

Internet of Things and Digitalization for the Circular Economy – a New Lecture at Clausthal University of Technology

According to the 2024 Ernst & Young ranking of top business risk and opportunities in mining and metals, workforce talent recruitment and retention, as well as digital technologies and innovation towards Mining 4.0 remain in the top ten of the outmost challenges for mining. On the first, the industry is conducting several initiatives to address the younger workforce better and to create more attractive workplaces. On the second, not only the industry plays a key role, updating mining engineering curricula to include content related to

digital and innovation aligns higher education for mining engineers with the current and future needs of the industry. It also ensures that graduates are not only technically proficient but also equipped to navigate the complexities of implementing and optimizing emerging technologies in the mining sector. Therefore, the Mining Engineering master program at Clausthal University of Technology (CUT), Clausthal-Zellerfeld/Germany, has integrated the course “Internet of Things and Digitalization for the Circular Economy” in its curricula.

Internet der Dinge und Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft – eine neue Vorlesung an der Technischen Universität Clausthal

Laut der Ernst & Young-Rangliste 2024 der größten Geschäftsrisiken und -chancen im Bergbau und in der Metallindustrie gehören die Rekrutierung und Bindung von Talenten sowie digitale Technologien und Innovationen in Richtung Bergbau 4.0 zu den zehn größten Herausforderungen für den Bergbau. Was die erste Herausforderung betrifft, so führt die Branche mehrere Initiativen durch, um jüngere Arbeitskräfte besser anzusprechen und attraktivere Arbeitsplätze zu schaffen. Zweitens spielt nicht nur die Branche eine wichtige Rolle, sondern auch die Aktualisierung der Lehrpläne für Bergbauingenieure, um Inhalte im Zusammenhang mit

Digitalisierung und Innovation einzubeziehen und die Hochschulbildung für Bergbauingenieure auf die aktuellen und künftigen Bedürfnisse der Branche abzustimmen. Dadurch wird auch sichergestellt, dass die Absolventen nicht nur technisch versiert, sondern auch in der Lage sind, die Komplexität der Implementierung und Optimierung neuer Technologien im Bergbausektor zu bewältigen. Aus diesem Grund hat der Masterstudiengang Bergbauingenieurwesen an der Technischen Universität Clausthal (TUC), Clausthal-Zellerfeld, den Kurs „Internet der Dinge und Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft“ in seine Lehrpläne integriert.

1 Situation and demand

In the contemporary era, the mining industry is undergoing a transformative evolution at an unprecedented pace, driven by the factors that collectively define the era of Mining 4.0. From the surge in data-driven technologies to the need and demand of compliance with environmental, social and governance (ESG) considerations, the forces shaping contemporary mining practices are diverse and multifaceted. Mining 4.0 last, leverages cutting-edge technologies to enhance efficiency, safety and sustainability in mining operations. At the core of this revolution lies the integration and adaptation of new technologies, leading towards a paradigm shift in mining practices. Implementing new technologies has also impacted

1 Ausgangslage und Nachfrage

In der heutigen Zeit durchläuft die Bergbauindustrie eine transformative Entwicklung in einem noch nie dagewesenen Tempo, die von den Faktoren angetrieben wird, die zusammengenommen die Ära des Bergbaus 4.0 definieren. Von der Zunahme datengesteuerter Technologien bis hin zur Notwendigkeit und Nachfrage der Einhaltung von Umwelt-, Sozial- und Governance (Environment, Social, Governance – ESG)-Überlegungen sind die Kräfte, die den heutigen Bergbau prägen, vielfältig und facettenreich. Bergbau 4.0 schließlich nutzt modernste Technologien, um die Effizienz, Sicherheit und Nachhaltigkeit im Bergbau zu verbessern. Im Mittelpunkt dieser Revolution steht die Integration und Anpassung neuer Technologien,

