Innovative Learning Spaces

The increasing complexity of mining operations results in increasing requirements for the mining engineering education. The demand of broad skills sets in constantly equal sized programs is the reason to blend the addressed skills in teaching and learning activities. A promising approach represents the experiential learning in an authentic environment. The article introduces the chal-

lenges in mining engineering education as well as the approach of experiential learning and skill sets. Subsequent, opportunities for innovative underground learning spaces are described using the examples of the training mine Recklinghausen, the research and teaching mine Reiche Zeche and the research and teaching mine Rammelsberg.

Innovative Lernumgebungen

Das gestiegene Maß an Komplexität der bergbaulichen Gewinnung führt zu steigenden Anforderungen an die bergbauliche Ausbildung. Um die geforderten, breiten Kompetenzen im gewohnten Umgang abzubilden, müssen die Lehr-/Lern-Aktivitäten mehrschichtig gestaltet werden. Eine erfolgversprechende Möglichkeit bietet die Nutzung des erfahrungsbasierten Lernens in authentischen Umgebungen. Der Artikel führt in die Heraus-

forderung der bergbaulichen Ausbildung ein und gibt eine Einleitung in das Lernmodell und die geforderten Kompetenzen. Im Anschluss werden anhand des Trainingsbergwerks Recklinghausen, des Lehr- und Forschungsbergwerks Reiche Zeche und des Lehr- und Forschungsbergwerks Rammelsberg Möglichkeiten für innovative untertägige Lernumgebungen vorgestellt.

1 Introduction

The extraction of raw materials is made possible by the interaction of technology, environment and persons. The deposit, which describes the mining environment and specifies operation parameters, represents the base. Besides rock, host rock and surface properties, the legal framework, the existing infrastructure and the local communities determine required measures for the realization of a project. Within this framework, the available technologies have to be applied to mine raw materials and generate usable products. Due to the constant development of technology, mining can be undertaken in more complex situations. Hence, the technological circle in figure 1 is getting wider and covers more environmental conditions. The third essential pillar are the people in mining who choose, based on the environment, the technologies, operate them, and guide through the process. The education and training of mining engineers and mining technologist represents an essential corner stone of mining activities.

Considering the future of mining, a development of the environmental conditions can be observed. Besides the increasing complexity of deposits, more safety, environmental protection, and inclusion of the communities are claimed with a constant cost pressure. Those changes are pictured in the goals of Mining 4.0 through "selective production of raw materials, autonomous production, transport and processing, and minimal impact on man and the environment" (1). The involvement of different disciplines and their interconnection play a central role in this development.

1 Einleitung

Rohstoffgewinnung ist nur unter Zusammenwirken von Technologie, Umgebung und Personen möglich. Die Grundlage bildet eine Lagerstätte, welche das bergbauliche Umfeld beschreibt und somit viele Betriebsparameter vorgibt. Neben Eigenschaften von Lagerstätte, Nebengestein und Oberflächensituation bestimmen beispielsweise der rechtliche Rahmen, vorhandene Infrastrukturen und die Bevölkerung notwendige Maßnahmen zur Projektrealisierung. In diesen Rahmenbedingungen gilt es verfügbare Techniken so einzusetzen, dass Rohstoffe gewonnen und nutzbare Produkte erzeugt werden können. Die Weiterentwicklung von Techniken schafft es in immer komplexeren Situationen, eine Rohstoffgewinnung zu betreiben, sodass der in Bild 1 gezeigte Kreis der Technologie ausgeweitet werden konnte und sich größere Überschneidungen mit dem Umfeld ergeben. Den dritten unverzichtbaren Bereich bilden die Personen im Bergbau, denn bezogen auf das Umfeld gilt es, Technologien auszuwählen, anzuwenden und diesen Prozess zu leiten. Die Ausbildung und Weiterbildung von Bergingenieuren und Bergbautechnologen bildet daher einen wesentlichen Grundstein der bergbaulichen Aktivitäten.

Betrachtet man die Zukunft des Bergbaus, kann eine Entwicklung auf Basis der Umfeldveränderung beobachtet werden. Neben der steigenden Komplexität der Lagerstätten erhöhen sich Forderungen der Bergbauumgebung nach mehr Sicherheit, Umweltschutz und Einbeziehung der Öffentlichkeit bei gleichbleibendem Kostendruck. Diese Veränderungen sind auch in den

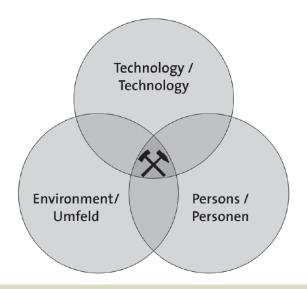


Fig. 1. Interaction of technology, environment and persons.
Bild 1. Zusammenwirken von Technologie, Umfeld und Personen.

A sustainable education enables to work after the fourth and fifth industrial revolution. Mining engineers in the Mining 4.0 are connectors between the disciplines (2). Hence, the needed skill sets become broader and the professional competence is exceeded. Based on the division into professional skills, methodical skills, social skills, and self-competence, table 1 shows an example for the skill sets of mining engineering in Mining 4.0 (3).

Aim of the professional education is that the students gain the needed competences for their career. According to this goal, measures should be implemented to foster the development of skills.

Traditional approaches in education aim to teach expert knowledge resulting in technical skills. Widening the curriculum by courses that cover the other skills is either exceeding the limits of the program or leads to the cancellation of courses. Due to the fact that this approach is not implementable, holistic teaching-learning-activities need to be designed addressing several competences.

Experiential learning, provides a possibility for multilayered courses (4). It transfers the natural learning process in the education. The experiential learning model is based on four stages,

Zielen des Bergbau 4.0 durch selektive Rohstoffgewinnung, autonome Gewinnung und minimale Auswirkungen auf Mensch und Umwelt abgebildet (1). Die Einbindung verschiedener Disziplinen und ihre Vernetzung nehmen hierbei eine zentrale Rolle in der Entwicklung ein.

Eine zukunftsfähige Ausbildung befähigt zur Arbeit nach der vierten und auch fünften industriellen Revolution. Weber Youngman führt hierzu aus, dass der Bergingenieur im Bergbau 4.0 zunehmend die Rolle des Vermittlers zwischen den Disziplinen einnimmt, sodass das benötigte Kompetenzspektrum verbreitert wird und die reine Fachkompetenz stark überschreitet (2). Auf Basis der Unterteilung in Fach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz zeigt Tabelle 1 eine beispielhafte Ausprägung dieser Fähigkeiten für einen Bergbauingenieur im Bergbau 4.0 (3).

