohl die Gewinnung von Rohstoffen immer einen Eingriff in die Natur bedeutet, wird der Bergbau von morgen zunehmend unter Tage stattfinden und über Tage kaum mehr sichtbar sein (17).

Wahrscheinlich werden die drohende Gefahr des Klimawandels und Schwierigkeiten bei der Wasserversorgung die Art und

traction of raw materials always means an intervention in nature, tomorrow's mining will increasingly take place underground and will be almost invisible above ground (17).

It is likely that the threat of climate change and difficulties in water supply will lead to even more rapid transformations in the way modern mining is conducted. The bottom line, one can say with certainty, is that operators will find ways to make their mines fit for the future by integrating new, adapted technologies in order to secure their economic goals and their "social license to operate" in the long term.

Weise, wie moderner Bergbau betrieben wird, schnell verändern. Unterm Strich, so lässt sich mit Gewissheit sagen, werden Betreiber Wege finden, ihre Bergwerke durch die Integration neuer, angepasster Technologien zukunftsfähig zu gestalten, um dadurch ihre wirtschaftlichen Ziele und ihre „Social License to Operate" nachhaltig zu sichern.

References / Quellenverzeichnis

(1) www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity
(2) www.miningmagazine.com/innovation/news/1383087/thinking-ahead
(3) www.mining.com/miners-need-to-adopt-next-generation-values-to-battle-reputation-crisis-says-anglo-american-boss/?utm_source=Daily_Digest&utm_medium=email&utm_campaign=MNG-DIGESTS&utm_content=miners-need-to-adopt-nextgeneration-values-to-battle-reputation-crisis-says-anglo-american-boss
(4) www.miningmagazine.com/innovation/news/1383087/thinking-ahead
(5) www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity
(6) www.miningmagazine.com/partners/partner-content/1372645/what-makes-mine-smart
(7) www.miningmagazine.com/partners/partner-content/1372645/what-makes-mine-smart
(8) www.energieagentur.nrw/eanrw/smart_mining_im-gespraech_mit_dr_elisabeth_clausen
(9) www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-mining-market-100246
(10) www.miningmagazine.com/innovation/news/1383087/thinking-ahead
(11) www.miningmagazine.com/editor-s-comment/opinion/1373879/the-future-of-mining-is-underground
(12) www.miningmagazine.com/innovation/news/1383087/thinking-ahead
(13) www.amt.rwth-aachen.de/en/home.html
(14) www.miningmagazine.com/innovation/news/1383087/thinking-ahead
(15) www.miningmagazine.com/innovation/news/1371836/disrupting-mining-calls-for-more-collaboration
(16) www.angloamerican.com/futuresmart/futuresmart-mining
(17) www.futurelab-aachen.de/en/schlauer-schuerfen/

Authors / Autoren

Aarti Sörensen M. A., Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus,
Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen,
Institute for Advanced Mining Technologies (AMT),
RWTH Aachen University, Aachen/Germany

Smart Mining – Interview with Prof. Elisabeth Clausen

Mining Report Glückauf (MRG): In the article you are quoted as saying that the mining industry of the future will leave a reduced ecological footprint. So, why is intelligent mining more sustainable?

Prof. Elisabeth Clausen: Meaningfully applied digitization will lead to a significant improvement compared to the incomplete and unreliable information available today about the deposit, the process and the use or condition of machinery. Moreover, connectivity will make it possible to make data more widely available, so that this information will no longer be available only for individual applications and processes, but can be used across the board.

The potential for improving sustainability – and by this, I mean quite explicitly the three pillars of economy, ecology and social – can be based precisely on this reduction of uncertainty. From this, optimizations can be derived, e.g., in terms of the utilization or maintenance of machines, but also

Smart Mining – Interview mit Prof. Elisabeth Clausen

Mining Report Glückauf (MRG): In dem Artikel sind Sie zitiert mit der Aussage, dass der Bergbau der Zukunft einen weniger starken ökologischen Fußabdruck hinterlassen wird. Warum ist ein intelligenter Bergbau denn auch nachhaltiger?

