

Mining 4.0 – Importance of Industry 4.0 for the Raw Materials Sector

Today, it seems like everyone is talking about Industry 4.0 concept. However, only a few know what really is behind it: The Federal Government has set a goal to advance Germany with its high-tech strategy towards becoming a global innovation leader. The concept of Industry 4.0 is one of ten future projects that makes a featuring part of this “new high-tech strategy”.

A reliable, sustainable and transparent raw material supply of the economy is of great importance for the development of future technologies. Economic strategic resources enable industrial production processes and innovations and are therefore indispensable for the German high-tech production centers.

In this light, the concept of Mining 4.0 provides the link between Industry 4.0 and the research and development activities for Smart Mining. The Mining 4.0 concept explains well that the German mining supply industry can only exist on the international market if a reliable technology is combined with high-tech and innovative business models to create new products.

Within the scope of this article, the background of Mining 4.0 will be discussed and a link will be established with the current research for the German mining industry. This article defines the basic objectives of Mining 4.0 and discusses the core technologies required for this.

Bergbau 4.0 – Die Bedeutung der Industrie 4.0 für den Rohstoffsektor

Der Begriff Industrie 4.0 ist derzeit in aller Munde. Dennoch wissen eigentlich nur wenige, was wirklich dahintersteckt: Die Bundesregierung hat sich mit Ihrer Hightech-Strategie zum Ziel gesetzt, Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen. Der Begriff „Industrie 4.0“ ist eines von zehn Zukunftsprojekten im Rahmen dieser „Neuen Hightech-Strategie“.

Für die Entwicklung von Zukunftstechnologien ist eine zuverlässige, nachhaltige und transparente Rohstoffversorgung der Wirtschaft von Bedeutung. Wirtschaftsstrategische Rohstoffe ermöglichen industrielle Produktionsprozesse sowie Innovationen und sind daher für den Hightech-Standort Deutschland unverzicht-

bar. Vor diesem Hintergrund stellt der Begriff „Bergbau 4.0“ die Verbindung von Industrie 4.0 und den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich Smart Mining her. Bergbau 4.0 soll deutlich machen, dass die deutsche Bergbauzulieferindustrie nur dann am internationalen Markt bestehen kann, wenn sich zuverlässige Technologie mit Hightech und innovativen Geschäftsmodellen zu neuen Produkten verbindet.

Im Rahmen dieses Artikels wird auf die Hintergründe von Bergbau 4.0 eingegangen und eine Verbindung zu der aktuellen Forschung für die deutsche Bergbaumaschinenindustrie hergestellt. Es werden die grundsätzlichen Ziele von Bergbau 4.0 definiert und die hierfür benötigten Kerntechnologien diskutiert.

1 Industry 4.0 versus Mining 4.0

The Industry 4.0 term is currently widely quoted. With its high-tech strategy (HTS), the Federal Government has set a goal to advance Germany with its high-tech strategy towards becoming a global innovation leader. The concept of Industry 4.0 gives this strategy an industrial face. It is focused on autonomous production processes and a high degree of individualized production up to a batch size (1).

For the raw material sector, Mining 4.0 does not mean a one-to-one transfer of the Industry 4.0 objectives to industrial raw material production. Rather, Mining 4.0 means the advance of automation during extraction, transportation and processing. This is because it is only possible to achieve an economic raw

1 Industrie 4.0 versus Bergbau 4.0

Der Begriff „Industrie 4.0“ wird derzeit viel zitiert. Die Bundesregierung hat sich mit ihrer Hightech-Strategie (HTS) zum Ziel gesetzt, Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen. Industrie 4.0 gibt dieser Strategie für das industrielle Umfeld ein Gesicht. Im Fokus stehen autonom verlaufende Produktionsprozesse und ein hoher Grad an individualisierter Fertigung bis hin zur Losgröße Eins (1).

Für den Rohstoffsektor bedeutet Bergbau 4.0 nicht eins zu eins die Übertragung der Ziele der Industrie 4.0 auf die industrielle Rohstoffgewinnung. Vielmehr bedeutet Bergbau 4.0 das Vorantreiben der Automation bei Gewinnung, Transport und Aufbereitung. Denn eine wirtschaftliche Rohstoffgewinnung setzt in westlichen

material production in Western high-wage countries through the automation of highly productive mechanized mining operations. In addition, resource-sparing and sustainable raw material production is only possible with a high degree of selective mining, which saves costs for transportation, treatment and disposal of economically unusable minerals (waste) (2).

Another aspect of Mining 4.0 is the “low-impact mine” in densely populated agglomerations: a mine with minimal negative impact on the environment and the urban areas, neighboring the industrial consumers of the raw materials. Here, too, high productivity, high security and efficient resource consumption are expected (3).