Ziel der fachlichen Ausbildung ist es, dass die Studierenden diese Kompetenzen erwerben, um für ihre Arbeitszeit gerüstet zu sein. Mit diesem Ziel gilt es Maßnahmen durchzuführen, welche der Kompetenzentwicklung dienen.

Traditionelle Lehransätze zielen häufig auf Vermittlung von Fachwissen ab und beschränken sich somit auf einen Teil der Fachkompetenz. Bei einer Ergänzung des Curriculums durch Fächer, welche die übrigen Kompetenzen abdecken, müssen entweder der Umfang des Programms erweitert oder Fächer gestrichen werden. Da diese Vorgehensweise nicht durchsetzbar ist, gilt es, ganzheitliche Lehr-/Lern-Aktivitäten zu entwerfen, die mehrere Kompetenzbereiche adressieren.

Eine Möglichkeit hierzu bietet das erfahrungsbedingte Lernen, bei welchem der natürliche Lernvorgang auf den Ausbildungszusammenhang übertragen wird (4). Der Lernende durchläuft vier Phasen: Zunächst wird eine Erfahrung gemacht, die in der zweiten Phase reflektiert wird. In der dritten Phase wird die Beobachtung analysiert, sodass durch die Verallgemeinerung Konzepte entwickelt werden. In der vierten Phase wird durch die Anwendung in einer neuen Situation das Konzept getestet. Dieses Lernverhalten kann durch die Gestaltung der Erfahrungen und die Unterstützung von Beobachtung, Reflexion und Analyse gefördert werden. Besondere vielschichtige Erfahrungen macht der Lernende hierbei bei direktem Praxisbezug.

Zur Herstellung des Praxisbezugs bieten direkte Maßnahmen, wie der Besuch von Gewinnungsbetrieben, aber auch indirekte Maßnahmen, wie die Implementierung von virtuellen Realitäten,

Technical skills	Methodical skills	Social skills	Self-competence
Knowlegde about mining processes and circumstances	Strategies for complex tasks	Target group based communication with different disciplines (spoken, written, visual)	Critical Thinking
Applied technologies and environments	Breakdown in tasks and delegation to responsible areas	Cooperation and launching of work process	Detection of imperfections and needs for external input
Relations and characteristics	Defintion of interfaces	Guidance and management	Entrepreneur- ship

Table 1. Broad skill set for future mining engineers.

Fachkompetenz	Methoden- kompetenz	Sozialkompetenz	Selbst- kompetenz
Wissen über bergbauliche Vorgänge und Gegebenheiten	Herange- hensweise an komplexe Aufgaben- stellungen	Zielgruppengerech- te Kommunikation mit unterschied- lichen Disziplinen (gesprochen/ge- schrieben/visuell)	Kritisches Denken
Eingesetzte Technik und das Umfeld	Unterteilung von Aufgaben und Delegation an zuständige Bereiche	Zusammenarbeit und Initiierung von Arbeitsprozessen	Erkennen von Fehlstellen und Notwendigkei- ten von exter- nem Input
Zusammen- hänge und Besonderheiten	Formulierung von Schnitt- stellen	Lenken und Leiten	Entrepreneur- ship

Tabelle 1. Breite Kompetenzen zukünftiger Bergbauingenieure.

which form a cycle: an experience is followed by observations and reflections in the second stage, where data about the experience is collected by reflecting on the experience. In the third stage the data is analyzed during the formation of abstract concepts and generalization. The developed concept is tested in the fourth stage with implementation and application to a new situation. This learning behavior can be fostered by the arrangement of experiences and the support in observations, reflection and analysis. Especially in practical application, the experiences of the learner are multilayered.

For the practical application, direct measures like mine visits as well as indirect measures like the implementation of virtual realities provide possibilities for experiences inducing a learning process. However, these situations show disadvantages. A virtual reality is limited to the visual impression and is also limited in actions, however it provides many possibilities. Therefore, the integration of real projects is essential.

The effort to visit mines outside the domestic environment is high, so the portfolio of experiences is mostly restricted on the German raw materials extraction field for German universities. Besides classic field trip, projects in cooperation with active mines provide the possibilities to learn in real surroundings. Nevertheless the effort on all sides, the mine, the teachers and the learner, is extraordinary. Withal, safety measures and production are restricting the options and are challenging.

Some learning spaces allow experiential learning in an authentic underground environment without the mentioned disadvantages. Examples are the training mine (TZB) of RAG Aktiengesellschaft in Recklinghausen, the teaching and research mine Reiche Zeche of the TU Bergakademie Freiberg in Freiberg as well as the research and teaching mine Rammelsberg in Goslar and the Learning Lab of Clausthal University of Technology. Below, this learning spaces and its usage in education are presented and advantages and challenges of implementation are shown.

2 Training Mine Recklinghausen

After the expire of the German hard coal mining in 2018, the TZB in an old waste rock heap in Recklinghausen offers the complete interior of an underground mine in the current state of the art.



Fig. 2. Shearer loader at TZB.

Bild 2. Walzenlader im TZB. Photo/Foto: RAG

große Möglichkeiten für Erfahrungen, die einen Lernprozess initiieren. Gleichzeitig weisen diese auch Nachteile auf. Eine virtuelle Realität ist begrenzt auf den visuellen Eindruck und reagiert nur in Maßen auf die Handlungen, bietet aber gleichzeitig viele Möglichkeiten. Die Integration von realen Projekten wie Bergwerken ist daher unverzichtbar.

Jedoch bedarf es eines sehr großen Aufwands, Bergwerke außerhalb des heimischen Umfelds zu besuchen, sodass die Rohstoffgewinnnungslandschaft Deutschlands zumeist das Erfahrungsportfolio beschreibt. Neben den klassischen Exkursionen bieten Projekte mit produzierenden Bergwerken die Möglichkeit zum Lernen in realer Umgebung. Jedoch weisen diese einen hohen Aufwand sowohl seitens des Bergwerks als auch auf Seiten der Lehrenden und Lernenden auf. Gleichzeitig grenzen Sicherheitsmaßnahmen und der laufende Betrieb die Möglichkeiten ein und stellen eine Herausforderung dar.

