

## Fully Automated Underground Mine

Since its mechanisation – mainly 1950s to 1970s – and first approaches for automation of single processes – since late 1980s – the mining industry is now developing solutions for complete automation systems for independent mine sections or, ideally, entire mines. Applications will be found first in countries of intensive mining activities, such as the USA and Australia, as well as in countries of highly demanding mine climates, such as South Africa with its deep gold mines. Generally, with no people in the mines, automation can lead to a significant decrease in accident numbers. Heat and gas levels (NO<sub>x</sub> and CO) will be no major concerns. Ventilation has to remove the heat from machinery and to support it with oxygen if it is a combustion engine. These goals could be achieved

within the next ten to 15 years. However, this will require systems that are highly integrated and fitted with adequate communication opportunities. Finally, fully automated mining systems will be a requirement for deep-sea mining and sky mining.

What exactly are the demands in the future? What shall future products look like and concepts be about? To answer these questions, it is important to first discuss expected advancements and to define the parameters of influence. Besides technological aspects, also social changes and new ideologies have to be respected. The world of future mining will be interconnected and operating with tolerant approaches. The relevant influencing factors are being discussed in this paper.

## Vollautomatisierter untertägiger Bergbau

Nach der großen Mechanisierungswelle im untertägigen Bergbau in den 1950er bis 1970er Jahren und der Automatisierung einzelner Bereiche ab Ende der 1980er Jahre steht nun die Automation ganzer Bereiche eines Bergwerks oder am besten eines ganzen Bergwerks an. Anwendungen werden zunächst in den großen weit entwickelten Bergbauländern wie USA oder Australien gesehen sowie in Bergwerken mit besonders hohen Anforderungen an Menschen, wie z.B. die tiefen Goldbergwerke in Südafrika. Wenn sich unter Tage keine Menschen aufhalten, spielen die Wärme oder Grenzwerte für NO<sub>x</sub> und CO kaum noch eine Rolle. Die Bewetterung hat die Aufgabe, die Wärme der Maschinen abzuführen und ausreichend Sauerstoff für ggf. Verbrennungsmotoren zur Verfügung zu stellen. Die Anzahl der absoluten Unfälle wird weiter rückläufig sein. Solche Konzepte sind voraussichtlich

in den nächsten zehn bis 15 Jahren umsetzbar, erfordern aber ein hohes Maß in der Systemintegration sowie in der Ausstattung der Grube mit Kommunikationstechnik. Diese Konzepte und Anwendungen sind erwartungsgemäß äußerst komplex. Benötigt wird vollautomatisierter Bergbau unbedingt für Anwendungen im tiefen marinen Bergbau sowie für Bergbau auf anderen Planeten (Sky Mining).

Wie sollen diese Konzepte und Produkte aussehen? Hierfür ist es wichtig, zunächst die Einflussgrößen zu bestimmen und zu bewerten. Welche Veränderungen kommen auf uns zu? Bei dieser Frage ist nicht nur die Technik angesprochen, sondern vor allem auch der gesellschaftliche Wertewandel. Sicher ist, dass die Zukunft des Bergbaus ganzheitlich, vernetzt und tolerant sein wird. Die Einflussgrößen werden im Folgenden diskutiert.

### Sensors and Communication

Thinking about future technology in mining, automation is of major interest. However, the simple idea of automating a mine comes with a range of demands regarding the mine and the technology itself. Automating a mine means automating the entire mine, requesting a lot of research and development to be done. Of course, it is possible to copy strategies and technologies of other industries that are at high levels of automation already. Though, it is highly questionable, whether they will meet mining standards. Sensors, e.g., might not be designed for though mine environments. If sensors cannot work adequately, they may deliver false data. Analysing false data will lead to wrong conclusions. Will it be possible to solve these problems, e.g., with a local remote sensing survey to define the position of

### Sensorik und Kommunikation

Automation ist die bestimmende Einflussgröße, wenn man über die zukünftige Technik im Bergbau spricht. Doch was bedeutet diese vermeintlich einfache Erkenntnis? Für eine durchgehende Automation muss das gesamte Bergwerk automatisiert sein. Das bedeutet aber an einigen Stellen sehr viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Hierbei ist noch das Einfachste, Technik aus anderen Industriebereichen in den Bergbau zu transferieren. Sensorik, IT-Lösungen aller Art und Software stehen allorts zur Verfügung. Doch bei der Sensorik muss schon gefragt werden, ob sie bergbautauglich ist. Automation ist nur so gut, wie die Daten, die verarbeitet werden und ein wichtiger Lieferant von Daten sind die Sensoren. Wenn diese nicht präzise und sicher arbeiten, werden Informationen verfälscht. Können hier neue