To meet the objectives of Mining 4.0 (Figure 1)

1. selective production of raw materials;
2. autonomous production, transport and processing; and
3. minimal impact on man and the environment

require great efforts in the field of sensor technology and machine-to-machine (M2M) communication (4). M2M stands for the automated exchange of information between devices, such as machines, vehicles or containers, or with a central control unit, increasingly using the Internet and the various access networks such as the mobile network.

In contrast to automation, autonomous devices operate with a set objective, but within their own decision-making space for achieving these objectives (5). Autonomous devices therefore need a variety of sensors and an artificial intelligence. The Artificial Intelligence (AI) evaluates all available sensor data (Sensor Model) and, within the limits of the permitted degrees of freedom, independently generates the decision as to which actuators are set (Actor Model) (6).

Thus, the above-mentioned main objectives of Mining 4.0 result in the following technology objectives (Figure 2):

1. Ruggedized sensor;
2. M2M communication; and
3. Artificial Intelligence.

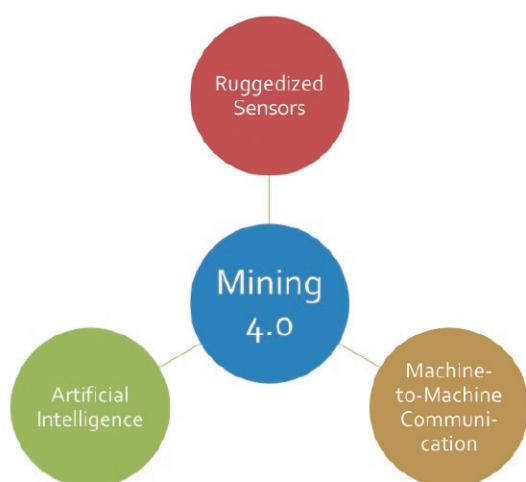


Fig. 2. Core-Technologies for Mining 4.0.

Bild 2. Kern-Technologien von Bergbau 4.0.



Fig. 1. The top three challenges for Mining 4.0.

Bild 1. Die drei wichtigsten Ziele von Bergbau 4.0.

Hochlohnländern die Automation von hochproduktiven mechanisierten Gewinnungsbetrieben voraus. Zudem ist eine ressourcenschonende und nachhaltige Rohstoffgewinnung nur durch einen Höchstgrad an selektiver Gewinnung möglich, bei der Kosten für Transport, Aufbereitung und Entsorgung von wirtschaftlich nicht nutzbarem Mineral (Abraum) eingespart werden (2).

Ein weiterer Aspekt von Bergbau 4.0 stellt die „Low-Impact-Mine“ in dicht besiedelten Ballungsräumen dar: ein Bergwerk mit minimal negativen Auswirkungen auf Umwelt und das urbane Umfeld, nahe bei den industriellen Abnehmern der Rohstoffe. Auch hier lauten die Erwartungen: hohe Produktivität, hohe Sicherheit und effizienter Ressourcenverbrauch (3).

Um die Ziele von Bergbau 4.0 (Bild 1)

1. selektive Rohstoffgewinnung,
 2. autonome Gewinnung, Transport und Aufbereitung sowie
 3. minimale Auswirkungen auf Mensch und Umwelt
- zu erreichen, bedarf es großer Anstrengungen im Bereich der Sensorik und der Maschine zu Maschine (M2M)-Kommunikation (4). M2M steht hierbei für den automatisierten Informationsaustausch zwischen Endgeräten wie Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Containern untereinander oder mit einer zentralen Leitstelle, zunehmend unter Nutzung des Internets und den verschiedenen Zugangsnetzen, wie dem Mobilfunknetz.

Im Gegensatz zur Automation arbeiten autonome Endgeräte mit einer Zielstellung, aber mit eigenem Entscheidungsfreiraum für die Erreichung dieser Ziele (5). Autonome Endgeräte brauchen daher eine Vielzahl an Sensorik und eine Künstliche Intelligenz. Die Künstliche Intelligenz (Artificial Intelligence – AI) wertet alle verfügbaren Sensordaten aus (Sensor Model) und generiert im Rahmen der zugelassenen Freiheitsgrade selbstständig eine Entscheidung, welche Aktoren wie gesetzt werden (Actor Model) (6).

Somit ergeben sich für die zuvor genannten Hauptziele von Bergbau 4.0 die folgenden Technologieziele (Bild 2):

1. Ruggedized Sensorik,
2. Maschine zu Maschine (M2M)-Kommunikation und
3. Künstliche Intelligenz.



Fig. 3. None-Technical Challenges for Mining 4.0.
Bild 3. Nicht-Technische Herausforderungen an den Bergbau 4.0.

In addition to the mentioned Mining 4.0 core technologies, there are also many further requirements for future mining projects. These are primarily the issues of security, environmental impact, cost-effectiveness and social acceptance (Figure 3).