In einigen Lernorten ist es jedoch möglich, die Vorteile des erfahrenbedingten Lernens mit einer untertägigen Umgebung ohne die aufgeführten Nachteile zu kombinieren. Beispiele sind das Trainingsbergwerk (TZB) der RAG Aktiengesellschaft in Recklinghausen, das Lehr- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche der Technischen Universität (TU) Bergakademie Freiberg in Freiberg sowie das Lehr- und Forschungsbergwerk Rammelsberg in Goslar und das Lernlabor der Technischen Universität (TU) Clausthal. Im Folgenden werden diese Lernorte und ihre Nutzung in der Ausbildung dargestellt. Anhand von Beispielen werden die Vorteile und Herausforderungen der Einbindung erläutert.

2 Trainingsbergwerk Recklinghausen

Wenn der deutsche Steinkohlentiefbau Ende 2018 ausgelaufen sein wird, bietet das TZB in einer alten Bergehalde in Recklinghausen weiterhin das vollständige Innenleben einer Untertagezeche auf dem Stand der Technik ab. Diesen Ort nutzt die Grubenwehr als Übungsstrecke. Er dient Studierenden aus dem In- und Ausland, Schulklassen, Bergbauinteressierten und Fachleuten des Rohstoffwesens zur Vermittlung von Kenntnissen unter realen Bedingungen und ist gleichzeitig Schaufenster für die Maschinen- und Anlagenbauer sowie Dienstleister des Zuliefersegments Mining.

2.1 Nutzung im Wandel über Jahrzehnte

Das Grubengebäude des TZB befindet sich in einer Bergehalde in Recklinghausen, das ab dem Jahr 1975 durch Berglehrlinge der damaligen Ruhrkohle AG auf die heutigen 1.200 m Strecke aufgefahren und mit realer Infrastruktur ausgerüstet wurde. Alles, was an Technik in einem normalen Bergwerk in großer Tiefe und über weite Flächen verstreut vorhanden ist, kann konzentriert ohne lange Anfahrtswege besichtigt, trainiert, untersucht und geprüft werden. Es werden Maschinen und Anlagen einzeln und im Zusammenspiel miteinander erprobt und Prüfungen der Bergbehörde durchgeführt. Aktuell existieren eine vernebelbare Grubenwehrübungsstrecke, zwei Streben – je ein Gleithobel- und ein Walzenstreb (Bild 2) - mit Übergabe sowie Kopf- und Bandstrecken, drei konventionelle Streckenvortriebe (Bild 3) und ein Blindschacht mit Bobine. Der Schildausbau ist identisch mit dem im Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren. Nur, dass die Teufe dort mehr als 1.500 m beträgt, im Trainingsbergwerk liegen über der Strecke nur 17 m. Neben Bergmechanikern wurden weitere im

This place is used by the mine rescue brigades as practice course. National and international students, school classes, people interested in mining and experts from the field of raw materials use the place for knowledge transfer under real conditions. Besides, it is representing a showcase for machinery and equipment manufacturers and service providers in the field of mining.

2.1 Usage through the ages

The mine workings are situated in a waste rock heap in Recklinghausen. Since 1975, apprentices from the former Ruhrkohle AG have developed the 1,200 m of roadways and equipped it with real infrastructure. The mining technologies which is normally spread over many square kilometers in a great depth can be reached easily at one place and used for training, research and testing. In single and combined set-ups, machinery and equipment can be tested and get approved by mining authorities. At the moment, there is a practice course for mine rescue brigades, which can be nebulized, two longwalls – plough and shearer (Figure 2) – with transfer station as well as belt road and tail gate, three conventional road headings (Figure 3) and a shaft with bobbin. The shield support is identical to the support used at Ibbenbüren coal mine with the only difference of the depth of 1,5 km less. Besides mining technologists, further mining professionals like electronic and mechanic technicians as well as suppliers and disposers are trained. In total, 44 mining specific courses for specialist workers, technicians and engineers are existing. The number of participants from China, Latin America, Czech Republic, Poland, Russia and Vietnam increases.

2.2 The future of a hands-on facility

Besides practical training at equipment, technologies and processes, the utility value can be described through multiple, multidisciplinary contents. This includes the procedures in a mining operation from the deposit to the mining tasks, the machinery and electro technology up to reclamation and post-mining. The involvement of students in leading roles in the simulated, dayto-day operations implicates not only the practical experience in a multifaceted working environment but encourages the active contribution. Important future fields are IT, digitization and Mining 4.0. Devoid of IT-functions of Mining 4.0, the future production, supply & trading business is incapable of developing new areas worldwide. Nowadays, IT is essential for innovation and increasing efficiency and it will be an important topic in the future. Different rotation in the following divisions is conceivable: infrastructure management, IT security, IT project management, application development up to procurement management. Working together with experienced experts and creative colleagues in practice, discovering and contributing to projects adds value. Emphasis for the students remains scrutinizing the status quo and the hands-on new technologies. Table 2 shows the activities and target groups of the TZB.

Together with the ministry for economics, innovation, digitization and energy of North Rhine-Westfalia, the mining authority, the network mining economics of the Energie.Agentur.NRW as well as the RAG Aktiengesellschaft, the Regionalverband Ruhr and the city of Recklinghausen, a subsequent usage of the training mine as exhibition mine, practice place, education-, train-



Fig. 3. Conventional road heading at TZB.
Bild 3. Konventioneller Streckenvortrieb im TZB. Photo/Foto: RAG

Bergbau vertretene Berufsgruppen wie Elektroniker, Mechaniker oder Ver- und Entsorger ausgebildet. Insgesamt existieren 44 bergbauspezifische Lehrgänge für Facharbeiter, Techniker und Ingenieure. Teilnehmer kamen zuletzt zunehmend auch aus China, Lateinamerika, Tschechien, Polen, Russland oder Vietnam.