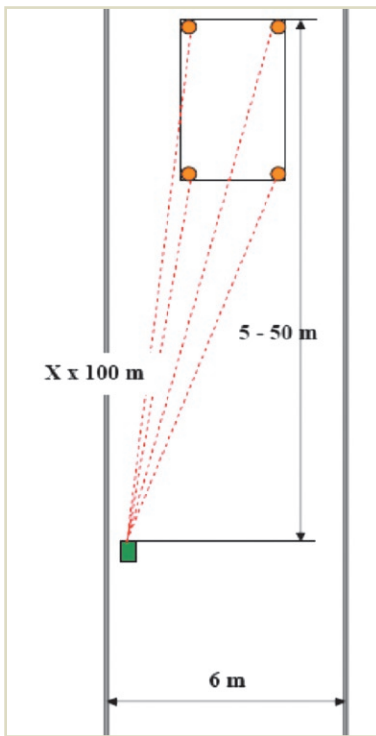


Fig. 1. Remote sensing for drilling jumbos (TUC).  
Bild 1. Remote Sensing an Bohrwagen oder Teilschnittmaschinen (TUC 2009).

each limber of a drilling jumbo, rather than fitting each limber with individual sensors (Figure 1). In 2009, this idea has been presented to the industry by researchers of the Technical University of Clausthal (TUC) in Clausthal-Zellerfeld/Germany. Also, sensors should be maintenance-free and have a lifespan similar to the lifespan of the machine it is surveying. Could drones be an adequate solution? Such technology could be used to survey large cavities or inaccessible sections. Fitting drones with additional sensors, they could also deliver data that is needed for automation.

Wege beschriftet werden, beispielweise mit einem räumlich begrenzten Remote Sensing, um die Lage der Bohrröhre eines Bohrwagens zu erfassen anstatt den Bohrwagen mit vielen Sensoren hierfür auszurüsten (Bild 1)? Diese Systeme hat das Institut für Bergbau der Technischen Universität (TU) Clausthal in Clausthal-Zellerfeld bereits im Jahr 2009 vorgestellt. Sensoren sollten möglichst wartungsfrei sein und eine Lebensdauer haben, die dem des Geräts entspricht. Können Drohnen den untertägigen Bergbau bereichern? Erkundungen in großen Kammern oder grundsätzlich in schwer zugänglichen Bereichen wären geeignete Anwendungsbereiche für solche Technik. Drohnen können ebenfalls mit Sensoren ausgerüstet sein, die wertvolle Informationen für die Automation liefern. Weiterhin müssen die Maschinen und damit auch die Sensoren vernetzt sein, damit die erforderlichen Informationen weiter gegeben und verarbeitet werden können.

Dies setzt aber eine hoch entwickelte IT-Lösung voraus. Durch viele Sensoren an und in den Maschinen werden sehr viele Daten aufgenommen. Dieses Big Data-Problem muss von entsprechender Analyse- und Decision-Software gelöst werden, damit nur die notwendigen Daten verarbeitet und weitergegeben werden. Diese Daten benötigen Speicherplatz und ein entsprechendes Sicherheitskonzept. Für die Vernetzung all dieser Systeme muss ein stabiles Netzwerk geschaffen werden und die Grube weitreichend mit beispielsweise Glasfaserkabeln ausgerüstet sein. All dies sind große Aufgaben, die für den untertägigen Bergbau noch gelöst werden müssen.

### Planung und Umwelt

Eine sehr hohe Bedeutung im Bergwerk der Zukunft hat die Vernetzung. Hierfür benötigt man einen hierarchischen und durchgehenden Planungsansatz (Bild 2) (1, 2). Die Planungsziele müssen konkret formuliert und plausibel sein, wenn sie Maschinen