As part of the German Information Society 2010 (iD2010) initiative and the ICT 2020 research promotion program, the Internet of Things (IoT) and M2M communication call for special research needs and significant opportunities for the economy (7).

2 Internet of Things

The 4th Industrial Revolution – Industry 4.0 – is driven by modern information and communication technologies (ICT), which are becoming more and more popular in industrial automation sector. In distributed, intelligent systems, both physical real systems and virtual digital data merge into Cyber Physical Systems (CPS). These CPS are networked and form “smart” objects, which are aggregated into the “smart mine”. With increasing computing power and communication capacity that CPS use to organize themselves, they have (self-contained) all the necessary information or can procure it independently. The systems are networked and autonomous, they configure and optimize themselves and can be extended without engineering (plug-and-produce). The virtual images are carried along within the production process throughout the entire production and product lifecycle as well as through the entire value chain and always represent the current state of the CPS. Such smart machines and systems are networked with each another via the IoT (Figure 4) and react to internal and external events with learned behavioral patterns (8).

In the early 1990s, Mark Weiser, the senior scientist at the Xerox research center in Silicon Valley, coined the term “ubiquitous computing” for the expected penetration of the world with information technology. In his visionary article, “The Computer for the 21st Century” (9), Weiser once more identified the ubiquitous computer, which invisibly and unobtrusively supports people in their activities and frees them from routine tasks. In the process, the computer as a visible device, according to Weiser’s

Neben den genannten Kerntechnologien von Bergbau 4.0 gibt es auch noch eine Anzahl von weiteren Anforderungen an zukünftige Bergwerksprojekte. Dies sind vor allem die Themen Sicherheit, Einfluss auf die Umwelt, Wirtschaftlichkeit und soziale Akzeptanz (Bild 3).

Im Rahmen der Initiative Informationsgesellschaft Deutschland 2010 (iD2010) und des Forschungsförderungsprogramms IKT 2020 werden für das Internet der Dinge und die M2M-Kommunikation ein besonderer Forschungsbedarf und signifikante Chancen für die Wirtschaft gesehen (7).

2 Das Internet der Dinge

Die vierte industrielle Revolution – Industrie 4.0 – ist getrieben von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), die immer mehr Einzug in die Industrieautomatisierung halten. In verteilten, intelligenten Systemen verschmelzen physikalische reale Systeme und virtuelle, digitale Daten zu Cyber Physical Systems (CPS). Diese CPS werden vernetzt und bilden „smarte“ Objekte, die bis hin zum smarten Bergwerk (Smart Mine) zusammengestellt werden. Mit zunehmender Rechenleistung und Kommunikationskapazität organisieren sich CPS selbst, sie besitzen (self-contained) alle nötigen Informationen bzw. können sich diese selbstständig beschaffen. Die Systeme sind vernetzt und autonom, sie konfigurieren und optimieren sich selbst und sind ohne Engineering erweiterbar (plug-and-produce). Über die gesamte Produktions- und Produktlebenszeit und durch die gesamte Wertschöpfungskette werden die virtuellen Abbilder innerhalb des Produktionsprozesses mitgeführt und repräsentieren immer den aktuellen Zustand des CPS. Solche smarten Maschinen und Anlagen sind im Internet der Dinge (Internet of Things – IoT) miteinander vernetzt (Bild 4) und reagieren mit erlernten Verhaltensmustern auf interne und externe Ereignisse (8).

Für die zu erwartende Durchdringung der Welt mit Informationstechnologie prägte Mark Weiser – seinerzeit leitender Wissenschaftler am Xerox-Forschungszentrum im Silicon Valley – bereits Anfang der 1990er Jahre den Begriff „Ubiquitous Computing“. Weiser erkannte früh das Potential, das im nachhaltigen Fortschritt der Mikroelektronik und Informatik liegt, und propagierte in seinem visionären Artikel „The Computer for the 21st Century“ (9) den ubiquitären Computer, der den Menschen unsichtbar

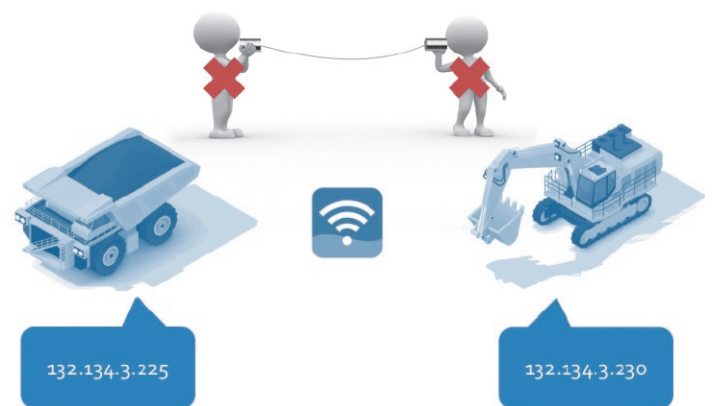


Fig. 4. IoT is the base for machine-to-machine communication.
Bild 4. IoT-Maschinen kommunizieren über (kabellose) Internet-Technologie.