2.2 Zukunft einer Hands-on-Einrichtung

Neben praktischen Übungen an Einrichtungen, Techniken oder Verfahren lassen sich die Nutzwerte mit vielfältigen interdisziplinären Inhalten beschreiben. Dies umfasst die komplexen Abläufe eines Grubenbetriebs von der Lagerstätte über bergtechnische Aufgaben, die Maschinen- und Elektrotechnik bis hin zur Rekultivierung und Nachsorge. Die Einbindung eines Studierenden als Führungskraft in das simulierte operative Tagesgeschäft bringt nicht nur Praxiserfahrung in einem facettenreichen Arbeitsumfeld mit sich, sondern regt gleichzeitig zur aktiven Mitgestaltung an. Wichtige Zukunftsfelder stellen IT, Digitalisierung und Mining 4.0 dar. Ohne die IT-Funktionen von Mining 4.0 wird das zukünftige Production, Supply & Trading Geschäft nicht in der Lage sein, weltweit in neuen Bereichen zu handeln. IT ist schon heute für Innovationen und steigende Effizienz essentiell und wird es in den nächsten Jahren noch signifikant mehr. Verschiedene Rotationen in den folgenden Geschäftsbereichen sind vorstellbar: Infrastructure Management, IT Security, IT Project Management, Application Development bis hin zum Procurement Management. An der Seite von erfahrenen Experten und kreativen Kollegen in der Praxis arbeiten, Projekte kennenlernen und daran mitarbeiten bringt Mehrwerte. Schwerpunkte für Studierende bleiben dabei das Hinterfragen des Status Quo und der praktische Umgang mit neuesten Technologien. Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Aktivitäten und Zielgruppen des TZB.

Im Austausch zwischen dem Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, der Bergbehörde, dem Netzwerk Bergbauwirtschaft der EnergieAgentur.NRW sowie der RAG Aktiengesellschaft, dem Regionalverband Ruhr und der Stadt Recklinghausen ist eine Nachnutzung des Trainingsbergwerks nach dem Ende des deutschen Steinkohlenbergbaus als Besucherbergwerk, Übungsstätte, Ausbildungs-, Lehr- und Testfeld für Innovationen durch Hochschulen, Universitäten und Fachinstitute sowie als Schaufenster für Maschinen, Anlagen und Verfahren der Bergbauzulieferer

Activities	Target groups // Zielgruppen	Target groups // Zielgruppen	
Raising Awareness for Raw Materials // Sensibilisierung für die Wichtigkeit von Rohstoffen	Citizens, pupil, students, representatives of legislature, of associations, organization etc. //		
	BürgerInnen, SchülerInnen, Studierende, Vertr. der Legislative, von Verbänden, Organisation, uvw.		
Presentation and training facility for German mining suppliers // Präsentations-, Trainings-, Schulungsort für deutsche Bergbauzulieferer	Potential customers, operators, politician, authorities, environmental organization of target markets //		
und innovative KMU aus NRW	Potentielle Kunden, Betreiber, politische Mandatsträger, Behörden, Umweltorganisationen aus Zielmärkten		
Training roadway for mine rescue, self-rescue, fire and explosion protection // Übungsstrecke für Bereiche Rettungswesen, Selbstrettungstechnik,	Responsible persons for safety concepts: mine rescue, gas, fire brigades, technical relief, civil protection //		
Brand- und Explosionsschutz	Verantwortliche für Sicherheitskonzepte: Grubenwehr, Gaswehr, Feuerwehr, THW, Katastrophenschutz		
Testing area for third parties: praxis simulation in unique surrounding // Testfeld für Dritte: Praxissimulationen in einzigartigem Umfeld	German Society for Aeronautics and Astronautics; German technical universities, Fraunhofer Society, etc. //		
00	Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt; Technische Hochschulen und Universitäten; Fraunhofer Gesellschaft, usw.		
Technical Topics			
Digitization, Automation: New process solutions and technology transfer // Digitalisierung, Automation: Neue Prozesslösungen und Technologietransfer	Foreign raw materials fora // Ausländische Rohstoff Foren e.g. / z.B.: DE-CL: THGA, SONAMI, ENAMI; DE-RU: DRRF Gorny Uni		
HSE Best Practice for emerging markets // SGU Best Practice für Wachstumsmärkte	Foreign cooperation markets // Ausländische Kooperationsmärkte e.g. / z.B.: Ghana, Turkey, India		
See Describence for Machistanismance	Professional organisations // Fachorganisationen, e.g. / z.B.: ISSA Mining, DMT, GIZ (PPP)		
Guidance, communication, methods // Führung, Kommunikation, Methoden	Engineers, Technicians // Ingenieure, Techniker, Meister		
Obtaining the welding certificate // Erwerben der Schweißberechtigung	Workers with welding skills // Facharbeiter mit Schweißkenntnisse	Workers with welding skills // Facharbeiter mit Schweißkenntnissen	
Working in the area of longwalls // Arbeiten im Gewinnungsfeld von Streben	Maintenance staff //	Industrial employees and	
Advance // Vorleistung	Wartungspersonal	supervisors, students //	
Extraction // Gewinnung	Blaster // Sprengmeister	Gewerbliche Mitarbeiter und Aufsichten, Studie-	
Ventilation Planning // Planung Wettertechnik	Equipment manager // Gerätewart	rende	
HSE Management // SGU Management	Occupational safety specialist, safety engineers, safety technician, students //		
	Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Sicherheitsingenieure, Sicherheitstechniker, Meister, Studierende		
Driving license // Fahrerlaubnis	Industrial employees and supervisors // Gewerbliche Mitarbeiter und Aufsichten		
Communication in dialogue // Dialogische Kommunikation	Supervisors, managers, students // Aufsichten, Führungskräfte und Studierende		

Table 2. Activities and target groups of the TZB. // Tabelle 2. Aktivitäten und Zielgruppen des TZB.

ing- and testing field for innovation by universities and specialized institutes and as showcase for machinery, equipment and processes of the mining suppliers has been sketched. Hence, the exploitation of knowledge at the TZB will outlast the active (coal) mines over decades.

3 Teaching and research mine Reiche Zeche

The research and teaching mine (FLB) Reiche Zeche (Figure 4) is a central facility of the TU Bergakademie Freiberg. At once, the FLB provides access to several large-scale units for the geothermal usage of mine water as well as access to the Rothschönberger Stollen representing a central element of the flood protection for the Freiberger mining area. The active licensed area of 4.12 km² is developed by the shafts "Alte Elisabeth" and "Reiche Zeche" and provides 19 km of roadways on five levels for research and education. In 2018, 32 underground testing, education and hands-on units have been installed including several BMBF and EU-projects

skizziert worden. Im TZB wird also noch Wissen gefördert werden, wenn die Förderstandorte im Steinkohlenbergbau hierzulande längst Geschichte sind.