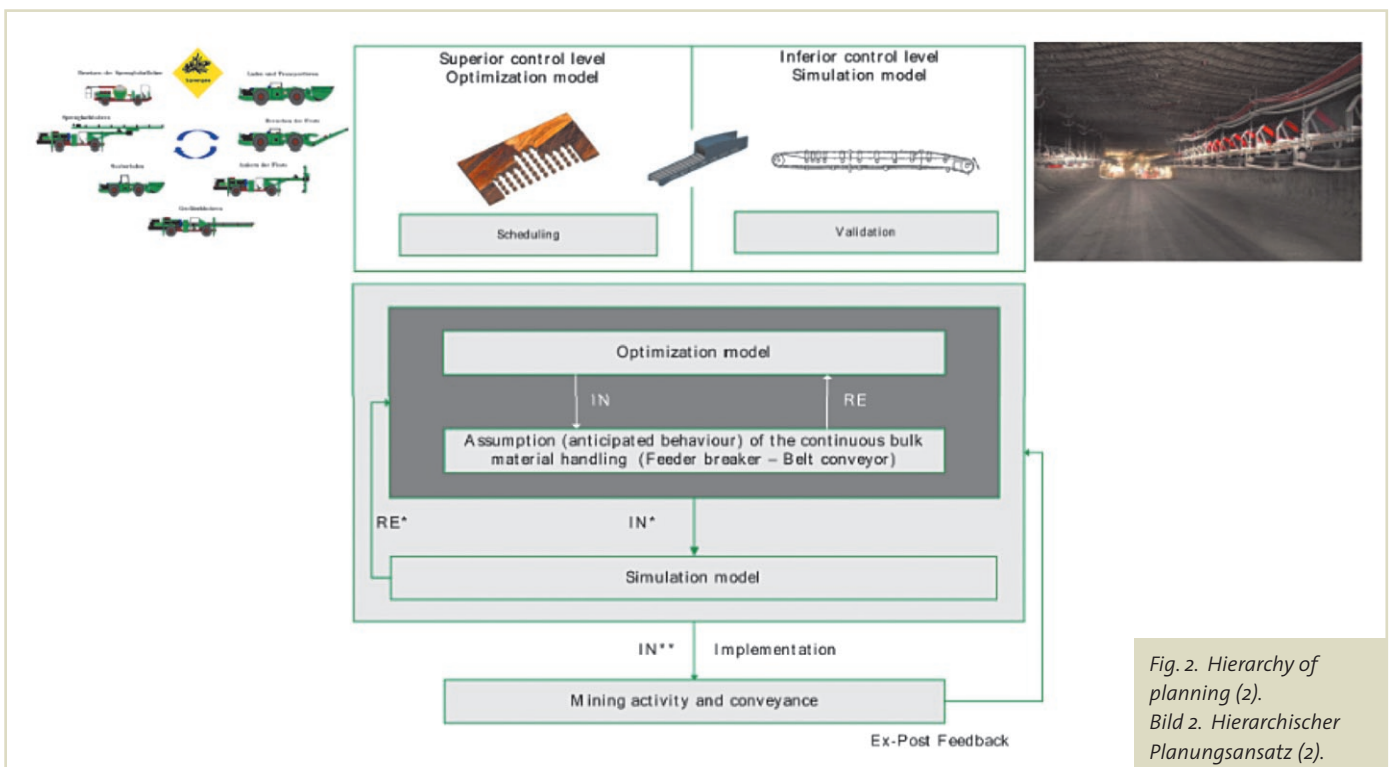


Fig. 2. Hierarchy of planning (2).  
Bild 2. Hierarchischer Planungsansatz (2).

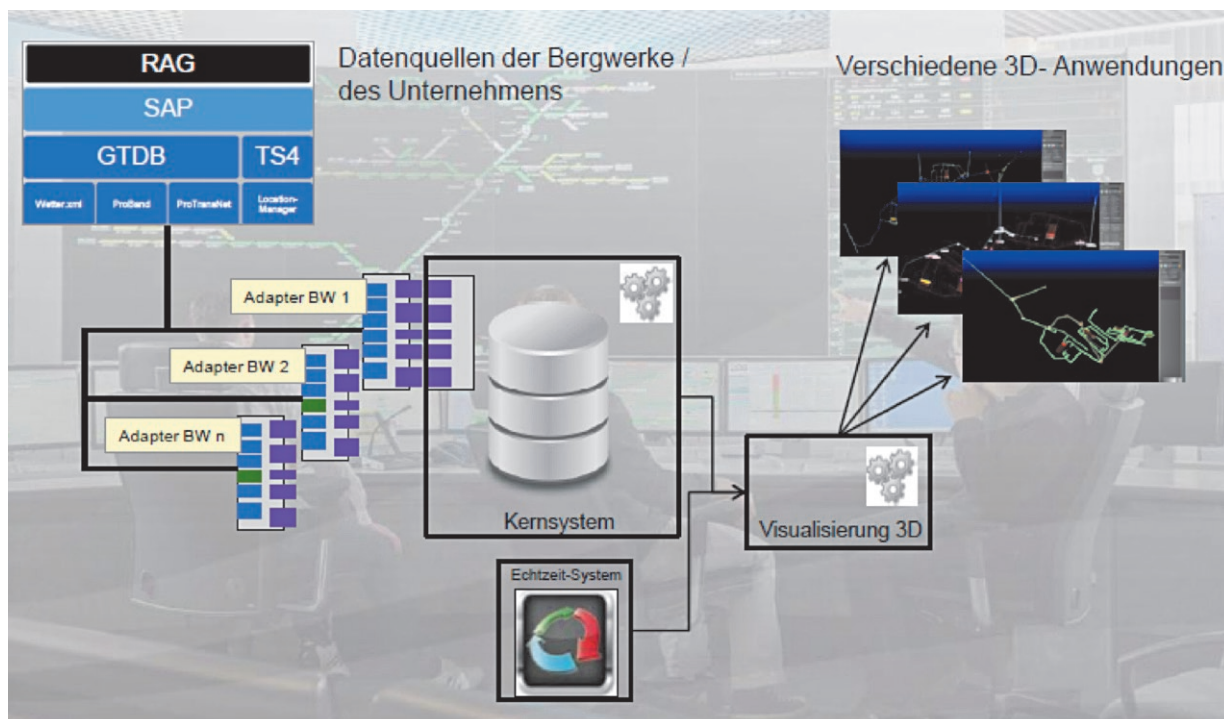


Fig. 3. Census of data during the production process (RAG Mining Solutions).

Bild 3. Prozessbezogene Produktionsdatenerfassung. Source/Quelle: RAG Mining Solutions

The provision of an extensive network is the main basis for any automation process, as information must be exchanged between sensor and machine. This then requires the installation of a mine-wide communication system, e.g., using fibre optic cables, and IT-technology. In a first step, data that was collected by the sensors must be reduced to the information that is needed for the process. For solving this big data problem, adequate software is required. The data must be saved and guarded by a data protection system. All these are major tasks to be solved for the mining industry before automation can be implemented.

