



issa

INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ASSOCIATION

International Section on Prevention in the Mining Industry

[www.issa.int/prevention-mining](http://www.issa.int/prevention-mining)

VISION ZERO

Safety.Health.Wellbeing.

### Safety and Health in Mining

Safe and healthy jobs in mining, worldwide: that is the aim of the International Section of the ISSA on Prevention in the Mining Industry, in short ISSA Mining. As a not-for-profit organization, ISSA Mining unites operators, sector associations, experts and regulators to improve occupational safety and health as well as emergency response by means of international exchange on good practice, proven strategies and training concepts. ISSA Mining is one of thirteen prevention sections of the Social Security Association, headquarters in Geneva.

In this section of Mining Report Glückauf we will regularly introduce innovations, new findings and trends from an international point of view, helping to design mining work safer and health supporting.

Do you know of more efficient examples? We are looking forward to your advice as well as your feedback on this section. Send an e-mail to [helmut.ehnes@issa-mining.org](mailto:helmut.ehnes@issa-mining.org).

### Sicherheit und Gesundheit im Bergbau

Sichere und gesunde Arbeitsplätze im Bergbau, weltweit: das ist das Ziel der International Section of the ISSA on Prevention in the Mining Industry, kurz ISSA Mining. Als Non Profit-Organisation vereint ISSA Mining Unternehmen, Branchenverbände, Experten sowie Regelsetzer, um durch den internationalen Austausch von guter Praxis, bewährten Strategien und Ausbildungskonzepten den Arbeitsschutz und das Rettungswesen zu verbessern. ISSA Mining ist eine von dreizehn Sektionen für Prävention unter dem Dach der International Social Security Association mit Sitz in Genf.

In dieser Rubrik stellen wir Ihnen regelmäßig Innovationen, neue Erkenntnisse und Trends aus dem internationalen Umfeld vor, die dabei helfen, die Arbeit im Bergbau sicherer und gesundheitsgerecht zu gestalten.

Kennen Sie weitere wirksame Beispiele aus der Praxis? Über Ihre Hinweise freuen wir uns ebenso wie über Rückmeldungen zu dieser Rubrik. Senden Sie eine E-Mail an: [helmut.ehnes@issa-mining.org](mailto:helmut.ehnes@issa-mining.org).

Maximilian Getz, Arne Köller, Amir Ehsan Kianfar, Elisabeth Clausen, Marcin Skóra, Krzysztof Stankiewicz, Andrzej Drwięga

## Innovation on Suspended Monorail Locomotives for Underground Coal Mine Applications – a Project Overview

Suspended monorail locomotives are an important mining equipment for the transport of personnel and material in underground coal mines in Europe. A wide variety of diesel-driven or battery-electric locomotives are available. The EU-funded research projects BUSDUCT and HEET II conceptualized two alternative methods of electric power supply for suspended monorail locomotives. The BUSDUCT project envisions a suspended monorail loco-

otive that is powered via a busduct. The HEET II project envisions a battery-powered suspended monorail locomotive which's battery is replenished via a wireless energy transfer system that is implemented inside the monorail track. Both systems are designed for application in underground coal mines and thus needs consider the ATEX standards.

## Innovationen an Einschienenhängebahnen für den Einsatz im untertägigen Steinkohlenbergbau – ein Projektüberblick

Einschienenhängebahnen (EHB) sind wichtige Betriebsmittel für den Transport von Personal und Material in untertägigen Steinkohlenbergwerken in Europa. Eine Vielzahl von dieselbetriebenen oder batterieelektrischen EHB sind auf dem Markt erhältlich. In den von der EU geförderten Forschungsprojekten BUSDUCT und HEET II werden zwei alternative Methoden zur Stromversorgung von EHB konzipiert. Das Projekt BUSDUCT sieht eine elek-

trisch angetriebene EHB vor, die über eine Stromschiene versorgt wird. Das Projekt HEET II sieht eine batterieelektrische EHB vor, deren Batterie über ein drahtloses Energieübertragungssystem dynamisch aufgeladen wird. Beide Systeme werden für den Einsatz in untertägigen Steinkohlenbergwerken konzipiert und müssen daher die ATEX-Normen berücksichtigen.