3 Lehr- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche

Das Forschungs- und Lehrbergwerk (FLB) Reiche Zeche (Bild 4) ist eine zentrale Einrichtung der Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg. Gleichzeitig ist das FLB der Zugang zu mehreren großtechnischen Anlagen für die geothermische Nutzung von Grubenwässern (Schloss Freudenstein, Kreiskrankenhaus Freiberg und Campus Reiche Zeche) sowie einer der technisch befahrbaren Hauptzugänge zur Anlage des Rothschönberger Stollens, einem zentralen Element des Hochwasserschutzes im gesamten Freiberger Revier. Das aktive Bewilligungsfeld umfasst eine Fläche von 4,12 km². Aufgeschlossen durch die Schächte "Alte Elisabeth" und "Reiche Zeche" stehen zurzeit etwa 19 km Streckennetz auf fünf Sohlen für Forschung und Lehre zur Verfügung. Im Jahr

with numerous external partners. 15 universitary institutes and 33 external partners from 26 countries are involved. In more than 140 days, 1,700 shifts in educational purposes form 21 internal and external programs were absolved.

According to § 8 and § 129 of the German Mining Law (BBergG), the FLB is licensed for geothermal production and as testing mine in the framework of an ordinary operation plan. Since 2015, the ore mining is active again due to the installation of a biohydrometallic test rig by the Biohydrometallurgical Centre (BHMZ).

Since 1919, the facilities of the former Himmelfahrt Fund-grube are used for education and research in the university mine. With underground and surface facilities, the technical equipment and historic artefacts, the mine presents a modern research and teaching mine as well as one of the last silver mines in Europe open for visitors. Hence, the TU Bergakademie Freiberg is the only university in Germany and Europe with a licensed production and research mine operated for research and education.

3.1 Course-related hands-on activities

Especially in the practical education and course-related activities, emphasis is on learning in a real environment. For mining engineering students, the goal is not only the achievement of abilities to conduct certain actions, which they also learn during their placement at other mines but also to record and interpret the actions with engineering methods, to learn practical methods, to gain figures, and classification dimensions to evaluate and optimise. Internships at the FLB are also possible.

At the hands-on location "heading", e.g., the students have to conduct the actions as determine the division, mark the blasting scheme, drill with jack hammers with jacklegs, charge the boreholes and conduct further steps until the scaling (Figure 5). Furthermore, they have to record the blasting result and undertake actions to find approaches for optimization. Same procedures are applied in support installation and control, e.g., with bolt tension tests. For preparation, wrap-up and technical lectures, four lecture halls are installed underground with modern media technology which are connected with the university network as the underground labs.



Fig. 5. Heading location for student's practice.
Bild 5. Vortriebsort studentisches Praktikum. Photo/Foto: TUBAF



Fig. 4. Research and testing mine "Reiche Zeche" of TU Bergakademie Freiberg. // Bild 4. Forschungs- und Lehrbergwerk "Reiche Zeche" der TU Bergakademie Freiberg. Photo/Foto: TUBAF

2018 sind 32 untertägige Versuchs-, Lehr- und Praktikumsstände im Betrieb, darunter mehrere BMBF- und EU-Projekte mit einer Vielzahl externer Partner. Derzeit sind insgesamt 15 Institute der TU Bergakademie Freiberg und 33 externe Partner aus 26 Ländern auf dem FLB involviert. An über 140 Tagen wurden knapp über 1.700 studentische Lehr- und Praktikumsschichten aus 21 internen und externen Programmen unter Tage verfahren.

Das FLB ist nach § 8 und § 129 Bundesberggesetz (BBergG) für die geothermische Gewinnung sowie als Versuchsgrube im Rahmen eines ordentlichen Betriebsplanverfahrens bewilligt. Mit der Inbetriebnahme des Untertage-Versuchsstands des Biohydrometallurgischen Zentrums (BHMZ) im Krüger-Kolleg der Dr.-Erich-Krüger Stiftung erfolgt seit dem Jahr 2015 auch wieder die Erzgewinnung.

Seit dem Jahr 1919 wird in den Anlagen der damaligen Himmelfahrt Fundgrube im hochschuleigenen Bergwerk gelehrt und geforscht. Mit den Unter- und Übertageanlagen, den technischen Ausrüstungen und Sachzeugen präsentiert sich die Schachtanlage den Besuchern aus aller Welt sowohl fachlich als moderner Lehr- und Forschungsstandort als auch historisch als eines der letzten untertägigen Silberbergwerke in Europa. Die TU Bergakademie Freiberg ist somit europa- und deutschlandweit die einzige Hochschule, die auf ihrem Campus ein bergrechtlich bewilligtes Gewinnungs- und Forschungsbergwerk für Forschungs- und Lehrzwecke betreibt.

3.1 Studienbegleitende Praktika

Gerade in der praktischen Ausbildung und den studienbegleitenden Praktika wird hoher Wert auf das Lernen im Realumfeld gelegt. Am Beispiel der Ausbildung der Bergbaustudenten ist es Ausbildungsziel, dass die Studenten nicht nur die praktischen Fähigkeiten durchführen, die sie in ähnlicher Form auch im Zug ihrer Beflissenenausbildung auf anderen Bergwerken erlangen können, sondern dass die durchgeführten Tätigkeiten auch mit ingenieurmäßigen Methoden aufgenommen und ausgewertet werden, um praxisorientierte Methoden für die Ermittlung von Kennzahlen und Bewertungsgrößen für eine mögliche Bewertung und Optimierung zu erlernen. Die Durchführung der Beflissenenausbildung auf dem FLB ist ebenfalls möglich.



Fig. 6. Student rescue brigade is trained underground.
Bild 6. Praktische Ausbildung der studentischen Grubenwehr unter Tage.
Photo/Foto: TUBAF

Further possibilities for hands-on activities in the mining education are the haulage in roadways and shafts, the ventilation, duct tests, health and safety, gas measurements (CO₂, Radon), mine water analysis and dimensioning of ore veins. Futhermore, the student mine rescue brigade is trained underground (Figure 6).

A variety of other institutes is using the possibilities underground. The institute for mine surveying and geodesy, e.g., installed several measuring drifts in the whole mine and offers with modern technologies hands-on learning, e.g., shaft plumping which is also used by international partners. But also, course-related actitivies for geotechnicans, geophysicist, mineralogists, geologists and microbiologists are conducted frequently. A part of the mine system is available as computer-animated 3D-model and used for the preparation and simulations (Figure 7).