### Planning and environment

Linking all relevant data and machines is also of high importance for future mines. A consequent planning of a mine respecting a hierarchical and complete approach can help to establish an efficient network (1, 2). Goals must be defined clearly and definite for machines to understand the tasks. Also, geological and tectonic data of the deposit should be considered. All relevant data, such as amount and quality of conveyed material, must be measured at all tipples or handling points, and must then be compared to expected data from the planning stage. Planned data can then be corrected accordingly, forming an in-time flexible system with self-learning and self-adjusting capabilities (Figure 2).

Even more sensors will be required to allow an online and real-time analysis (3), e.g., sensors that gather information on type of ore, grades and other properties of the rock during the drilling process (measurement while drilling). Will it be possible to analyse a rock's tectonics from the resistances while percussion drilling – just like with conventional seismic exploration? Questions like this express a high and urgent demand for re-

verstehen sollen. Unbedingt müssen die geologischen und tektonischen Daten in die Planung einbezogen werden, damit die Lagerstätte – also das eigentliche Produkt – berücksichtigt wird. Die Rohstoffdaten (Menge, Qualität, etc.) müssen an allen Übergaben und Knotenpunkten gemessen und mit den ursprünglichen Planungsdaten abgeglichen werden. Die ursprünglichen Daten werden dann wieder angepasst. Dies entspricht einer rollierenden Planung, allerdings nicht mehr im Tages- oder Wochenrhythmus, sondern im Minutentakt.

Hierfür sind weitere Sensoren erforderlich, die eine Online-Analyse zulassen (3). Gefordert sind Sensoren oder Systeme, die beim Bohren z.B. Gehalte, Art und Beschaffenheit des Rohstoffs erfassen und weiterleiten (Measurement while Drilling). Kann man z.B. beim Schlagbohren die Signale geeignet erfassen, um die umgebende Geologie und Tektonik vergleichbar einer seismischen Messung zu bestimmen? Zu diesem gesamten Thema existiert ein enormer und eiliger Forschungsbedarf, denn nur geeignete Lagerstätteninformationen machen eine Automation vollständig. Der Gedanke, diese Daten in die Planung mit einzu beziehen, ist nicht neu.

Die Ruhrkohle AG hat die Einbeziehung der Lagerstätten-daten in den Planungsprozess schon sehr früh in Angriff genommen, allerdings mit Daten von Bohrerkundungen und aus der Markscheiderei (Bild 3) (4,5). Simulationsmodelle, die dann z.B. Bohrlochzahl und -verlauf sowie die Sprengladungen auf Grund der Geologie und Tektonik berechnen, können helfen, die Logistik und die Aufbereitung zu verbessern, indem das Haufwerk entsprechend klein zertrümmert wird. Dies ist vor allem bei Abbauverfahren mit Bruchbau interessant, die den zu gewinnenden Rohstoff aus dem Hangenden abziehen.

Eine weitere treibende Kraft in der Entwicklung der Sensorik ist die gewünschte bedarfsorientierte, flexible Selektivität.

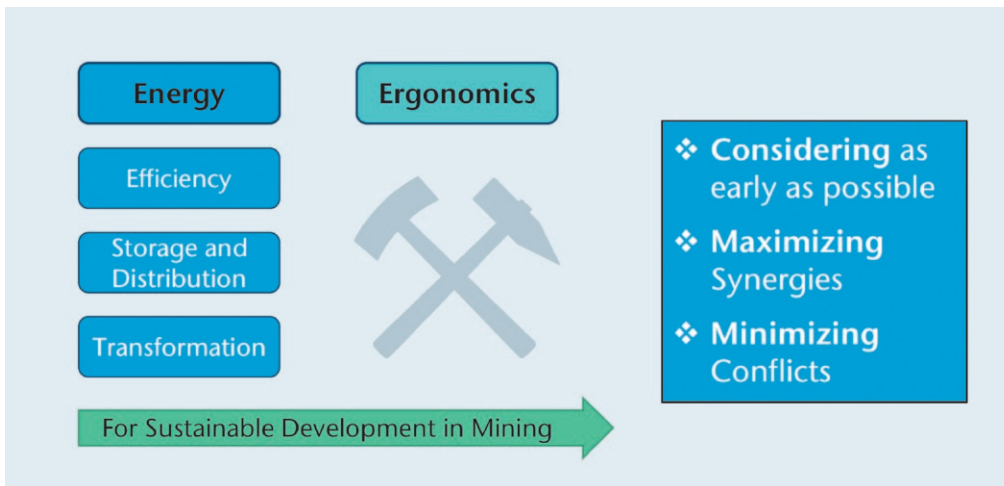


Fig. 4. Blue Mining Concept – Planning of Post Mining in Prior to Mining (7).  
 Bild 4. Blue Mining Konzept – Nachbergbauplanung in der Vorbergbauphase (7).

search and development, as only with complete data analysis automation will be successful.

However, this idea is not a recent one. The German Ruhrkohle AG has already been analysing core drills from general mine surveys in the past (Fig. 3) (4, 5). The ability to analyse the rock can be used for simulating possible shothole spacings and blasting patterns to find an optimum for the downstream haulage and processing system (in terms of chip size etc). Especially in cave-mining, this can be very important.