## 1 Introduction

In Poland and formerly in Germany suspended monorail locomotives (SML) are the backbone for underground transport of personnel and materials in underground hard coal mines. Driving along a suspended monorail track below the roof they operate independently from the floor conditions. On the market, there is a wide variety of diesel-driven or battery-powered SMLs available for underground coal mining applications (1). Diesel-driven SMLs generate emissions like hazardous gases, heat and noise and puts the necessity to transport fuel to underground workings (1). Battery-driven machines lose operational time during recharging, which has to meet high requirements if applied in the potentially explosive atmospheres of underground coal mines (2). These disadvantages create a need for alternative drive concepts resolving around electrification of transport.

This paper introduces two separate European-funded projects. The project "Increase of mines efficiency and health protection through the innovative transport system based on BUSDUCT" (BUSDUCT) and the project "Innovative high efficiency power system for machines and devices, increasing the level of work safety in underground mining excavations" (HEET II). They will both present innovative concepts for the electrification of underground transportation in coal mines using SMLs. Consequently, leading to increased health protection by avoiding emissions from diesel-driven machines and to improve the productivity of the transport system. Both projects aim to design and develop prototypes for underground coal mining environment. By doing so they consider the applied explosion protection standards in the EU.

The publication will start with an overview on fundamentals of methane gas, explosions and explosion protection measures. It will continue with presenting the BUSDUCT project concept, followed by the HEET II concept. The paper concludes by illustrating on the challenges both projects face on their way from concept to implementation.

## 2 Fundamentals

### 2.1 Methane in underground coal mining

Methane is a colourless and odourless gas (3). It is the simplest member of the paraffin series of hydrocarbons (4). Under standard conditions, methane has a density of 0.656 kg/m<sup>3</sup>. Table 1 shows selected properties of methane.

The ambient pressure and temperature influence the LEL and UEL of methane. An increase in temperature and pressure increases the flammability range of methane. The influence of pressure and temperature is negligible for LEL, while there is a significant influence on the UEL (7).

Methane is produced as a by-product of the coalification process. Part of the methane that is entrapped in the coal is released

Property / Eigenschaft	Value / Wert
Lower explosion limit (LEL) in air (20 °C and 1 bar total pressure) Untere Explosionsgrenze (UEG) in Luft (20 °C und 1 bar Absolutdruck)	4,4 Vol.-%
Upper explosion limit (UEL) in air (20 °C and 1 bar total pressure) Obere Explosionsgrenze (OEG) in Luft (20 °C und 1 bar Absolutdruck)	16,5 Vol.-%
Ignition temperature / Zündtemperatur	595 °C
Minimum ignition energy / Zündenergie	0,28 mJ

Table 1. Flammability properties of methane (5, 6).

Tabelle 1. Sicherheitstechnische Eigenschaften von Methan (5, 6).

## 1 Einleitung

In Polen und ehemals auch in Deutschland stellen Einschienenhängebahnen (EHB) das Rückgrat für den Transport von Personal und Material in untertägigen Steinkohlenbergwerken dar. Da sie sich entlang einer an der Firste befestigten Schiene fortbewegen, sind sie in ihrer Fortbewegungsfähigkeit unabhängig vom Zustand der Sohle. Für Anwendungen im untertägigen Steinkohlenbergbau existiert eine Vielzahl von dieselbetriebenen oder batterieelektrischen EHB (1). Dieselbetriebene EHB erzeugen gesundheitsschädliche Gase und führen zu erhöhten Temperaturen und Lautstärken. Zudem ist eine untertägige Treibstoffversorgung erforderlich (1). Batterieelektrische EHB haben eine reduzierte Verfügbarkeit aufgrund der Notwendigkeit, die Batterie nachzuladen. Zudem muss der Ladevorgang in untertägigen Kohlebergwerken hohe sicherheitstechnische Standards erfüllen (2). Aus diesen Nachteilen beider Systeme erwächst die Möglichkeit einer Optimierung durch alternative Antriebskonzepte.