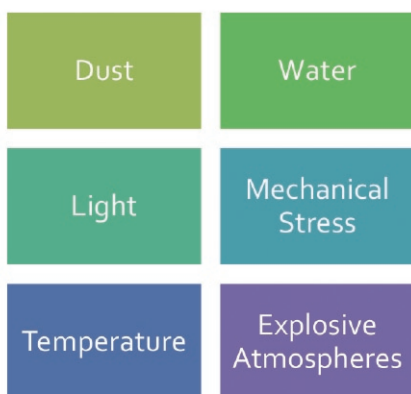


Fig. 5. Environmental conditions for ruggedized sensors in mining.
Bild 5. Umgebungsbedingungen, die hohe Anforderungen an ruggedized Sensorik im Bergbau stellen.

conception, is to go into the background or to disappear completely by merging with the things, which process information in the sense of “electronic background assistance” but are everywhere available.

Marc Weiser’s visionary statement “in the 21st century the technology revolution will move into the everyday, the small and the invisible” can be interpreted in terms of Mining 4.0 today in two ways: small and inexpensive processors, sensors, memory and communication modules can be integrated into machines, components and systems, which is known as Cyber Physical Systems (see above) and provide support in the form of auxiliary systems. If, on the other hand, the environment, that is, the mine workings, is thus obtained, so-called sensor networks are obtained, too.

3 Ruggedized sensor

A reliable sensor system is a prerequisite for the automation and autonomation of machines and processes. Here, the mining industry makes extremely high demands. While embedded sensors, which are installed on a machine/system, where the factors of vibration and temperature are of particular importance, the environmental sensors are also resistant to dust, water, light, mechanical stress and fluctuating temperature ranges as well as explosion-proof, if necessary (Figure 5).

Embedded sensors have long been used as input variables for control and monitoring applications in machines and systems. Embedded sensors are also increasingly used in the condition diagnostics of machine and system components.

Environment sensors or sensor networks are used in the mining industry to record the state or properties of the environment within the mine workings.

The environmental sensor system includes such tasks as

- position determination, e.g., positioning, collision avoidance → mine model;
- material determination, e.g., material identification, boundary layer detection, material quality → mineral deposit model;
- ventilation determination, e.g., temperature, quality, flow rates, → entilation model;
- mine water determination, e.g., water level, water quality, flow rate → mine water model.

und unaufdringlich bei seinen Tätigkeiten unterstützt und ihn von lästigen Routineaufgaben weitgehend befreit. Dabei soll der Computer als sichtbares Gerät nach Weisers Auffassung in den Hintergrund treten oder durch Verschmelzen mit den Dingen sogar ganz verschwinden, dessen informationsverarbeitende Funktionalität im Sinne einer „elektronischen Hintergrundassistenz“ aber überall verfügbar sein.

Die visionäre Aussage von Marc Weiser „in the 21st century the technology revolution will move into the everyday, the small and the invisible“ kann in Bezug auf den Bergbau 4.0 heute auf zwei Arten interpretiert werden. Kleine und preiswerte Prozessoren, Sensoren, Speicher und Kommunikationsmodule lassen sich einerseits in Maschinen, Komponenten und Anlagen integrieren, was als Cyber Physical Systems (vgl. oben) bezeichnet wird und leisten dort unterstützende Arbeit in Form von Assistenzsystemen. Stattet man andererseits die Umwelt, also das Grubengebäude, damit aus, erhält man sogenannte Sensornetze.

3 Ruggedized Sensorik

Eine sicher funktionierende Sensorik ist eine Grundvoraussetzung für die Automatisierung bzw. Autonomisierung von Maschinen und Prozessen. Hier stellt der Bergbau extrem hohe Anforderungen. Während bei embedded Sensoren, die in einer Maschine/Anlage verbaut werden, besonders die Faktoren Vibration und Temperatur von Bedeutung sind, kommen bei der Umfeldsensorik zusätzlich die Resistenz gegen Staub, Wasser, Licht, mechanische Beanspruchung und schwankende Temperaturbereiche sowie ggf. Explosionsschutz zum Tragen (Bild 5).

Embedded Sensoren werden schon lange als Eingangsgrößen für Steuer- und Regelaufgaben in Maschinen und Anlagen verwendet. Zunehmend finden sie aber auch Einsatz bei der Zustandsdiagnose von Maschinen- und Anlagenkomponenten.

Umfeldsensoren oder auch Sensornetzwerke werden im Bergbau zur Erfassung des Zustands oder von Eigenschaften der Umwelt innerhalb des Grubengebäudes genutzt.