Prof. Elisabeth Clausen: Sinnvoll eingesetzte Digitalisierung wird dazu führen, dass die heute vorliegenden unvollständigen und unzuverlässigen Informationen über die Lagerstätte, den Prozess sowie den Maschineneinsatz oder auch -zustand erheblich verbessert werden können. Durch die Vernetzung können darüber hinaus Daten übergreifend verfügbar gemacht werden, sodass diese Informationen nicht mehr nur für einzelne Anwendungen und Prozesse zur Verfügung stehen, sondern übergreifend genutzt werden können.

Das Potential für eine Verbesserung der Nachhaltigkeit – und damit meine ich ganz explizit die drei Säulen Ökonomie, Ökologie und Soziales – kann genau auf dieser Reduktion von Unwissen basieren. Daraus können Optimierungen abgelei-

Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen leads the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) at RWTH Aachen University.
Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen leitet das Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen. Photo/Foto: Peter Winandy

in terms of improving selectivity in extraction. In this way, e.g., maintenance costs can be reduced or overall productivity increased. Furthermore, a reliable and good data base can increase energy and resource efficiency and improve occupational safety. This can be achieved, e.g., by using technologies for the localization and recognition of machines and persons with the aim of avoiding collisions or, more generally, by developing autonomous extraction processes so that people no longer have to stay in the immediate danger zone. By using automated systems, production can become more reliable, precise and efficient, and deposits (or parts of deposits), which cannot yet be mined in a technically and/or economically feasible way, can be exploited to a greater extent.

These are just a few examples. In fact, the connection between digitalized mining and its influence on improving the sustainability of the extraction process has never been systematically investigated anywhere. The AMT has therefore begun to systematically investigate this connection for the first time as part of a study commissioned by BGR.

It is important for me to say here that it is certainly not an automatism that modern, integrated technologies lead to more sustainable mining. It always depends on how these technologies are integrated into the overall process and are also accepted by the employees. I am convinced that future mining can become not only more economical and efficient but also more ecologically friendly and socially accepted through the use and application of digital technologies. However, the key remains the human being, who will still have to make important decisions, take responsibility and remain the one who determines the overall vision and direction, even in an almost "transparent" and automated mine.

tet werden, z.B. was den Einsatz, die Auslastung oder auch die Wartung von Maschinen angeht, aber auch die Verbesserung der Selektivität bei der Gewinnung. Somit können beispielsweise Instandhaltungs- oder Wartungskosten gesenkt oder insgesamt die Produktivität gesteigert werden. Ferner lassen sich durch eine gesicherte und gute Datenlage die Energie- und Ressourceneffizienz erhöhen sowie die Arbeitssicherheit verbessern. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von Technologien zur Lokalisierung und Erkennung von Maschinen und Personen mit dem Ziel der Vermeidung von Kollisionen erfolgen oder auch ganz allgemein durch die Entwicklung von autonomen Gewinnungsprozessen, sodass keine Personen sich mehr im unmittelbaren Gefahrenbereich aufhalten müssen. Durch den Einsatz automatisierter Systeme kann die Produktion verlässlicher, präziser und effizienter werden, Lagerstätten(-teile) können vermehrt abgebaut werden, die technisch und/oder wirtschaftlich bisher nicht gewinnbar sind.

Dies sind nur einige wenige Beispiele. In der Tat ist der Zusammenhang zwischen einem digitalisierten Bergbau und dessen Einfluss auf eine Verbesserung der Nachhaltigkeit des Gewinnungsprozesses noch nirgends systematisch untersucht worden. Das AMT hat daher im Rahmen einer Auftragsstudie der BGR erstmals begonnen, diesen Zusammenhang systematisch zu untersuchen.