3.2 Professional development and vocational training

Besides the academic training, the opportunities are used in professional development and vocational training with regional partners. In 2017, a training workshop for ventilation engineers took place. The German Social Accident Insurance Institution for the Raw Materials and Chemical Industry (BG RCI) and the Wismut GmbH conducted a training workshop for directors operations for mine and mining museums. Additionally, the professional development for emergency physician was undertaken.

The FLB is also used as training location for the vocational school Julius Weisbach as well as for the practical vocational training for miners, technologists, surveyors and geo-technicians. Based on the blended training of mines in Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia, the trainees work at different mines to get a broad education.

3.3 Development to central integrated underground education and research location

With its large-scale active research facilities in underground and opportunities for education in underground, the FLB has a

So müssen die Studierenden z.B. am Praktikumsort "Streckenvortrieb" nicht nur die anfallenden Arbeiten wie Stunde hängen, Anzeichnen des Sprengbilds, die gesamte Bohrarbeit inklusive der Einbrüche mit Bohrstütze und Bohrhammer, das Laden der Bohrlöcher bis hin zum Bereißen (Bild 5) und der Lade- und Fördertätigkeit – im aktuellen Vortriebsort mit Schrapper und Wurfschaufellader – selbst durchführen, sondern das Sprengergebnis und die durchgeführten Tätigkeiten aufnehmen und mit dem Ziel, mögliche Optimierungsansätze zu finden, entsprechend auswerten. Gleiches gilt für das Setzen von Ausbau und die Ausbaukontrolle, z.B. durch Ankerzugversuche. Zur Vor- und Nachbereitung der Praktika sowie für fachspezifische Vorlesungen stehen unter Tage vier Hörsäle zur Verfügung, die mit modernster Medientechnik ausgestattet sind, und analog zu den Versuchslaboren unter Tage ans Hochschulnetz angeschlossen sind.

Weitere Praktikumsorte in der bergmännischen Ausbildung sind Strecken- und Schachtförderung, Wettertechnisches Praktikum, Luttenprüfstand, Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz, Gasmessungen (CO_2 und Radon), Grubenwasseranalyse und Bemaßung von Erzgängen. Darüber hinaus erfolgt ein Großteil der praktischen Ausbildung der studentischen Grubenwehr unter Tage (Bild 6).

Eine Vielzahl weiterer Institute nutzen ebenso regelmäßig die Ausbildungsmöglichkeiten unter Tage. So hat beispielsweise das Institut für Markscheidewesen und Geodäsie mehrere Messstrecken unter Tage im gesamten Grubengebäude installiert und kann neben modernster Vermessungstechnik hier beispielsweise auch Praktika zur Schachtlotung anbieten, ein Angebot, das auch internationale Partner nutzen. Aber auch die studienbegeitenden Praktika für Geotechniker, Geophysiker, Mineralogen, Geologen und Mikrobiologen finden regelmäßig unter Tage statt. Ein Teil des Streckennetzes des FLB liegt dabei als computeranimiertes 3D-Modell vor und findet z.B. bei vorbereitenden Übungen und Simulationen Anwendungen (Bild 7).

3.2 Berufliche Weiterbildung und Berufsausbildung

Neben der akademischen Nutzung wird die Anlage in der fachbezogenen beruflichen Weiterbildung durch Partner in der Region regelmäßig genutzt. So fanden im vergangenen Jahr eine Weiter-



Fig. 7. Mine rescue brigade training with 3D-model.
Bild 7. Übung mit dem Grubenwehrsimulator am 3D-Modell des FLB.
Photo/Foto: TUBAF

constant regional, national and international importance. In the project "EURockLab", a concept has been developed in the last years and is continuously updated with a long-term goal to integrate the FLB in research road-maps, to integrate it in research activities, and to install and join education and research networks. The Interests and necessities of primary raw materials and non-raw materials related research need to be considered and underground labs should be created. Figure 8 shows the global structure for the international integration.

To develop the potential in the best way and for long-term usage, it is necessary to take organisational, structural and infrastructural measures to evolve continuously the FLB from the current status to a superregional research location and provide possibilities for interested partners.

4 Teaching and research mine Rammelsberg

In more than 1,000 years of production until 1988, the ore mine Rammelsberg in Goslar extracted more than 30 mt of silver, copper and lead ores. As the first German industrial facility, it became an UNESCO world heritage in 1992 two years after the opening of the museum. The long research and education cooperation with Clausthal University of Technology (TU Clausthal) was agreed by contract in 2010. Since 2013, the Rammelsberg mine is the research and teaching mine of the university. The partnership connecting a mine rich in tradition with innovative research and education is shaped by underground research projects, conferences and teaching and learning activities at the mine site. The variety of possible uses exceeds the framework of this paper. Hence, typical examples for the learning environment are presented (5).

The Rammelsberg mine offers plenty of rooms, which can be used in a variety of different settings. Besides the surface facilities

TOURISM

Porschungs- und Lehrbergwerk
TU Bergakademie Freiberg

AGH Krakow, Nrosław, de potential for increase pot

Fig. 8. Strategic development concept of the FLB.
Bild 8. Strategisches Entwicklungskonzept des FLB. Source/Quelle: TUBAF

bildung für Wettersteiger oder auch die gemeinsam mit der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische Industrie (BG RCI) und der Wismut GmbH durchgeführte Einsatzleiterausbildung für Grubenbetriebe und Besucherbergwerke statt. Auch die Weiterbildung von Notärzten im Freistaat Sachsen über die besonderen Bedingungen in untertägigen Anlagen wurde erfolgreich durchgeführt.

Das FLB ist einer der Ausbildungsstandorte an der Fachschule Julius Weisbach, sowohl für die praktische Berufsausbildung zum Berg- und Maschinenmann als auch für Vermessungsfachkräfte und Geotechniker. Im Zug der Verbundausbildung von Bergbaubetrieben aus Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen für die duale Ausbildung zum Berg- und Maschinenmann arbeiten die Auszubildenden in einem mehrwöchigen Turnus auf verschiedenen Bergwerken, um eine möglichst breit gefächerte Ausbildung zu erhalten.