Die Umfeldsensorik umfasst dabei Aufgaben wie:

- Positionsbestimmung, z.B. Positionierung, Collision Avoidance → Grubenmodell,
- Materialbestimmung, z.B. Materialerkennung, Grenzschichterkennung, Materialqualitäten → Lagerstättenmodell,
- Wetterbestimmung, z.B. Temperatur, Wetterqualitäten, Fließgeschwindigkeiten → Wettermodell,
- Wasserbestimmung, z.B. Pegelstände, Wasserqualitäten, Fließgeschwindigkeiten → Wassermodell.

Generell lassen sich bei der eingesetzten Sensorik im Bergbau folgende Trends erkennen:

1. Kleine Sensoren, die sich schnell und an möglichst vielen Stellen applizieren lassen (small, embedded).
2. Kabellose funkbasierte (wireless) Sensoren, die sich ohne großen Installationsaufwand und ohne Gefahr einer Kabelverletzung applizieren und miteinander vernetzen lassen (sensor network).
3. Energieautarke Sensoren, extrem energieeffizient und mit eigenen Powerpacks inkl. Energie-(rück)gewinnung (low energy, energy-harvesting) ausgestattet.

In general, the following trends can be identified in the field of sensor technology used in mining:

1. Small sensors that can be applied quickly and in as many places as possible (small, embedded).
2. Wireless radio-based sensors, which can be applied to each other without any major installation effort and without risk of cable damage (sensor network).
3. Energy self-sufficient sensors, extremely energy-efficient and equipped with own low-energy, energy-harvesting power-packs.

Sensor networks in environmental sensors are not yet widely used in mining. On the one hand, there is a lack of reliable sensors designed for the environmental conditions in the mining industry in order to fulfill the aforementioned tasks of the environment sensor technology. On the other hand, there is a lack of a communication infrastructure that allows for the integration of these sensor networks into the existing mine communication. Here, M2M communication is of particular importance.

4 Machine-to-machine (M2M) communication

The autonomous production processes within Industry 4.0 require a secure and standardized M2M communication. Today, sensors and actuators are integrated into the vast number of mining facilities via a fieldbus – depending on country-specific preferences, such as Modbus, Profibus/ProfiNet or EtherNet. However, there are always difficulties in the integration of fieldbuses. The clear definition of engineering interfaces, which are easy to use for all parties involved and allow to integrate different sensor systems into higher-level planning systems, is a decisive criterion, especially for use in complex and heterogeneous systems, such as a mine (10).

The Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA), first published in 2011 under the standard IEC 62541, provides such a communication stack for internet-based communication between machines and systems from different manufacturers.

The OPC UA relies on the IoT and defines the “language” with which machines exchange information using Internet technology. OPC UA was supplemented by subsequent three sections in 2015 (11).

OPC UA consists of a server stack and a client stack. The server provides the information of a machine/system via the defined services: Alarm, Data and History. The client accesses the server via the Internet with a protocol defined in OPC UA (`opc.tcp://<server_server_server_name>:4840`) (Figure 6).

Although OPC UA has a similar name to OPC – now also called OPC “Classic” – OPC UA is not a further development of OPC but a completely new technological development, which has only taken over some conceptual approaches from OPC. The weakness of OPC was that you had to rely on a proprietary protocol from Microsoft, and so you were limited to the MS Windows world. In addition, the protocol was not quite routable and thus, which made a worldwide data exchange over the Internet barely possible or only with high effort (4). For this reason, the TCP/IP protocol was regarded as a fully cross-platform communication layer in the development of OPC UA by the OPC Foundation. In

Sensornetzwerke bei der Umfoldsensorik sind im Bergbau noch nicht weit verbreitet. Zum einen fehlt es an zuverlässigen Sensoren, die auf die Umweltbedingungen im Bergbau ausgelegt sind, um die zuvor genannten Aufgaben der Umfoldsensorik zu erfüllen. Zum anderen fehlt es an einer Kommunikationsinfrastruktur, welche die Einbindung dieser Sensornetzwerke in die bestehende Bergwerkskommunikation ermöglicht. Hierbei kommt der M2M-Kommunikation eine besondere Bedeutung zu.

4 Maschine zu Maschine (M2M)-Kommunikation

Die autonomen Produktionsprozesse im Rahmen von Industrie 4.0 verlangen nach einer sicheren und standardisierten M2M-Kommunikation. Heute werden in der überwiegenden Zahl von Bergwerken Sensoren und Aktoren über einen Feldbus – je nach länderspezifischen Präferenzen z.B. Modbus, Profibus/ProfiNet oder auch EtherNet/IP – eingebunden. Bei der Integration von Feldbussen kommt es aber immer wieder zu Schwierigkeiten. Speziell für den Einsatz in umfangreichen und heterogenen Anlagen – wie sie ein Bergwerk darstellt – ist die eindeutige Definition von Engineering-Schnittstellen, die für alle Beteiligten einfach zu nutzen sind und die Einbindung verschiedener Sensoriken in übergeordnete bergwerksweite Planungssysteme möglich machen, ein entscheidendes Kriterium (10).