the traditional skill set of miners in operation, demanding a deeper understanding of information systems, adaptability and flexibility. Skills that could be supplied by a younger workforce born in this digital era. The digital transformation (DT) requires mining engineers, electrical, mechatronics, software and affine required disciplines. Unfortunately, the industry faces the enormous challenge of attracting a younger generation that is less to not interested in raw materials extraction. The need for action is hereby intensified by an aging active workforce on the way to retirement and the forecast of a rising demand for critical minerals in the coming years. However, not all is negative, a recent survey conducted among 50 CEOs and managers in the metallic industry and associated companies by the Clausthal University of Technology (CUT), Clausthal-Zellerfeld/Germany, revealed a positive widespread acknowledgment among industry leaders that the integration of fresh perspectives by younger professionals has significantly enhanced operational efficiency and innovation within their organizations. The industry leaders that participated in the survey expressed enthusiasm about the adaptability and eagerness of younger employees to embrace sustainable and environmentally conscious practices, aligning with the industry's evolving priorities. Furthermore, a comprehensive analysis of the curricula among the top ten mineral and mining engineering universities according to the QS World University Ranking 2023 of the last four years, reveals a compelling shift towards the integration of cutting-edge technologies into mining engineering graduate programs (1). Recognizing the transformative impact of the digital age on the mining industry, four out of the top ten universities have proactively adapted their curricula to equip aspiring mining engineers with the requisite skills for the Mining 4.0 era integrating coursework in the fields of data analytics, big data, Internet of Things (IoT), automation and robotics. Moreover, the shift towards emerging themes in mining engineering curricula does not only cover the DT in mining, it also aligns with the number one of the 2024 Ernst & Young top business risk and opportunities in mining and metals: ESG. Six of the top ten universities, have integrated coursework in topics aligned to tailings management, water management, environmental topics, sustainability in mining and rock slope stability which align with the ESG factors are facing the most scrutiny from investors in 2024 (Figure 1).

die zu einem Paradigmenwechsel in der Bergbaupraxis führen. Die Einführung neuer Technologien hat sich auch auf die traditionellen Fähigkeiten der Bergleute ausgewirkt und erfordert ein tieferes Verständnis von Informationssystemen, Anpassungsfähigkeit und Flexibilität. Fähigkeiten, die von einer jüngeren, im digitalen Zeitalter geborenen Belegschaft erbracht werden könnten. Die Digitale Transformation (DT) erfordert Bergbauingenieure, Elektro-, Mechatronik-, Software- und affine Disziplinen. Leider steht die Branche vor der enormen Herausforderung, eine jüngere Generation zu gewinnen, die weniger bis gar nicht an der Rohstoffgewinnung interessiert ist. Der Handlungsbedarf wird dabei durch eine alternde aktive Belegschaft, die sich auf dem Weg in den Ruhestand befindet, und die Prognose einer steigenden Nachfrage nach kritischen Mineralien in den kommenden Jahren noch verstärkt. Eine kürzlich von der Technischen Universität Clausthal (TUC), Clausthal-Zellerfeld, durchgeführte Umfrage unter 50 Geschäftsführern und Managern in der Metallindustrie und damit verbundenen Unternehmen ergab, dass die Integration neuer Perspektiven durch jüngere Fachkräfte die betriebliche Effizienz und Innovation in ihren Unternehmen deutlich verbessert hat. Die Branchenführer, die an der Umfrage teilnahmen, äußerten sich begeistert über die Anpassungsfähigkeit und den Eifer jüngerer Mitarbeiter, nachhaltige und umweltbewusste Praktiken zu übernehmen, die mit den sich entwickelnden Prioritäten der Branche übereinstimmen. Darüber hinaus zeigt eine umfassende Analyse der Lehrpläne der zehn besten Universitäten für Bergbauingenieurwesen gemäß dem QS World University Ranking 2023 der letzten vier Jahre eine zwingende Verlagerung hin zur Integration von Spitzentechnologien in Studiengänge für Bergbauingenieurwesen (1). In Anerkennung der transformativen Auswirkungen des digitalen Zeitalters auf die Bergbauindustrie haben vier der zehn besten Universitäten ihre Lehrpläne proaktiv angepasst, um angehende Bergbauingenieure mit den erforderlichen Fähigkeiten für das Zeitalter des Bergbaus 4.0 auszustatten, indem sie Lehrveranstaltungen in den Bereichen Datenanalyse, Big Data, Internet der Dinge (Internet of Things – IoT), Automatisierung und Robotik integrieren. Darüber hinaus deckt die Verlagerung auf neue Themen in den Lehrplänen für Bergbauingenieure nicht nur die DT im Bergbau ab, sondern entspricht auch der Nummer eins der Ernst & Young Top Business Risk and Opportunities in Mining and Metals 2024:

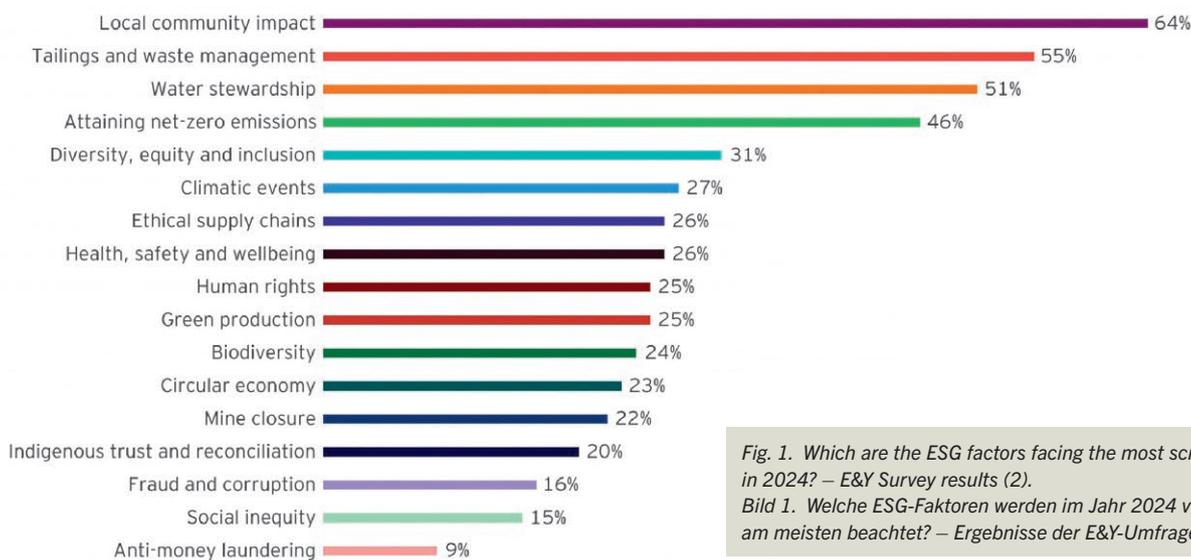


Fig. 1. Which are the ESG factors facing the most scrutiny from investors in 2024? – E&Y Survey results (2).

Bild 1. Welche ESG-Faktoren werden im Jahr 2024 von den Investoren am meisten beachtet? – Ergebnisse der E&Y-Umfrage (2).



Fig. 2. Target goals of the Internet of Things and Digitalization for the Circular Economy course.

Bild 2. Zielsetzung des Studiengangs Internet der Dinge und Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft. Source/Quelle: TUC

Proficiency in these emerging themes is essential for future mining professionals to navigate the evolving landscape effectively. This trend highlights the commitment of top mining engineering schools to produce graduates who are not only well-versed in traditional mining principles but are also adept at harnessing the potential of innovative technologies, ensuring they are at the forefront of shaping the industry's sustainable and technologically advanced future. Therefore, the Mining Engineering master program at CUT has integrated the course "Internet of Things and Digitalization for the Circular Economy" in its curricula with four target goals. The first major target of the collaboration, as on figure 2, was to integrate digital and innovation components into the curriculum to prepare students to contribute to the industry's ongoing transformation. The second goal was to address technological challenges needed to thrive the DT for mining, fostering a holistic understanding of technology, its implementation and encouraging collaboration among future mining engineers. The third goal was to improve and promote technological literacy among mining engineering master students, providing them with exposure to the terms, definitions and elements of cutting-edge technologies, ensuring they are well-prepared to leverage and contribute to advancements in the field upon entering the workforce. At last, the fourth goal, was to foster collaboration and partnerships led by the interdisciplinary characteristics of the lecturers and students, as well by enhancing the collaboration with industrial partners through guest lectures and hands-on activities like coding workshops. The course finalized its second edition at the end of the summer term 2023 and is preparing to its third edition in the summer term of 2024.

2 Approach and course scope

The "Internet of Things and Digitalization for the Circular Economy" course is chaired by the Software Services of the Circular Economy Chair of the

ESG. Sechs der zehn führenden Universitäten haben Lehrveranstaltungen zu den Themen Haldenmanagement, Wassermanagement, Umweltthemen, Nachhaltigkeit im Bergbau und Stabilität von Felshängen integriert, die mit den ESG-Faktoren übereinstimmen, die 2024 von Investoren am stärksten geprüft werden (Bild 1).