Flexibility in terms of reacting to measured data is another important aim of sensor development and data analysis. As shown in the example above, real-time data can be used to improve drilling and blasting operations and thus for optimisation of the mining process. As a requirement, reporting and evaluation of measured data must be available immediately. Developing deeper and more complex mines increases the need of available systems. Also, with the present trend on the raw materials supply market, secondary deposits are gaining attention. Such can be tailing ponds, as focused on in the REWITA-project, a cooperation of TUC and the German Ministry of Research and Education. Concentrating on evolving strategies for mining and processing, this project uses tailing ponds of a shut ore mine in Goslar/Germany, which is also the teaching and research mine of TUC. Among technical questions, also social and environmental aspects have to be respected (6).

Furthermore, post mining is an important aspect. It is more than only securing in terms of subsidence and back stowing. Developing a concept for using the sites of a mine after the phase of mineral production can be included in the planning even before mining activities start. This guarantees a matching mine development regarding the post mining usage, e.g. energy production. "Blue Mining" (Figure 4) is the concept being developed at TUC since 2013, covering the aspects of post mining opportunities (7). From 2008 to 2011, in cooperation with the German Ministry for the Environment and Nuclear Safety, the university has also worked out a strategy for using abandoned mines for storing wind power, presented in an 864-page report (8).

Die Integration in den Abbauprozess und seine Planung setzt eine leistungsfähige, vernetzte Online-Sensorik voraus. Die Entwicklung zu tieferen, komplexen Lagerstätten erhöht hier den Entwicklungsdruck weiter. Die Weiterentwicklung des Rohstoffbedarfs durch den Einsatz neuer Materialien macht auch eine Untersuchung anthropogener Lagerstättenformen wie Bergeteiche erforderlich. Im REWITA-Projekt, welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, werden am Beispiel der Bergeteiche des ehemaligen Erzbergwerks und heutigen Lehr- und Forschungsbergwerks der TU Clausthal Strategien zum Abbau und zur Aufbereitung entwickelt. Eine Herausforderung ist hierbei nicht nur die technische Seite, sondern insbesondere die gesellschaftliche Akzeptanz und die Umweltverträglichkeit (6).

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Planung ist die Schließungsplanung und eine Nachbergbauzeit. Diese sind nicht erst kurz vor dem Ende zu planen, sondern bevor ein Bergwerk eröffnet wird. In dieser Phase kann auch schon eine sinnvolle andere Nutzung des Bergwerks, z.B. Energiegewinnung, geplant werden, die über die eigentliche Rohstoffgewinnung hinausgeht. Dieser Vorgang wird durch das Blue Mining-Konzept (Bild 4), das die TU Clausthal seit 2013 entwickelt, sehr gut beschrieben (7). Nachbergbau ist mehr als Bodenbewegung und Wasserhaltung. Ein vollständiges, transdisziplinäres Konzept zur „Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke“ hat die TU Clausthal in den Jahren von 2008 bis 2011 mit Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) auf 864 Seiten erarbeitet (8).

### Instandhaltung und Technik

Die Instandhaltung der Maschinen ist ebenfalls von hoher Bedeutung für die Automation. Maschinen, die unzuverlässig arbeiten oder keine ausreichenden Laufzeiten aufweisen, werden im Zeitalter der Automation keine Chance haben. Hier müssen Zulieferer das ertragreiche Ersatzteilgeschäft zu Gunsten der Qualität einschränken. Dies erfordert mancherorts ein Umdenken. Weiterhin müssen die bereits erwähnten Sensoren in der Lage sein, Daten zu liefern, die es einer geeigneten Analyse- und Entscheidungs-



## Maintenance and Technology

In addition, reliability and maintenance are important aspects of automation. Machines that require consistent repair and that have inadequate lifespans will not be considered in terms of automation. Suppliers will have to rethink and focus on quality rather than on spare parts supply. The point of time for replacing spare parts should then be defined by software from information gathered by the fitted sensors. Only then, automation is reasonable.

Regarding technology in terms of machinery itself, two aspects are in the focus of attention. "Zero emission" will be relevant for mines that are not fully automated and require miners to be underground. Also, zero emission will cause a significant improvement regarding the pollutive impact on the environment, as mine air will reach the surface at some point. Its aim will lead to new concepts of energy supply, meaning an increased usage of electric motors with batteries. With batteries, new concepts for fire prevention and control will apply that are still in their design phase. At TUC, a lab was designed to work on these problems and develop solutions (9). The other important aspect is the cutting of the rock. Drilling and blasting will be present in future mining, but cutting holds some advantages. Noise emission and vibrations, e.g., are reduced and no fumes are being produced. Also, the cutting of rock is comparably easy to automate. Until today, cutting in hard rock is problematic though and should be granted more attention in research. Thus, a new network of researchers is forming these days to solve these problems (10).