Dieser Artikel stellt zwei von der Europäischen Union (EU) geförderte Projekte vor. Das Projekt „Increase of mines efficiency and health protection through the innovative transport system based on BUSDUCT“ (BUSDUCT) und das Projekt „Innovative high efficiency power system for machines and devices, increasing the level of work safety in underground mining excavations“ (HEET II). Beide Projekte werden innovative Konzepte für die Elektrifizierung von EHB für den untertägigen Steinkohlenbergbau vorstellen, welche in einem Einsatz im Bergwerk durch die Vermeidung von Emissionen zum Gesundheitsschutz der Mitarbeiter und zu einer höheren Produktivität beitragen sollen. Die Konzeptionierung geschieht unter Berücksichtigung der gültigen Normen zum Explosionsschutz innerhalb der EU.

Der Artikel beginnt mit den Grundlagen zu Methangas, Explosionen und Explosionsschutzmaßnahmen. Anschließend werden die Konzepte der Projekte BUSDUCT und HEET II vorgestellt. Abschließend wird auf die Herausforderungen eingegangen, denen sich beide Projekte auf ihrem Weg vom Konzept zum Prototypen stellen müssen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Methan im untertägigen Steinkohlenbergbau

Methan ist ein farb- und geruchloses Gas (3). Es ist das einfachste Mitglied der Paraffinreihe der Kohlenwasserstoffe (4). Unter Standardbedingungen hat Methan eine Dichte von 0.656 kg/m<sup>3</sup>. Tabelle 1 zeigt ausgewählte sicherheitstechnische Eigenschaften von Methan.

Die UEG und die OEG von Methan werden durch Umgebungsdruck und -temperatur beeinflusst. In absoluten Zahlen ist die Absenkung der UEG durch erhöhten Umgebungsdruck und erhöhte Umgebungstemperatur geringer als die Erhöhung der OEG (7).

Methan entsteht als Nebenprodukt des Inkohlungsprozesses. Ein Teil des in der Kohle eingeschlossenen Methans wird durch die bergmännischen Tätigkeiten freigesetzt. Die Freisetzungsraten hängen von einer Reihe von Parametern wie dem Methangehalt des Gebirges, der Durchlässigkeit des Gesteins und dem Umfang der bergbaulichen Tätigkeit ab. Methan strömt lokal in erhöhten Konzentrationen in einen aktiven Grubenbau ein und wird anschließend durch den

continuously and the rate of release depends on a variety of parameters including methane content, the permeability of the cleat system, the degree of fracturing of the coal and the extent of the mining activity. Methane normally enters the active mine workings as a localized source at elevated concentrations and is then mixed with the mine air and consequently diluted. In case of insufficient ventilation volume flow rates methane tends to form layers. (7)

## 2.2 Explosion protection

An explosion is an abrupt oxidation or decomposition reaction which produces an increase in temperature and pressure (8). For an explosion to occur under atmospheric conditions, flammable material, oxygen and a source of ignition need to be present at the same time. If air and flammable gases, vapours, fog or dust that can be ignited under atmospheric conditions mix, an explosive atmosphere is created.

To prevent explosions from occurring, explosion protection measures need to be applied. Explosion protection measures are divided into the following three categories:

- Primary explosion protection measures, which are all technical measures that prevent or restrict the occurrence of an explosive atmosphere.
- Secondary explosion protection measures, which are all technical measures that prevent the occurrence of an ignition source.
- Constructional explosion protection measures, which are all technical measures that reduce the impact of an explosion to an acceptable level. (9)