Die unter der Norm IEC 62541 im Jahr 2011 erstmals veröffentlichte Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) stellt einen solchen Kommunikations-Stack für die internet-basierte Kommunikation zwischen Maschinen und Anlagen unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung. Sie setzt auf das IoT und definiert die „Sprache“, mit der Maschinen untereinander mittels Internettechnologie Informationen austauschen. OPC UA wurde unter der Norm IEC 62541 im Jahr 2015 um weitere drei Kapitel ergänzt (11).

OPC UA besteht aus einem Server-Stack und einem Client-Stack. Der Server stellt die Information einer Maschine/Anlage über die definierten Dienste „Alarm“, „Data“ und „History“ zur Verfügung. Der Client greift über das Internet mit einem in OPC UA definierten Protokoll (`opc.tcp://<IP-Adresse_des_Servers>:4840`) auf den Server zu (Bild 6).

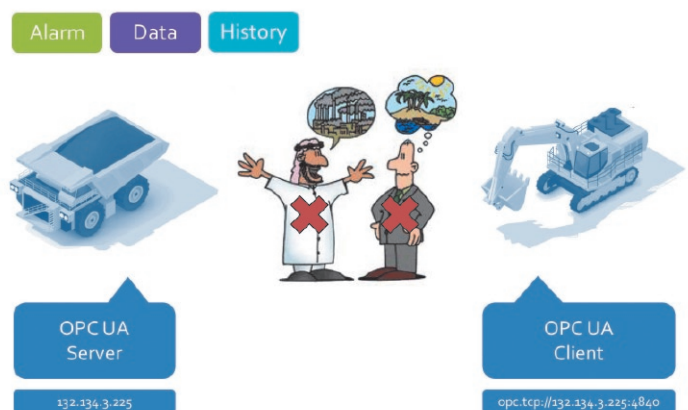


Fig. 6. M2M communication standard OPC UA.
Bild 6. OPC UA definiert die M2M-Kommunikation und kommuniziert über das IoT.

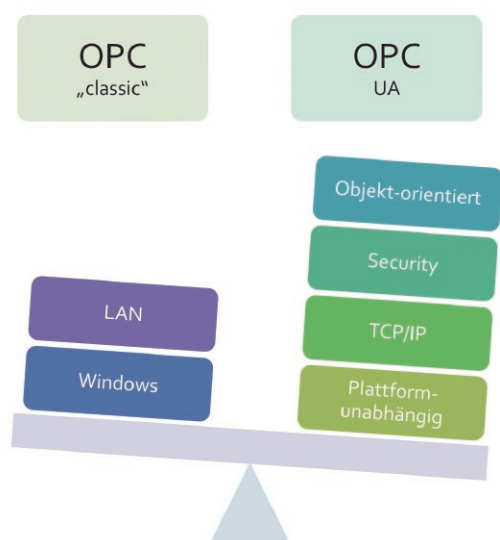


Fig. 7. Comparison OPC „Classic“ versus OPC UA.
Bild 7. OPC versus OPC UA, Vergleich der Kern-Technologien.

addition, all security technologies from the Internet are now also available in OPC UA (Figure 7).

5 Outlook

As a marketing concept, Mining 4.0, just as Industry 4.0 or Web 3.0, avoids scientific clarification. This clarification must, therefore, be made within the framework of scientific discourse and concrete measures in the industry. This article, thus, defines for the first time the main target of Mining 4.0, cites necessary core technologies and presents them for discussion. There is no question that if the supply of domestic raw materials in Europe is to be secured in the future, intensive efforts in the direction of autonomous mining will be needed. No Mining 4.0 is possible without the suitable sensor technology, which is, thus, utterly important for mining. In addition, manufacturer-independent M2M communication is another basic building block for Mining 4.0. As the development of the general IT landscape has already shown in the past, proprietary solutions from individual manufacturers would not be successful. OPC UA will play a central role here as a regular IEC standard for M2M communication.

Real autonomous mining systems are still in their infancy. First, primarily scientific, tests show the potential. NASA, e.g., holds the annual NASA Robotic Mining Competition (12). Likewise, the Luxembourg government has signed a MoU with the Planetary Resources in 2016, which deals with the commercial use of raw materials from space using robot miners (13).