Wichtig ist mir hier zu sagen, dass es jedoch mit Sicherheit kein Automatismus ist, dass moderne, vernetzte Technologien zu einer nachhaltigeren Gewinnung führen. Es kommt immer darauf an, wie diese Technologien in den Gesamtprozess integriert und auch von den Mitarbeitern akzeptiert werden. Ich bin davon überzeugt, dass der zukünftige Bergbau durch den Einsatz digitaler Technologien nicht nur wirtschaftlicher, sondern auch ökologisch verträglicher und sozial akzeptierter sein kann. Der Schlüssel bleibt jedoch der Mensch, der auch in einem nahezu „transparenten" und automatisierten Bergwerk nach wie vor wichtige Entscheidungen wird treffen müssen, die Verantwortung übernimmt und auch derjenige bleiben wird, der die Gesamtvision und die Richtung bestimmt.

MRG: Welche Konsequenzen hat diese Transformation im Hinblick auf das Arbeitsumfeld, die Tätigkeiten und die Anforderungen an die Beschäftigten? Ist der klassische Bergbauingenieur bald ein Auslaufmodell?

Prof. Clausen: Nein, natürlich wird der Bergbauingenieur kein Auslaufmodell sein, auch wenn wir tatsächlich einige der zukünftigen Berufsfelder und Aufgabenbereiche heute noch gar nicht im Detail kennen. Der Bergbauingenieur war aufgrund seiner generalistischen Ausbildung und Ausrichtung eigentlich schon immer gefragt, flexibel und anpassungsfähig zu sein und verschiedene Kompetenzen, Fachrichtungen und Disziplinen zu integrieren. Diese Kompetenz des Bergbauingenieurs als „Integrator" wird mit der Digitalisierung vermutlich sogar noch wichtiger werden. Um unterschiedliche Fachrichtungen zusammenbringen zu können, ist ein

MRG: What are the implications of this transformation in terms of the working environment, the activities and the demands on the employees? Will the classic mining engineer soon be a phase-out model?

Prof. Clausen: No, of course the mining engineer will not be a phase-out model, even if we today do not yet know in detail some of the future occupational fields and areas of responsibility. Because of the generalist education and orientation, the mining engineer has actually always been in demand to be flexible and adaptable and to integrate different competences, specializations and disciplines. This competence of the mining engineer as an "integrator" will probably become even more important with digitalization. In order to be able to bring together different disciplines, a broad and deep specialist knowledge is more important today than ever. And despite all the digitization, we must not forget that there are many competences and skills that machines cannot take over, but which are important for decision-making. It is precisely these competencies that must be at the heart of education and training today, which is why we are implementing modern, competence-oriented teaching and learning using a variety of different approaches. It is therefore particularly important that we educate and train engineers who are able to solve new and undefined, unstructured and complex problems.

Firstly, the acquisition of deep, well-founded disciplinary knowledge remains of central importance and must not be neglected in the discussion about social skills, leadership or entrepreneurial thinking. This is particularly important in view of the fact that increasing automation and digitization are moving us further and further away from the actual processes. However, and this is important to me, this specialist knowledge must not exist only as theoretical, passive knowledge, but must be applied during training and also transferred to new types of questions and problem sets.

Secondly, the topic of data competence, i.e. the safe and competent handling of data, is and will become increasingly important. This summer semester, e.g., we have set up a new course at the AMT which deals with "Data Analytics for Heavy Duty Equipment". Building on the foundations laid in the subjects "Measurement and Control" and "Introduction to Matlab", which deal with the acquisition, processing, evaluation and visualization of data, this subject is concerned with the meaningful use of data in the context of machinery and equipment in the raw materials industry.

As a third point, I would like to return to the topic of problem-solving skills. This also includes the ability to innovate and the sensitization for entrepreneurial thinking, i. e. the ability to develop solutions to problems in the form of novel processes, products or services that bring a real benefit and added-value to the extraction of raw materials and can lead to new business models. We are therefore also pursuing the approach of "innovation driven learning" and our world's first Learning Factory Mining 4.0, which is currently under construction, is an expression of this.

breites und tiefes Fachwissen heute wichtiger denn je. Und wir dürfen bei aller Digitalisierung nicht vergessen, dass es viele Kompetenzen und Fähigkeiten gibt, die Maschinen nicht übernehmen können, die aber für die Entscheidungsfindungen wichtig sind. Genau diese Kompetenzen müssen heute ins Zentrum der Ausbildung rücken, weshalb wir mit ganz unterschiedlichen Ansätzen eine moderne, kompetenzorientierte Lehre umsetzen. Deshalb ist es besonders wichtig, dass wir Ingenieure ausbilden, die in der Lage sind, auch neue, unstrukturierte und komplexe Probleme lösen zu können.