## 2.3 Legislation overview

For the development of prototypes for the application in an underground coal mine environment, it was required to consider the relevant standards in the geographic region. In the EU, the European Commission Directive 2014/34/EU (ATEX) sets the requirements for the operation and manufacturing of equipment to be used in potentially explosive atmospheres (10). In China, the Guobiao system is applied together with standard GB3836. In the USA, the legislation of Hazardous Locations aims at controlling the risks associated with explosions. In Australia, the New South Wales Coal Mine Health and Safety Regulation and in Brazil the INMETRO Regulation Portaria 83:2006 state the requirements for electrical equipment used in explosive atmospheres. Special focus for the projects presented in this paper is the ATEX directive. (11)

## 3 BUSDUCT

### 3.1 Project overview

The project "Increase of mines efficiency and health protection through the innovative transport system based on BUSDUCT" (BUSDUCT) was funded by the Research Fund for Coal and Steel (RFCS) of the EU. It was conducted from 2019 to 2022. The project consortium consisted of the following members:

- Instytut Techniki Górniczej KOMAG (KOMAG), Polen;
- Becker-Warkop SPZOO (BECKER-WARKOP), Polen;
- Polska Grupa Gornicza SA (PGG SP. ZOO), Polen;
- RWTH Aachen University (RWTH), Germany;
- Bartec Varnost (BARTEC VARNOST), Slovenia.

Wetterstrom verdünnt. Bei zu geringen Wetzervolumenströmen neigt das Methan zur Schichtenbildung unterhalb der Firste. (7)

## 2.2 Explosionsschutz

Eine Explosion ist eine plötzliche Oxidationsreaktion, welche einen Anstieg der Temperatur und des Drucks zur Folge hat (8). Damit eine Explosion unter atmosphärischen Bedingungen auftritt, müssen entflammbare Substanz(en), Sauerstoff und eine Zündquelle zur gleichen Zeit am gleichen Ort sein. Ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben kann unter atmosphärischen Bedingungen zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre führen.

Zur Vermeidung von Explosionen werden Explosionsschutzmaßnahmen angewendet. In dieser Arbeit werden die Explosionsschutzmaßnahmen in die drei nachfolgenden Kategorien unterteilt:

- Der primäre Explosionsschutz fasst alle Maßnahmen zusammen, welche die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre verhindern oder einschränken.
- Der sekundäre Explosionsschutz fasst alle Maßnahmen zusammen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern.
- Der konstruktive Explosionsschutz fasst alle Maßnahmen zusammen, welche Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken. (9)

## 2.3 Überblick über die Gesetzgebung

Die Entwicklung von Prototypen für den Einsatz in untertägigen Steinkohlenbergwerken macht es erforderlich, die einschlägigen Normen der betreffenden Regionen zu berücksichtigen. In der EU legt die Richtlinie 2014/34/EU der Europäischen Kommission (ATEX) die Anforderungen für den Betrieb und die Herstellung von Geräten fest, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden sollen (10). In China wird das Guobiao-System zusammen mit der Norm GB3836 angewendet. In den USA zielt die Gesetzgebung für Hazardous Locations (HazLoc) auf die Kontrolle der mit Explosionen verbundenen Risiken ab. In Australien regelt die New South Wales Coal Mine Health and Safety Regulation und in Brasilien die INMETRO-Verordnung Portaria 83:2006 die Anforderungen an elektrische Geräte, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden. Für die in diesem Artikel vorgestellten Projekte liegt besonderes Augenmerk auf der ATEX-Richtlinie. (11)

## 3 BUSDUCT

### 3.1 Projektübersicht

Das Projekt „Increase of mines efficiency and health protection through the innovative transport system based on BUSDUCT“ (BUSDUCT) wurde durch den Research Fund for Coal and Steel (RFCS) der EU gefördert. Das Projekt wurde von 2019 bis 2022 durchgeführt, und das Projektkonsortium bestand aus den folgenden Partnern:

- Instytut Techniki Górniczej KOMAG (KOMAG), Polen,
- Becker-Warkop SPZOO (BECKER-WARKOP), Polen,
- Polska Grupa Gornicza SA (PGG SP. ZOO), Polen,
- RWTH Aachen University (RWTH), Deutschland,
- Bartec Varnost (BARTEC VARNOST), Slowenien.