Die Beherrschung dieser aufkommenden Themen ist für künftige Bergbauexperten unerlässlich, um sich in der sich entwickelnden Landschaft effektiv zurechtzufinden. Dieser Trend unterstreicht das Engagement der führenden Bergbauingenieurschulen, Absolventen auszubilden, die nicht nur mit den traditionellen Bergbau-grundsätzen vertraut sind, sondern auch das Potential innovativer Technologien zu nutzen wissen, um sicherzustellen, dass sie bei der Gestaltung der nachhaltigen und technologisch fortschrittlichen Zukunft der Branche eine Vorreiterrolle spielen. Aus diesem Grund hat der Masterstudiengang Bergbauingenieurwesen an der TUC den Kurs „Internet der Dinge und Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft“ in seine Lehrpläne integriert, der vier Ziele verfolgt. Das erste Hauptziel der Zusammenarbeit, wie in Bild 2 dargestellt, bestand darin, digitale und innovative Komponenten in den Lehrplan zu integrieren, um die Studierenden darauf vorzubereiten, zur laufenden Transformation der Industrie beizutragen. Das zweite Ziel war die Bewältigung der technologischen Herausforderungen, die für eine erfolgreiche Entwicklung des DT für den Bergbau erforderlich sind, die Förderung eines ganzheitlichen Verständnisses von Technologie und deren Umsetzung sowie die Förderung der Zusammenarbeit zwischen zukünftigen Bergbauingenieuren. Das dritte Ziel war die Verbesserung und Förderung der technologischen

SWS	Semester 1	Semester 2	Semester 3	Semester 4
1	Underground Mining Equipment 6 CP	Responsible Mining 6 CP	Student Research Project 6 CP	Master's Thesis 24 CP
2				
3				
4				
5	Shaft Sinking and Advanced Ventilation 6 CP		Mining and Environment 6 CP	
6				
7				
8	Mineral Resources 6 CP	IoT and Digitalization for Circular Economy 6 CP	Applied Rock Mechanics 6 CP	
9				
10				
11	International Mining 6 CP	Advanced Surface Mining 8 CP		
12				
13				
14				
15	Mineral Processing 4 CP	Advanced Rock Mechanics 6 CP	Applied Rock Mechanics 6 CP	
16				
17	Geomatics 6 CP		Electives 12 CP	
18				
19				
20		Seminar 6 CP		
21				
22				
ECTS:	28	32	30	30

Fig. 3. Module overview of the Mining Engineering Master program at CUT.

Bild 3. Modulübersicht des Masterstudiengangs Bergbauingenieurwesen an der TUC. Source/Quelle: TUC

Institute for Software and Systems Engineering (ISSE), led by Prof. Benjamin Leiding, as a digital supported course in coordination with the Institute of Mining, Department of Underground Mining Methods and Machinery, at CUT. This is a second semester lecture part of the Mining Engineering Master program at CUT (Figure 3).

The course spans ten lectures and seven exercises on diverse topics related to IoT, technology, circular economy, and IoT in mining supplemented by two coding workshops as showcased on figure 4. All teaching materials are continuously updated and available via a CC-BY-SA-4.0 License at a Github repository. By taking part in this lecture, students are able to learn about circular economy in relation to the IoT, the technologies that enable IoT and its industrial applications. An important update to the first edition of this lecture was the integration of two “IoT in Mining” lectures, L08 and L09. In L08, the concept of future digital mines is introduced, the specific applications of IoT in mining industry throughout the mine value chain and the parameters that build the backbone of the DT in mining such as communication systems, data processing and associated technologies. Later, in L09, specific examples are introduced by the designation of a section for industrial guest speakers. In the summer term of 2023 CUT could count with the participation of one German mining company and one original machinery manufacturer (OEM) addressing the topics IoT in mining and Automation in Mining. Finally, L09, also introduced examples of circular economy in mining. Considering the dynamic character of the lecture, a feedback mechanism has been implemented, composed by a satisfaction

Kompetenz von Masterstudenten der Bergbautechnik, indem sie mit den Begriffen, Definitionen und Elementen von Spitzentechnologien vertraut gemacht werden, um sicherzustellen, dass sie gut vorbereitet sind, um die Fortschritte in diesem Bereich bei ihrem Eintritt in das Berufsleben zu nutzen und zu ihnen beizutragen. Das vierte Ziel schließlich war die Förderung von Zusammenarbeit und Partnerschaften durch die interdisziplinären Eigenschaften der Dozenten und Studierenden sowie die Verbesserung der Zusammenarbeit mit Industriepartnern durch Gastvorträge und praktische Aktivitäten wie Programmierworkshops. Der Kurs schloss seine zweite Auflage am Ende des Sommersemesters 2023 ab und bereitet sich auf seine dritte Auflage im Sommersemester 2024 vor.