## Framework conditions and education

Besides all the named technological demands of future relevance, or the grade of automation of the processes, the most important of all is rather a social one, defined by industrial standards, sustainability, and communication. The framework conditions are subject to change. Today, stricter pollution levels are forcing the industry to react and introduce cleaner technologies, but it is more than likely that allowed pollutant levels will be further decreased in the future. Today's society is enlightened and aware of environmental and safety hazards. Anyhow, whereas personal information was strictly kept secret in the past, people provide it today if they feel they can profit from it. In the 1970s, everyone was afraid of "big brother is watching you". Nowadays, "everyone is watching you" is no reason to feel uncomfortable and people are willing to impart information for a bonus in a customer loyalty programme or a smartphone-app (11). This shows the importance of passing on information. People need to know how they can benefit from a situation and what disadvantages can be involved. The mining industry has to involve the public, discuss on eye level and provide all relevant information to build up confidence.

Also, as today's society is characterised by flexibility and individualism, companies will have to react with their human resource policy accordingly. Beyond race, gender and spiritual beliefs, also ideology, lifestyle and workplace morale must be respected, in particular in team work. To further define required action in this field, TUC and EIT Raw Material are currently working on a cooperative project on the topic "Diversity in EU's Raw

software ermöglicht, den optimalen Austausch von Ersatzteilen zu bestimmen. Erst dann lässt sich eine Automation sinnvoll umsetzen.

Im Bereich der eigentlichen Maschinenteknik sind zwei Bereiche von großer Bedeutung. Zero Emission wird vor allem für nicht vollautomatisierte untertägige Bergwerke gelten und somit das Antriebskonzept der Maschinen völlig verändern. Zudem entlastet das Konzept Zero Emission auch den Übertagebereich, wo die Abwetter aus einem mit Dieselfahrzeugen ausgestatteten, wenn auch vollautomatisierten Bergwerk schließlich ankommen, wobei eine Durchmischung mit der Übertageluft zu einer raschen Verdünnung führt. Der Einsatz von Batterien und Elektromotoren und deren Entwicklung werden dafür das beherrschende Thema sein. Diese erfordern dann wieder ein eigenes Sicherheitskonzept, z.B. um die Brandgefahr von Batterien zu begrenzen, was beispielsweise im Batterietestzentrum der TU Clausthal erforscht wird (9). Ein weiteres wichtiges Thema ist das Schneiden von Gestein. Es wird zwar immer noch den Sprengvortrieb geben, allerdings hat das Schneiden von Gestein einige Vorteile. Es ist z.B. leiser, erzeugt keine Sprengschwaden und auch keine Erschütterungen. Außerdem ist es einfacher zu automatisieren, um nur einige Vorteile zu nennen. Das Schneiden von Hartgestein ist aber noch nicht zufriedenstellend gelöst. Hier bilden sich gerade Forschungsverbünde, um dieses aufwändige und umfassende Thema anzugehen (10).

## Rahmenbedingungen und Ausbildung

Das wichtigste Thema für den Bergbau der Zukunft – ob er vollautomatisiert, teilautomatisiert oder konventionell abläuft – ist allerdings ein gesellschaftliches, das durch die Rahmenbedingungen, die Kommunikation und die Nachhaltigkeit geprägt ist. Die Rahmenbedingungen für den Bergbau werden sich verändern. Im Moment werden die sich stark verringernden Grenzwerte für Emissionen diskutiert. Dieser momentane Stand wird aber noch nicht das Ende der Entwicklung darstellen. Die moderne Gesellschaft denkt umwelt- und sicherheitsbewusster und ist wesentlich aufgeklärter. Persönliche Informationen, die in den 1970er Jahren den Menschen heilig waren, werden heute bereitwillig für eine App oder eine PaybackCard zur Verfügung gestellt. Im Jahr 1970 wurde „Big Brother is watching you“ gefürchtet, heute gilt „Everybody is watching you“ und keiner fürchtet sich dabei (11). Das wiederum zeigt, dass es darum geht, den Menschen sachlich und genau zu erklären, wofür sie etwas tun und welche Vorteile oder auch Nachteile sie dadurch haben. Gibt es gute Gründe, gibt es offenbar auch keinen Widerspruch. Die Kommunikation der Bergbautreibenden mit der Gesellschaft hat einen sehr hohen Stellenwert und ist auszubauen. Kommunikation muss vielseitig sein, in alle Richtungen gehen, alle Themen ansprechen, nichts offen lassen und vor allem ehrlich und auf Augenhöhe stattfinden.

Die Gesellschaft ist heterogen und divers, insofern müssen sich auch Unternehmen nicht nur der Diversität ihrer Produkte, sondern vor allem auch der Diversität ihrer Mitarbeiter stellen. Diese Vielfalt drückt sich nicht nur in Geschlecht, Religion oder Hautfarbe aus, sondern auch in der gesamten soziologischen Kulturausprägung der Menschen und erfasst auch Weltanschauungen und Arbeitsstile. Dies ist z.B. für die Zusammensetzung von Teams von großer Bedeutung. Die TU Clausthal arbeitet zurzeit