Industrial examples of autonomous mining equipment can be found in the Mine of the Future project, which Rio Tinto launched in 2008 (14), as well as BHP Billiton's Next Generation Mining project (15). Both companies have established remote operation centers in Western Australia to improve worker productivity and achieve effective mine operations. In addition, the country focuses on establishing broadband networks to collect, monitor, and process data for process optimization. The network enables efficient use of resources, and facilitates efficient water and electricity usage for maintaining environmental and economic sustainability (16).

Obwohl OPC UA eine Namensähnlichkeit zu OPC – heute auch OPC „Classic“ genannt – besitzt, handelt es sich bei OPC UA nicht um eine Weiterentwicklung von OPC, sondern um eine technologisch komplett neue Entwicklung, die lediglich einige konzeptionelle Ansätze von OPC übernommen hat. Die Schwäche von OPC war, dass man auf ein proprietäres Protokoll von Microsoft gesetzt hatte, und man daher auf die MS Windows-Welt beschränkt war. Zudem war das Protokoll nicht beliebig routingfähig und damit z.B. ein weltweiter Datenaustausch über das Internet nicht bzw. nur mit hohem Aufwand möglich (4). Bei der Entwicklung von OPC UA durch die OPC-Foundation wurde daher auf TCP/IP als Kommunikationsschicht und auf vollständige Plattformunabhängigkeit Wert gelegt. Darüber hinaus sind alle Sicherheitstechnologien aus dem Internetumfeld nun auch in OPC UA verfügbar (Bild 7).

5 Ausblick

Als Marketingbegriff entzieht sich Bergbau 4.0 genauso wie Industrie 4.0 oder Web 3.0 einer wissenschaftlichen Präzisierung. Diese Präzisierung muss daher im Rahmen eines wissenschaftlichen Diskurses und konkreter Maßnahmen in der Industrie erfolgen. Dieser Beitrag definiert daher erstmalig die Hauptziele von Bergbau 4.0, nennt erforderliche Kerntechnologien und stellt sie zur Diskussion. Es steht außer Frage, dass, wenn die Versorgung mit heimischen Rohstoffen in Europa zukünftig gesichert werden soll, es intensivster Anstrengungen in Richtung autonomen Bergbaus bedarf. Der bergbautaughen Sensorik kommt dabei eine grundlegende Bedeutung zu, ohne sie wird es keinen Bergbau 4.0 geben. Daneben ist die herstellerunabhängige M2M-Kommunikation ein weiterer Grundbaustein für Bergbau 4.0. Proprietäre Lösungen einzelner Hersteller werden keinen Erfolg haben, wie die Entwicklung der allgemeinen IT-Landschaft bereits in der Vergangenheit gezeigt hat. OPC UA wird als genormter IEC-Standard für die M2M-Kommunikation eine zentrale Rolle spielen.

Echte autonome Mining-Systeme stecken noch in den Kinderschuhen. Erste – vorrangig wissenschaftliche – Versuche zeigen aber das Potential. So hält die NASA den jährlichen Wettbewerb „NASA Robotic Mining Competition“ ab (12). Ebenso hat die luxemburgische Regierung im Jahr 2016 ein MoU mit der Planetary Resources unterzeichnet, bei dem es um die kommerzielle Nutzung von Rohstoffen aus dem All mittels Robot Miners geht (13).

Industrielle Beispiele für autonome Bergbauausrüstungen gibt es im Mine of the future-Projekt, das Rio Tinto im Jahr 2008 gestartet hat (14) sowie im Next Generation Mining-Projekt von BHP Billiton (15). Beide Firmen haben Remote Control Operations eingerichtet mit dem Ziel, die Produktivität und die Sicherheit der Mitarbeiter zu steigern. Zudem haben beide Unternehmen einen Fokus auf den Aufbau einer Breitband-Netzwerkkommunikation gelegt, um Daten zu sammeln, auszuwerten und somit die Prozesse zu optimieren (16).

Der Tagebaubereich ist der am stärksten wachsende Sektor im Bergbau 4.0. Im Jahr 2014 hat er 63% der gesamten sogenannten Smart Mining-Aktivitäten ausgemacht. Die Adaption im Tagebau ist einfacher und die schweren Unfälle mit Trucks führten zur Entwicklung von „Autonomous Haulage Systems“ (14, 15, 16).

Allied Market Research (AMR), hat in seiner im Jahr 2016 erschienenen Studie „Smart Mining Market by Type and Category –

The surface mining segment is the biggest segment accounting for 63% of the market share in 2014. It is predicted to be the fastest growing segment for so called smart mining technology because of higher adoption, which is driven by more number of fatal accidents in the past. (14, 15, 16)

Allied Market Research (AMR), in its report on the mining industry titled "Smart Mining Market by Type and Category – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022" has predicted that the smart mining market would grow at a CAGR of 14.9% to reach 15,837 m US\$ by 2022 (16).