The consortium consisted of the research institutions KOMAG (project leader) and the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) of RWTH, Becker as a manufacturer of SMLs, PGG as a coal mine operator in Poland and BARTEC VARNOST as a manufacturer of electrical equipment for underground mining applications.

The international project consortium aimed to develop a prototype of a suspended monorail locomotive (SML), which is powered with electrical energy via a busduct. The application area of the developed prototype is underground hard coal mining. Thus, the design was conceptualised as explosion-proof. The prototype was conceptualised to be operated without diesel emissions, achieving a travel speed of up to 4 m/s with approximately 30% less weight than comparable battery-powered monorail locomotives.

### 3.2 Concept

The prototype of the SML to be developed was designed to drive forward and backwards on the monorail with up to 4 m/s powered by a three-phase (500 V AC) busduct. A busduct consists of a duct made out of metal or resin that contains metallic strips or bars made out of copper aluminium. Busduct presents an alternative to conducting power via cables. The busduct to be used in this project consisted of four single lines. Contrary to previous projects attempting to power suspended monorail locomotives electrically with busducts an open type of busduct is used (12). Two current collectors (CC) draw power from the busduct lines. Each CC consists of four single brush collectors. Figure 1 presents an extract from the prototype model focusing on the busduct and a single CC developed by KOMAG.

To use the prototype SML in potentially explosive atmospheres, the CC has to be isolated from the mine atmosphere as ignition source due to electrical sparks cannot be entirely prevented. For this purpose, inert gas is supplied to the inside of every single brush collector in which the ignition source resides. The inert gas in use for the project BUSDUCT is nitrogen. A nitrogen generator will be an integral part of the prototype SML. This nitrogen generator will filter nitrogen from the surrounding mine air

Das Konsortium besteht aus den Forschungseinrichtungen KOMAG (Projektleiter) und dem Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH, BECKER-WARKOP als Hersteller von Einschienenhängebahnen, PGG als Bergwerksbetreiber von Steinkohlenbergwerken in Polen sowie BARTEC VARNOST als Hersteller von elektrischen Einrichtungen für den untertägigen Steinkohlenbergbau.

Ziel des internationalen Projektkonsortiums war die Entwicklung eines Prototyps einer EHB, die über eine Stromschiene mit elektrischer Energie versorgt wird. Der Anwendungsbereich des entwickelten Prototyps ist der untertägige Steinkohlenbergbau. Der Prototyp wurde so konzipiert, dass er ohne Dieselemissionen betrieben werden kann, eine Fahrgeschwindigkeit von bis zu 4 m/s erreichen kann und ca. 30% leichter ist als vergleichbare batteriebetriebene Zugmaschinen.

### 3.2 Konzept

Die prototypische EHB kann mit einer Geschwindigkeit von bis zu 4 m/s vorwärts und rückwärts fahren. Die Stromversorgung erfolgt über eine parallel zur Schiene angebrachte Stromschiene, welche Drei-Phasen-Wechselstrom (500 V AC) bereitstellt. Diese Stromschiene besteht in der Regel aus einem Gehäuse aus Metall oder Kunstharz, welches Platten aus Kupfer oder Aluminium enthält. Derartige Stromschienen stellen eine Alternative zur Stromübertragung mittels Kabel dar. Im Projekt BUSDUCT wird, anders als in vorangegangenen Projekten, eine offene Stromschiene bestehend aus vier einzelnen Schienenelementen verwendet (12). In Bild 1 ist eine vom Projektpartner KOMAG erstellte Konzeptzeichnung der EHB dargestellt.