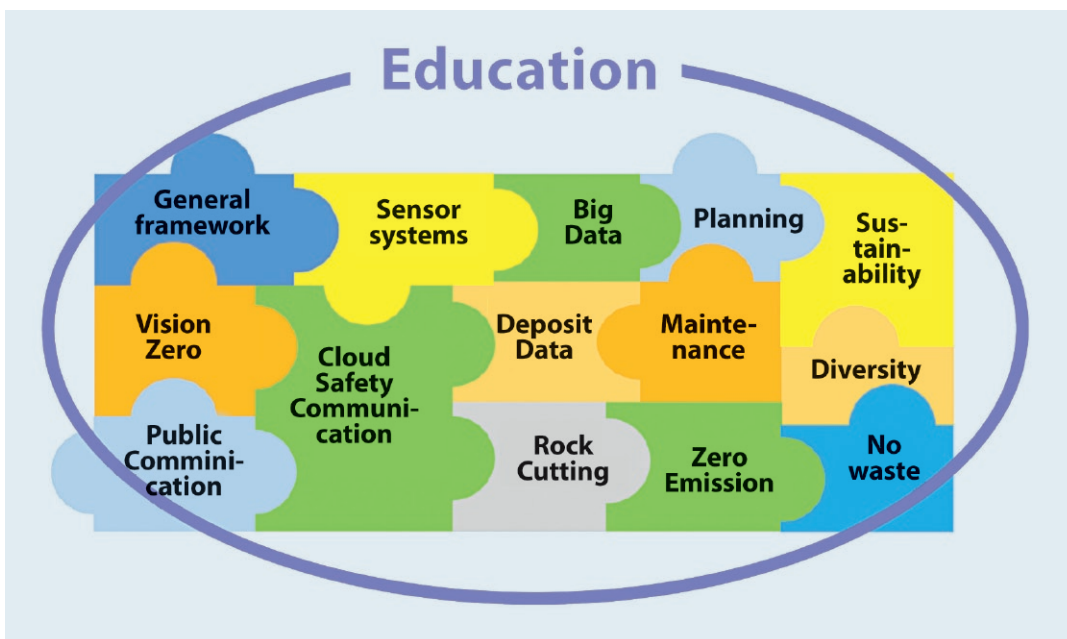


Fig. 5. System of connecting disciplines for future mining activities (16).  
Bild 5. Transdisziplinäres System des zukünftigen Bergbaus (16).

Materials Sector". With automation in the future, this will remain a relevant topic. Automation will allow fully mechanised processes in extraction and conveying, but other activities, like in repair shops, will still require personnel. If underground, relevant locations will also need auxiliary ventilation.

With increasing demands on sustainable development, also mining companies, suppliers, research institutes and related organisations will have to rethink. Among the concepts of Zero Emission and Blue Mining, this also means focussing on renewable energies and reducing waste production.

All aspects, as a foundation for a successful mining economy in the future, must be included in education. Universities that teach mining classes have to arrange their educational principles in a way that all graduates fulfil the high level of demand that is present in any employment. Among basic technical skills, methodical and soft skills are gaining in importance. A good example of a successful implementation of these requirements in the fields of study, TUC offers "Mining Engineering" as a Master programme. Hold in English, this programme includes modern teaching and CDIO methods (12). CDIO represents an initiative for internationally orientated study plans for an optimum training of future engineers (13). Currently (as of May 2017), 60 students are registered for the Mining Engineering programme at TUC. Some 70% are from non-German speaking countries, in fact 15 different countries in total, which allows all students to gather cultural experience by learning together and opens new opportunities for conducting the lectures. Among international experiences, also the Ramelsberg teaching and research mine in the nearby city of Goslar is part of the study plan. Here, authentic teaching is possible and a range of research opportunities are available for the students (14, 15). With its international composition, the mining study course attracts well educated Bachelor graduates from foreign countries to Germany and offers a wide range

im Rahmen des EIT Raw Material an einem grundlegenden Projekt zum Thema „Diversity in EU's Raw Materials Sector“. Denn auch wenn von einem vollautomatisierten Bergwerk gesprochen wird, werden sich Personen im übertägigen Bereich bzw. im oberflächennahen Bereich, wie z. B. in Werkstätten aufhalten, die ggf. separat bewertet werden.

Das Umweltbewusstsein der Gesellschaft beinhaltet die unbedingte Einhaltung der Nachhaltigkeit. Dies umfasst nicht nur das bereits erwähnte Zero Emission- oder Blue Mining-Konzept, sondern auch den Einsatz erneuerbarer Energien und das Vermeiden von Müll. Hier muss in einigen Bergbaubetrieben ein Paradigmenwechsel stattfinden. Bergbautreibende in diesem Sinne sind nicht nur die eigentlichen Bergbaukonzerne, sondern auch die Zulieferfirmen, die Verbände und auch Hochschulen.