2 Ansatz und Umfang des Studiengangs

Der Kurs „Internet der Dinge und Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft“ wird vom Lehrstuhl Software Services of the Circular Economy des Instituts für Software- und Systemtechnik (ISSE) unter der Leitung von Prof. Benjamin Leiding als ein digital unterstützter Kurs in Abstimmung mit dem Institut für Bergbau, Abteilung für Maschinelle Betriebsmittel und Verfahren im Bergbau unter Tage, an der TUC durchgeführt. Es handelt sich um eine Vorlesung im zweiten Semester des Masterstudiengangs Mining Engineering an der TUC (Bild 3).

Der Kurs umfasst zehn Vorlesungen und sieben Übungen zu verschiedenen Themen im Zusammenhang mit IoT, Technologie, Kreislaufwirtschaft und IoT im Bergbau, ergänzt durch zwei Coding-Workshops, wie in Bild 4 dargestellt. Alle Lehrmaterialien werden

kontinuierlich aktualisiert und sind unter einer CC-BY-SA-4.0-Lizenz in einem Github-Repository verfügbar. Durch die Teilnahme an dieser Vorlesung können die Studierenden etwas über die Kreislaufwirtschaft im Zusammenhang mit dem IoT, die Technologien, die das IoT ermöglichen, und seine industriellen Anwendungen lernen. Eine wichtige Aktualisierung der ersten Ausgabe dieser Vorlesung war die Integration der beiden Vorlesungen „IoT im Bergbau“, L08 und L09. In L08 werden das Konzept der zukünftigen digitalen Bergwerke, die spezifischen Anwendungen des IoT in der Bergbauindustrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette und die Parameter, die das Rückgrat des IoT im Bergbau bilden, wie Kommunikationssysteme, Datenverarbeitung und damit verbundene Technologien, vorgestellt. Später, in L09, werden spezifische Beispiele durch die Benennung eines Bereichs für industrielle Gastredner vorgestellt. Im Sommersemester 2023 konnte die TUC mit der Teilnahme eines deutschen Bergbauunternehmens und eines Originalmaschinenherstellers (OEM) rechnen, welche die Themen IoT im Bergbau und Automatisierung im Bergbau ansprechen. Schließlich stellte L09 auch Beispiele der Kreislaufwirtschaft im Bergbau vor. In Anbetracht des dynamischen Charakters der Vorlesung wurde ein Feedback-Mechanismus eingeführt, der sich aus einer Zufriedenheitsbewertung mit Fokusgruppen

Lecture topics	Excercise topics
IoT - CE- L00 - Organisation	Excercise 01 - Carbon Footprint
IoT - CE- L01- Introduction I	Excercise 02 - Performance Economy
IoT - CE- L02 - Circular Economy	Excercise 03 - Your favorite fruit or vegetable
IoT - CE- L03 - Life Cycle Assessment - LCA	Excercise 04 - LCA of your favorite fruit or vegetable
IoT - CE- L04- Introduction to the IoT	Excercise 05 - Industrial IoT
IoT - CE- L05- Communications + Security and Privacy	Excercise 06 - IoT in Mining
IoT - CE- L06- Data Processing and BigData	Excercise 07 - Technology assessment
Extra MOOC - Foodsharing	
IoT - CE- L07- Industrial Internet of Things	
IoT - CE- L08 - IoT in Mining I	
IoT - CE- L09 - IoT in Mining II	
IoT - CE- L10- Technologies for Sustainability MOOC Content	
Coding Workshop I	
Coding Workshop II	

Fig. 4. Lecture and exercise topics.
Bild 4. Vorlesungs- und Übungsthemen.
Source/Quelle: TUC

assessment with focus groups involving students and feedback rounds with the lecturers to continuously address and assess the effectiveness of the course. Hereby, the input from students has been necessary to define adjustments to improve the overall learning experience.