Erstens bleibt dabei die Erlangung eines tiefen, fundierten disziplinären Fachwissens von zentraler Bedeutung und darf nicht durch die Diskussion um soziale Kompetenzen, Führungsfähigkeit oder unternehmerisches Denken ins Hintertreffen geraten. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass wir uns durch die zunehmende Automatisierung und Digitalisierung immer weiter von den eigentlichen Prozessen entfernen. Jedoch, und das ist mir wichtig, darf dieses Fachwissen nicht nur als theoretisches, passives Wissen existieren, sondern muss bereits während der Ausbildung angewendet und auch auf neuartige Fragestellungen übertragen werden.

Zweitens ist und wird das Thema der Datenkompetenz, also der sichere und kompetente Umgang mit Daten, zunehmend wichtiger. In diesem Sommersemester haben wir am AMT beispielsweise ein neues Fach eingerichtet, welches sich mit „Data Analytics for Heavy Duty Equipment" befasst. Aufbauend auf den Grundlagen, die im Fach „Messen, Steuern, Regeln" und „Einführung in Matlab" gelegt werden, wo die Erfassung, die Verarbeitung sowie die Auswertung und Visualisierung von Daten im Mittelpunkt stehen, geht es in diesem Fach um eine sinnvolle Nutzung der Daten im Kontext der Maschinentechnik in der Rohstoffindustrie.

Als dritten Punkt möchte ich auf das Thema der Problemlösungskompetenz zurückkommen. Dazu gehört auch die Innovationsfähigkeit und die Sensibilisierung für unternehmerisches Denken, also die Fähigkeit, Lösungen für Probleme in Form von neuartigen Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen zu entwickeln, die einen realen Nutzen für die Rohstoffgewinnung bringen und zu neuen Geschäftsmodellen führen können. Wir verfolgen daher auch den Ansatz des „innovation driven learning" und unsere, derzeit im Aufbau begriffene weltweit erste Learning Factory Mining 4.0, ist Ausdruck dafür.

MRG: Was denken Sie, sind die größten Herausforderungen für die Weiterentwicklung des intelligenten Bergbaus?

Prof. Clausen: Einerseits sehe ich noch große Herausforderungen bei der Generierung und Bereitstellung qualitativ hochwertiger, sinnvoll nutzbarer Daten. Hierfür ist es wichtig, Sensortechnik zu entwickeln, die den rauen Umgebungsbedingungen und den Besonderheiten des Bergbaus gewachsen ist. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Entwicklung geeigneter Algorithmen und Modelle, beispielsweise unter Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz, vor-

MRG: What do you think are the biggest challenges for the further development of intelligent mining?

Prof. Clausen: On the one hand, I still see major challenges in generating and providing high-quality, meaningful data. For this it is important to develop sensor technology that can cope with the harsh environmental conditions and the special features of mining. In addition, it is necessary to use suitable algorithms and models, e.g., using artificial intelligence, which are capable of converting this data into meaningful information. Verifying and validating these algorithms and models, i.e. checking whether the right data are acquired correctly and if correct and meaningful information from these data are derived correctly is certainly also one of the major difficulties. We also have to ask ourselves which data are meaningful and usable and which benefit should and can be achieved. This also means that the goal cannot be to continuously increase the amount of data with the expectation of producing better information, but rather to reduce it to the essential data that can be sensibly handled in practice. This is also necessary in the end to reduce complexity for the decision maker.

On the other hand, the interoperability and standardization of machine-to-machine communication, e.g., within the framework of OPC UA also plays an important role in this context. The establishment of an IIoT infrastructure with the associated platforms and data communication structures is also a central challenge. The area of data security – also cyber security – must be addressed as well as the question of data ownership: who owns the data, to how permissive are the individual companies involved in the processes with the data and in what format is the data transmitted, since ultimately only integrated, networked data can be used effectively.