3.3 Entwicklung zum zentraleingebundenen untertägigen Lehr- und Forschungsstandort

Mit seinen großmaßstäblichen aktiven Forschungseinrichtungen im Bereich der untertägigen Forschung und den Möglichkeiten der Ausbildung unter Tage ist das FLB in der Region, in Deutschland und auch in Europa bereits eine konstante Größe. Unter dem Projektnamen "EURockLab" wurde in den vergangenen Jahren ein Konzept aufgestellt und kontinuierlich fortgeschrieben, mit dem langfristig die Marschrichtung für eine erweiterte Einbindung des FLB in die Forschungs-Roadmaps, die Eingliederung in Forschungsvorhaben, den Aufbau von und den Beitritt zu Ausbildungs- und Forschungsnetzwerken festlegt. Dabei sind die Interessen und Bedürfnisse sowohl der primären Rohstoffforschung als auch von nicht direkt rohstoffbezogenen Forschungsansätzen

einzubeziehen und hierfür die notwendigen untertägigen Labore und Versuchsanlagen zu schaffen. In Bild 8 ist die globale Struktur für die weitere internationale Einbindung des FLB dargestellt.

Um dieses Potential bestmöglich auszubauen und langfristig zu nutzen, ist es notwendig, durch geeignete organisatorische, strukturelle und infrastrukturelle Maßnahmen das FLB aus seinem jetzigen Status heraus sowohl als modernes Bergwerk als auch als überregionalen Forschungsstandort kontinuierlich weiterzuentwickeln und interessierten Partnern zur Verfügung zu stellen.

4 Lehr- und Forschungsbergwerk Rammelsberg

Das Erzbergwerk Rammelsberg in Goslar förderte in seiner mehr als 1.000-jährigen Geschichte bis zum Jahr 1988 mehr als 30 Mio. t Silber-, Kupfer- und Bleierze. Als erste deutsche Industrieanlage wurde es im Jahr 1992 zwei Jahre nach Eröffnung des Museums von der UNESCO zum Weltkulturerbe ernannt. Die langjährige Forschungs- und Ausbildungskooperation mit der TU Clausthal wurde im Jahr 2010 vertraglich festgehalten. Seit dem Jahr 2013 ist der Rammelsberg außerdem das Lehr- und Forschungsbergwerk der TU Clausthal. Die Partnerschaft, die ein traditionsreiches Bergwerk mit innovativer Forschung und Lehre verbindet, wird durch



Fig. 9. Underground learning. Bild 9. Untertägiger Lernort. Photo/Foto: TUC

with seminar rooms which can be used for safety instructions and group work, mostly all open areas underground are available. Instable conditions and the flooding underneath the "Rathstiefsten Stollen" restrict the area. The underground learning spaces can be equipped with presentation and working media. Additionally, the underground facilities can be used. Learning groups with a size of maximum 50 persons are possible, but the activities need to be designed for the size and character of the group. Active measures work best with group sizes from five to 15 persons.

For different activities, the Scherperstollen shown in figure 9 can be used. The main advantage of learning underground is the vicinity to the mining environment. Therefore, effects and measures can be shown and experienced directly. Due to the insufficient mobile network, which is a common underground circumstance, students can work more concentrated and learn also that an equipment planning is always critical.

Especially for introductions and basics, many elements in the underground room are useful. An example is the machinery in the underground exhibition, where the conventional cycle for road development in ore mining is presented. By walking through the exhibition area, each step can be explained by using the machinery example. Furthermore, they can be implemented in several tasks, e.g., the calculation of fresh air demand.

The design, conduct and evaluation of a ventilation survey is an important and major task of mining engineers working in the field of ventilation. Using different complexities of ventilation networks and tools for analysis, the task can be adapted for different times and with different previous knowledge used as a teaching and learning activity. By the selection of the settings different levels of complexity can be realized. Figure 10 shows the comparison of two situations. The left one can be used for the introduction on a basic level. The elements are clear and the drift has no curve. The right situation is more challenging. Besides the duct different types of support and intersection of drifts must be considered. Students develop by understanding the simple setting according to the Experiential Learning Approach a procedure for measuring which can be tested and refined by application in more complex situations. Herewith, the understanding for the underground area is trained and processes are developed to describe the enviuntertägige Forschungsaufgaben, Konferenzen und Lehr-/Lern-Aktivitäten am Rammelsberg gestaltet. Die Vielfalt der Zusammenarbeit übersteigt die Möglichkeiten dieser Veröffentlichung, sodass an ausgewählten Beispielen die Lernumgebung vorgestellt wird (5).

Der Rammelsberg bietet eine Vielzahl von räumlichen Verhältnissen an. Neben den übertägigen Einrichtungen wie Seminarräumen für Sicherheitsunterweisungen ebenso wie für Gruppenarbeiten, können fast alle untertägigen Bereiche genutzt werden. Einschränkungen ergeben sich nur durch instabile Gebirgsbedingungen und die Flutung der unteren Sohlen nach Beendigung der Produktion, welche die Bereiche unterhalb des Rathstiefsten Stollens betreffen. Die untertägigen Lernräume können mit Präsentations- und Arbeitsmedien ausgestattet werden. Zusätzlich steht die untertägige Einrichtung zur Verfügung. Die maximale Größe der Lerngruppe beträgt 50 Personen, wobei es gilt, die Aktivität auf die Gruppengröße anzupassen, sodass einige Aktivitäten nur mit Gruppen von fünf bis 15 Personen zu realisieren sind.

Für Veranstaltungen verschiedener Arten eignet sich der Scherperstollen (Bild 9). Der Hauptvorteil des untertägigen Lernens ist die Nähe des bergbaulichen Umfelds, in dem Effekte und Maßnahmen direkt gezeigt und erfahren werden können. Ein im Bergbau üblicher Umstand ist das Nichtvorhandensein von Mobilfunk- und Internetverbindungen, sodass die Studierenden einerseits konzentrierter arbeiten können, jedoch auch lernen, dass die Ausrüstungsplanung projektentscheidend sein kann.

Besonders Einführungs- und Grundlagenveranstaltungen können durch viele Elemente des untertägigen Raums unterstützt werden. Ein Beispiel bilden die Geräte der technischen Ausstellung, die den konventionellen Vortrieb im Rammelsberg darstellen. Die Schritte im Bohr- und Sprengzyklus können so befahren und anhand von Maschinen erklärt werden. Auch können diese mit wettertechnischen Aufgabenstellungen wie der Frischwetterberechnung verknüpft werden.