Mining 4.0 is not only a vision but, in parts, is already a reality. In order to maintain the technological leadership of the German mining industry in international mining, it is necessary to drive forward the research and development activities in the field of sensor technology, automation and networking. This requires a close link between university research and industrial enterprises. It is also necessary to define common communication interfaces between the manufacturers' systems, to overcome system boundaries (17).

Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022" vorhergesagt, dass der Smart Mining-Markt eine Wachstumsrate von 14.9% bis zum Jahr 2022 haben wird, bei einem zu erwartenden Umsatz von 15,837 Mrd. US-\$ (16).

Besonders die genannten Projekte der beiden weltweit größten Bergbauunternehmen zeigen, dass Bergbau 4.0 nicht nur eine Vision ist, sondern in Teilen heute schon Realität. Um auch zukünftig die Technologieführerschaft der deutsche Bergbauzulieferindustrie im internationalen Bergbau zu erhalten, ist es notwendig, die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den Bereichen Sensorik, Automation und Vernetzung voranzutreiben. Hierzu ist eine enge Verknüpfung der Hochschulforschung mit den Industrieunternehmen notwendig. Zudem bedarf es der Definition von gemeinsamen Kommunikationsschnittstellen der Herstellersysteme untereinander, um Systemgrenzen zu überwinden (17).

References / Quellenverzeichnis

- (1) B. f. B. u. Forschung: Zukunftsbild „Industrie 4.0“, 27.01.2015. https://www.bmbf.de/pubRD/Zukunftsbild_Industrie_4o.pdf. (Zugriff am 07.12.2016).
- (2) Bartnitzki, T.: Current Research for Mining 4.0 = Aktuelle Forschung für den Bergbau 4.0. In: 13. Bergbau-Forum (Tagungsband), Kassel, 2015.
- (3) Miro: I2Mine project homepage. Miro, 01.01.2012. http://www.i2mine.eu/content/open_access/introduction. (Zugriff am 07.12.2016).
- (4) Röllinger, D.; Hilbert, M.; Küch, C.; Westhoven, J.; Baltus, R.; Nienhaus, K.: Improving Mining Operation and Maintenance of Mining Excavators. In: Mapla Mantemin 2015 – 12th International Congress on Mining Maintenance, Santiago, 2015.
- (5) Fox, K.: LAEDC.org. 11.12.2014. <http://laedc.org/wp-content/uploads/2015/02/Raytheon-Slides.pdf>. (Zugriff am 13.12.2016).
- (6) Stronger, D.: Autonomous Sensor and Action Model Learning for Mobile Robots. Austin/Texas: ProQuest, 2008, p. 127.
- (7) Bericht der Arbeitsgruppe: Machine-to-Machine-Kommunikation – eine Chance für die deutsche Industrie. 01.12.2011. <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=459842.html>. (Zugriff am 07.12.2016).
- (8) OPC Unified Architecture – Wegbereiter der 4. industriellen (R)Evolution. 01.01.2013. <http://www.opcfoundation-events.com/downloads.html>. (Zugriff am 07.12.2016).
- (9) Weiser, M.: The computer for the 21st century. Scientific American, Bd. 256, Nr. 3, pp. 66-75, 1991.
- (10) Schaudel, D.; Maier, U.: Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen. Oldenburg. Deutscher Industrieverlag, 2014, S. 284.
- (11) opcfoundation.org. Update for IEC 62541 (OPC UA) Published. opcfoundation.org, 22.04.2015. <https://opcfoundation.org/news/opc-foundation-news/update-iec-62541-opc-ua-published/>. (Zugriff am 07.12.2016).
- (12) Heiney, A.: NASA's Eighth Annual Robotic Mining Competition. 14.11.2016. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/01_rmc2017_overviewintro.pdf. (Zugriff am 15.12.2016).
- (13) Pressemitteilung: spaceresources.lu. 05.05.2016. <http://www.spaceresources.public.lu/en/press-corner/index.html#press>. (Zugriff am 15.12.2016).
- (14) R. T. plc: Mine of the Future™. 01.01.2014. http://www.riotinto.com/documents/Mine_of_The_Future_Brochure.pdf. (Zugriff am 15.12.2016).
- (15) Ker, P.: THE SYDNEY MORNING HERALD. 13.03.2013. <http://www.smh.com.au/business/bhp-aiming-for-hightech-20130312-2fyiq.html>. (Zugriff am 15.12.2016).
- (16) Allied Market Research: Allied Market Research. 01.09.2016. <https://www.alliedmarketresearch.com/press-release/smart-mining-market.html>. (Zugriff am 20.12.2016).
- (17) Bartnitzki, T.: Forschung für den Bergbau 4.0. In: Bergbau, Energie und Rohstoffe 2015, Freiberg, 2015.

Author / Autor

Dr.-Ing. Thomas Bartnitzki, Advanced Mining Technology Institute (AMT), RWTH Aachen University, Aachen/Germany