Alle Aspekte umfassen muss die Ausbildung. Hier sind moderne, internationale Studiengänge gefragt, die neben den Basic- und Technical Skills auch Elemente für Soft- und Social Skills beinhalten. Die Absolventen dieser Studiengänge müssen in der Lage sein, die hohen transdisziplinären Anforderungen zu erfüllen, die an sie gestellt werden. Ein sehr gutes Beispiel hierfür ist der internationale Studiengang „Mining Engineering“, der vollständig in englischer Sprache an der TU Clausthal angeboten wird, mit modernster Hochschuldidaktik geplant und von Elementen der CDIO-Initiative durchsetzt ist (12). Die CDIO-Initiative ist ein internationaler, innovativer Ausbildungsrahmen, der in der Lage ist, die Ingenieure der zukünftigen Generation auszubilden (13). In den Studiengang „Mining Engineering“ an der TU Clausthal sind mit Stand Mai 2017 60 Studierende eingeschrieben, wovon rd. 70% aus 15 verschiedenen nicht deutschsprachigen Ländern kommen. Dies eröffnet für die Lehre völlig neue Möglichkeiten, die unterschiedlichen Erfahrungen der Studierenden in Gruppenarbeit mit einzubinden. Auch wird das Lehr- und Forschungsbergwerk Ramelsberg in Goslar intensiv in die authentische Lehre mit einbezogen (14, 15). Dieser Studiengang leistet auch einen erheblichen

of opportunities for employment on the German market after finishing the course. As graduates remain in Germany and receive employment, the study course also supports Germany's national economy. A first contact between students and possible employers is given during field trips. Here, students, foreigners the same as Germans, get to know different mining companies and suppliers and may be offered internships or research opportunities.

For the establishment of a successful and socially accepted mining industry in the future, all the aspects as discussed in this paper must be respected. Germany shows high potential to be successful in this progress, as competences are available in the country. However, success is also a question of combining these competences and working together among the variety of disciplines to ensure best project outcomes. In this, universities are very appropriate partners (Figure 5).

volkswirtschaftlichen Beitrag, indem gut ausgebildete junge Leute nach Deutschland kommen, hier noch weiter sehr gut ausgebildet werden und letztlich dem deutschen Arbeitsmarkt zur Verfügung stehen. Dies wird durch Inlandsexkursionen erreicht, auf denen die ausländischen Studierenden die deutschen Bergwerke und den deutschen Zuliefermarkt kennenlernen und ihnen Praktika und Masterarbeiten von Seiten der deutschen Firmen angeboten werden können.

Ein erfolgreicher, vollautomatisierter Bergbau wird in Zukunft all diese Aspekte berücksichtigen müssen. Deutschland ist dabei nicht schlecht aufgestellt, denn die einzelnen Bereiche können von vielen Fachleuten abgedeckt werden. Nur müssen diese vielen unterschiedlichen Disziplinen koordiniert werden, damit eine solch große transdisziplinäre Herausforderung gemeistert werden kann. Für solche Aufgaben sind beispielsweise Hochschulen sehr gut geeignet (Bild 5).

#### References / Quellenverzeichnis

- (1) Clausen, E.; Langefeld, O.: Integrated Approach for Production Scheduling of an Underground Room and Pillar Mine. Presented at: 2013 SME Annual Meeting, Denver 2013.
- (2) Clausen, E.: Konzept für einen integrierten Produktionsansatz bei Anwendung eines Orterbaus. Dissertation, Clausthal 2013, Papierflieger.
- (3) Tudeszki, H.; Tayebi, A.; Lehmann, B.: Development of a new method for aggregate quality control in rock quarries. 23rd World Mining Congress, 11-15.08.2013, Montreal/Canada.
- (4) Langefeld, O.; Guder, R.: GTP – Das integrierende geometrisch technische Planungssystem. Glückauf 136 (2000), Heft 10, S. 563 – 566.
- (5) Langefeld, O.; Heim, G.; Guder, R.: GTP-Informationsmanagement – Das Konzept offen kooperativer Planungssoftware. Glückauf 137 (2001), Heft 3, S. 68 – 74.
- (6) <http://www.r4-innovation.de/de/rewita.html>
- (7) Langefeld, O.; Kellner, M.: "Blue Mining" – The future of Mining. Proceedings 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry. 30th June – 3rd July 2013, Milos Island/Greece.
- (8) Beck, H. P.; Schmidt, M. (Hrsg.): Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke. ISBN 978-3-942216-54-8; Universitätsbibliothek Clausthal, 2011.
- (9) Batterietestzentrum Fraunhofer HHI, Goslar; <https://www.hhi.fraunhofer.de/abteilungen/fs/batterie-und-sensoriktestzentrum-bst-battery-safety-lab.html>
- (10) European Rock Extraction Research Group, EUREG; <http://www.miningmagazine.com/equipment/mechanical-cutting/european-rock-extraction-group-launched/>
- (11) Orwell, G.: 1984.
- (12) <https://www.studium.tu-clausthal.de/studienangebot/energie-und-rohstoffe/mining-engineering-master/>
- (13) <http://www.cdio.org/>
- (14) Clausen, E.; Binder, A.: Innovative Learning Spaces for Experiential Learning in Mining Engineering Education. In: The 13th International CDIO Conference. Calgary, June 2017.
- (15) Clausen, E.; Henriquez, J.; Zingg, D.: Innovations in Mine Ventilation Education. Competence-oriented Project-based Learning @ Sasso San Gottardo. In: Internationales Freiburger Fachkolloquium: Grubenbewetterung und Gase, 2016.
- (16) Langefeld, O.: Future Mining – Gedanken und Aspekte zu Mining Trends. Bergbau Nr. 7/2017, S. 309 – 312.

#### Author / Autor

Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Institut für Bergbau, Technische Universität (TU) Clausthal, Clausthal-Zellerfeld/Germany