Ein Hauptarbeitsfeld für Wetteringenieure und ein Beispiel für eine Projektarbeit ist das Planen, Durchführen und Auswerten einer Wettermesskampagne. In verschiedenen Komplexitäten des Wetternetzes und unter Verwendung verschiedener Auswertewerkzeuge kann diese Aufgabe für verschiedene Zeiträume und Vorkenntnisse als Lern-/Lehraktivität eingesetzt werden. Bild 10 vergleicht zwei Messumgebungen mit unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen. Die linke Situation kann für die Einführung in die Wettermessung genutzt werden, da die Elemente eindeutig sind und keine Kurven und Abzweigungen vorliegen. Die rechts gezeigte Situation weist eine höhere Komplexität auf. Neben einer Lutte sind die verschiedenen Ausbauten und Abzweigungen zu berücksichtigen. Anhand der einfachen Situation können die Studierenden gemäß des erfahrungsbasierten Lernens Erfahrungen machen und Ansätze entwickeln, die in der folgenden komplexeren Situation weiterentwickelt werden. Hiermit wird das Verständnis für den untertägigen Raum geschult, und es werden Verfahren entwickelt, die Umgebung zu beschreiben und Einflussfaktoren zu identifizieren. Während des Arbeitens an der technischen Aufgabenstellung erweitern die Studierenden ihre Methodenkompetenzen in Organisation, Projektmanagement und Dokumentation und entwickeln Selbst- und Sozialkompetenz durch die Zusammenarbeit in der Gruppe.





Fig. 10. Different measurement environments, simple (left), complex (right).
Bild 10. Unterschiedliche Messumgebungen, einfach (links), komplex (rechts).
Photo/Foto: TUC

ronment and relevant factors are identified. During the work on technical tasks, the students enlarge their methodical skills in organization, project management and documentation and develop self-competence and social skills through the group work.

The results from the course evaluations and accompanying research show that the students appreciate the connection of theoretical knowledge and hands-on experiences. Especially, students without underground experiences see a big benefit through the familiarization with underground conditions with direct connections to the learning contents (6, 7).

The teaching and research mine of TU Clausthal offers a variety of rooms for mining education, where experiences can be shaped inducing a learning process. By proper design and support, it is possible to strengthen all skills through the activities.

5 Summary

Based on the three examples, the TZB Recklinghausen, the research and teaching mine Reiche Zeche and the research and teaching mine Rammelsberg, the possibility of experiental learning in authentic environments in Germany is shown which is used for different learning situations. The approaches in teaching and learning activities are similar but differ based on the adaption to environment, target group, and learning objectives making them successful and unique. By further connected development and common support, the learning spaces need to be developed in future to keep and to set the underground, reality-based education as a strength of German education.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Bartnitzki, T.: Mining 4.0 Importance of Industry 4.0 for the Raw Materials Sector. Mining Report Glückauf (153), Heft 1/2017, S. 25–31.
- (2) Weber Youngman, R.: Future of education program. Update on Subcommittee. Beijing, China, 4. Juli 2018.
- (3) Erpenbeck, J.; Heyse, V.; Meynhardt, T.; Weinberg, J.: Die Kompetenzbiographie. Wege der Kompetenzentwicklung. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage Münster: Waxmann, 2007. ISBN 9783830918080.
- (4) Kolb, D. A.; Fry, R. E.: Toward an Applied Theory of Experiential Learning: M.I.T. Alfred P. Sloan School of Management, 1974.
- (5) Ernst, C.: TU Clausthal und Welterbe Rammelsberg vertiefen Kooperation. Goslar/Clausthal, 18. Januar 2013.
- (6) Clausen, E.: Measuring the effectivity of a combined teaching and learning approach on the professional performance, acquisition of competences and student's motivation. In: H. Mischo und C. Drebenstedt, Hg. Proceedings of the 26th Annual General

Die Evaluierungsergebnisse der Lehrveranstaltungen und weitere Begleitforschung zeigen, dass die Studierenden die Verbindung von theoretischem Wissen und aktivem Handeln besonders im Projektumfeld für ihre persönliche Entwicklung schätzen. Besonders Studierende ohne Erfahrungen im untertägigen Raum sehen einen großen Mehrwert durch das Kennenlernen einer untertägigen Umgebung mit direkter Verknüpfung von Lerninhalten (6, 7).

Das Lehr- und Forschungsbergwerk der TU Clausthal bietet für die bergbauliche Ausbildung zahlreiche Räume, in denen Erfahrungen gestaltet werden können, die einen Lernprozess bei Studierenden anstoßen. Die Gestaltung und Begleitung der Aktivitäten zielt auf die ganzheitliche Kompetenzentwicklung ab.

5 Zusammenfassung

Anhand der drei Beispiele des Trainingsbergwerks Recklinghausen, des Lehr- und Forschungsbergwerks Reiche Zeche und des Lehr- und Forschungsbergwerks Rammelsberg wurde gezeigt, wie es an deutschen Standorten möglich ist, erfahrungsbasiert im universitären und außeruniversitären Rahmen zu lernen. Die Ansätze der Lehr-/Lern-Konzepte sind hierbei ähnlich. Die Anpassung auf Umgebung, Zielgruppe und Lernziele macht sie einzigartig und erfolgreich. Durch die vernetzte Weiterentwicklung und gegenseitige Unterstützung gilt es in den nächsten Jahren, diese Lernorte weiterzuentwickeln, sodass der Pfeiler der untertägigen, realitätsnahen Ausbildung eine Stärke der deutschen Ausbildung bleibt.

- Meeting & Conference of the Society of Mining Professors (SOMP), 2015, S. 43–48.
- (7) Clausen, E.; Binder, A.: Innovative learning spaces for experiental learning: Underground mines. In: R. Brennan, K. Eedström, R. Hugo, J. Roslöf, R. Songer und D. Spooner, Hg. The 13th International CDIO Conference. Proceedings Full Papers, 2017, S. 595–604.

Authors / Autoren

Angela Binder M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Technische Universität (TU) Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Prof. Dr.-Ing. Helmut Mischo, Technische Universität (TU) Bergakademie Freiberg, Freiberg, Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, Dipl.-Ing. Peter von Hartlieb, EnergieAgentur.NRW, Düsseldorf