The overall response from the side of the students that participated in each edition has been positive, confirming the success of the implementation. Students have especially welcomed the implementation of the IoT in Mining sessions and the guided content related to DT from the side of the ISSE. Furthermore, the lecturers have highlighted the mining engineering student's motivation, their willingness to learn more and their practical approach during the coding workshops.

3 Outlook

In conclusion, the digital supported course named "Internet of Things and Digitalization for Circular Economy" at CUT emerges as a supportive resource in the context of Mining 4.0, providing a dynamic platform for disseminating knowledge and fostering expertise within the mining sector. This course comprehensively navigates the landscape of digital technologies and their application in mining, addressing crucial emerging topics such as IoT, data analytics and sustainable practices. It ensures that students gain an understanding of how cutting-edge technologies are reshaping traditional mining practices. Moreover, the lecture actively engages participants in practical implementations through live lecture streaming, case studies, exercises and promoting a hands-on approach to learning via workshops.

All teaching materials are available via a CC-BY-SA-4.0 License at a Github repository accessible via the QR Code:

Is your company conducting technology and innovation implementations in mining and you are interested in joining the third edition as a guest speaker? Please contact one of the authors for further information.



References / Quellenverzeichnis

- (1) QS Top Universities. QS World University Rankings by Subject 2023: Mineral & Mining Engineering. Accessed December 1, 2023. www.topuniversities.com/university-subject-rankings/mineral-mining-engineering
- (2) EY. Top 10 business risks and opportunities for mining and metals in 2024. Accessed December 1, 2023. www.ey.com/en_gl/mining-metals/risks-opportunities

unter Beteiligung der Studierenden und Feedback-Runden mit den Dozenten zusammensetzt, um die Effektivität des Kurses kontinuierlich anzusprechen und zu bewerten. Dabei war der Input der Studierenden notwendig, um Anpassungen zur Verbesserung der gesamten Lernerfahrung zu definieren.

Die allgemeine Resonanz seitens der Studierenden, die an jeder Ausgabe teilgenommen haben, war positiv und bestätigte den Erfolg der Umsetzung. Die Studierenden haben insbesondere die Implementierung der IoT-Mining-Sitzungen und die angeleiteten Inhalte im Zusammenhang mit DT seitens des ISSE begrüßt. Darüber hinaus haben die Dozenten in den Coding-Workshops die Motivation, die Lernbereitschaft und den praktischen Ansatz der Bergbauingenieurstudenten hervorgehoben.

3 Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vorlesung mit dem Titel „Internet der Dinge und Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft“ an der TUC eine unterstützende Ressource im Kontext von Bergbau 4.0 darstellt und eine dynamische Plattform für die Verbreitung von Wissen und die Förderung von Fachwissen im Bergbausektor bietet. Dieser Kurs bietet einen umfassenden Überblick über die Landschaft der digitalen Technologien und ihre Anwendung im Bergbau, wobei wichtige neue Themen wie IoT, Datenanalyse und nachhaltige Praktiken behandelt werden. Er stellt sicher, dass die Studierenden ein Verständnis dafür entwickeln, wie Spitzentechnologien die traditionellen Bergbaupraktiken umgestalten. Darüber hinaus bezieht die Vorlesung die Teilnehmer aktiv in die praktische Umsetzung ein, indem er Live-Vorlesungen, Fallstudien und Übungen anbietet und durch Workshops einen praxisnahen Lernansatz fördert.

Alle Lehrmaterialien sind unter einer CC-BY-SA-4.0-Lizenz in einem Github-Repository verfügbar, das über den QR-Code zugänglich ist:

Führt Ihr Unternehmen Technologie- und Innovationsimplementierungen im Bergbau durch und sind Sie daran interessiert, als Gastredner an der dritten Ausgabe teilzunehmen? Bitte kontaktieren Sie einen der Autoren für weitere Informationen.

Authors / Autoren

Sandra Nowosad M. Sc., Abteilung für Maschinelle Betriebsmittel und Verfahren im Bergbau unter Tage, Prof. Dr. Benjamin Leiding, Institute for Software and Systems Engineering (ISSE), Prof. Dr. Oliver Langefeld, Abteilung für Maschinelle Betriebsmittel und Verfahren im Bergbau unter Tage, Technische Universität Clausthal (TUC), Clausthal-Zellerfeld