Many of these challenges cannot be solved in isolation, but only in cooperation. Universities can play an important role here, both in the development of new technologies as well as in education, training and professional development. In addition, with the Smart Mining Conference held every two years, we offer an increasingly internationally attended platform, which is intended in particular to promote networking and exchange. Not only are innovative solutions presented there, the platform also offers a good and popular opportunity for networking between mining companies, OEMs, technology service providers and research, thus making a direct contribution to innovation.

The future can be smart and connected, but it also requires a high level of social competence and interaction to integrate different disciplines, actors and perspectives and to successfully implement collaborative innovation. Machines cannot achieve all this. Creative, committed and well-trained specialists and managers are needed to shape these developments and we hope that with our institute we will contribute to ensuring that the mining industry of the future will not only be technologically possible, but that it can also be designed and sustainably implemented by qualified and competent people.

anzubringen, die in der Lage sind, diese Daten in sinnvolle Informationen umzuwandeln. Diese Algorithmen und Modelle zu verifizieren und zu validieren, also zu überprüfen, ob tatsächlich auch die richtigen Daten korrekt erfasst und aus diesen Daten die richtigen Informationen abgeleitet werden, ist mit Sicherheit ebenfalls eine der großen Schwierigkeiten. Dabei müssen wir uns auch fragen, welche Daten sinnvoll und brauchbar sind und welcher Nutzen erzielt werden soll und kann. Dies bedeutet auch, dass es nicht das Ziel sein kann, die Masse an Daten kontinuierlich zu steigern mit der Erwartung bessere Informationen zu erzeugen, sondern diese auf die wesentlichen und auch im Betrieb handhabbaren Daten sinnvoll zu reduzieren. Dies ist letztlich auch erforderlich, um die Komplexität für den Entscheider zu reduzieren.

Andererseits spielt die Interoperabilität und in diesem Zusammenhang auch die Standardisierung der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, beispielsweise im Rahmen von OPC UA eine wichtige Rolle. Genauso ist auch die Etablierung einer IIoT-Infrastruktur mit den zugehörigen Plattformen und Datenkommunikationsstrukturen eine zentrale Herausforderung. Der Bereich der Datensicherheit – auch Cyber Security – muss gleichermaßen adressiert werden, wie auch die Frage des Dateneigentums: Wem gehören die Daten, wie freizügig sind die einzelnen in den Prozessen beteiligten Unternehmen mit den Daten und in welcher Form werden sie übermittelt, da sich letztlich nur integrierte, vernetzte Daten sinnvoll nutzen lassen.

Viele dieser Herausforderungen lassen sich nicht im Alleingang, sondern nur gemeinsam lösen. Universitäten können hierbei eine wichtige Rolle spielen, sowohl bei der Entwicklung von neuen Technologien, als auch bei der Aus- und beruflichen Weiterbildung. Darüber hinaus bieten wir mit der Smart Mining-Konferenz alle zwei Jahre eine zunehmend auch international besuchte Plattform an, die insbesondere den Austausch fördern soll. Dort werden nicht nur innovative Lösungsansätze präsentiert, die Plattform bietet auch eine gute und gern genutzte Möglichkeit zur Vernetzung von Bergbauunternehmen, OEM's, Technologie-Dienstleistern und der Forschung und leistet damit einen direkten Beitrag zur Innovationsfähigkeit.

Die Zukunft kann smart und vernetzt sein, aber sie erfordert auch ein hohes Maß an sozialer Kompetenz und Interaktion zur Integration verschiedener Disziplinen, Akteure und Sichtweisen sowie zur erfolgreichen Umsetzung kollaborativer Innovation. All dies können Maschinen nicht leisten. Es braucht kreative, engagierte und gut ausgebildete Fach- und Führungskräfte, um diese Entwicklungen zu gestalten und wir hoffen, dass wir mit unserem Institut einen Beitrag dazu leisten, dass der Bergbau der Zukunft nicht nur technologisch möglich sein wird, sondern auch von qualifizierten und kompetenten Menschen gestaltet und nachhaltig umgesetzt werden kann.