Für die Anwendung im untertägigen Steinkohlenbergbau muss der Interaktionsbereich zwischen Stromabnehmer und Stromschiene explosionssicher ausgestaltet werden. Daher wird der innere Bereich eines jeden Einzelelements der beiden Stromabnehmer mittels Stickstoff inertisiert. Ein Stickstoffgenerator konzentriert den in den Wettern enthaltenen Stickstoff bis zu einer Konzentration von mehr als 95 Vol.-% auf. Über insgesamt 16 Versorgungsleitungen werden dadurch alle Einzelelemente

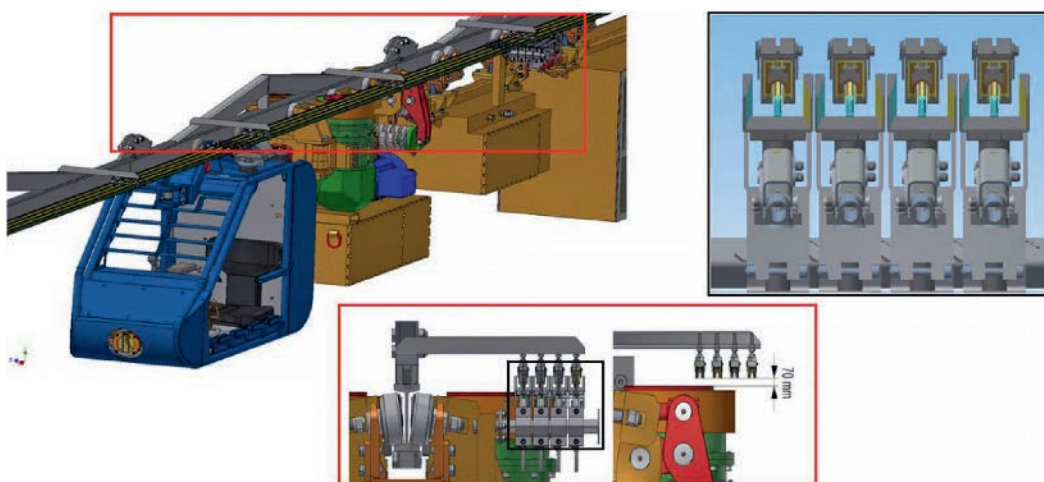


Fig. 1. SML concept of the BUSDUCT project (left), location of the busduct in relation to the suspended monorail (bottom), busduct and CC in detailed view (right). // Bild 1. EHB-Konzept des Projekts BUSDUCT (l.), Lage der Stromschiene (unten), Stromschiene und Stromabnehmer in der Detailsicht (r.). Source/Quelle: KOMAG

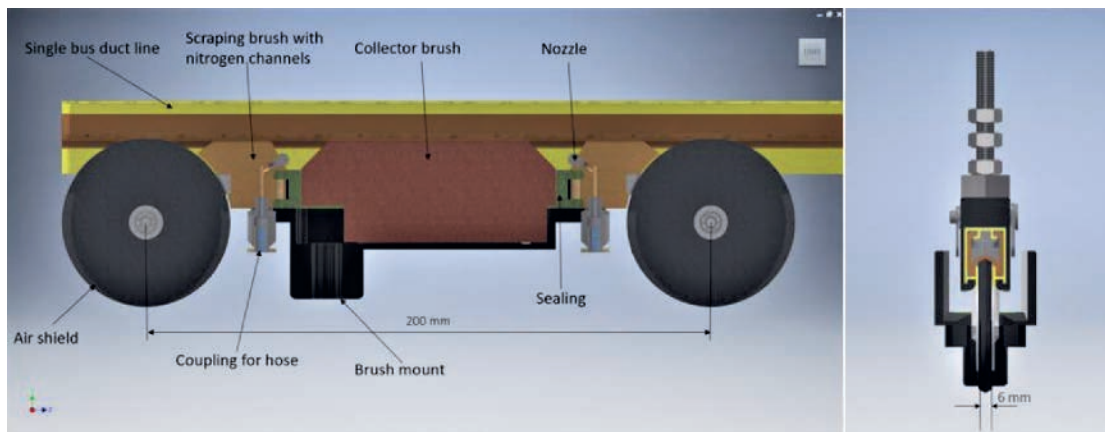


Fig. 2. Cut through single brush collector parallel to driving direction (left), depiction of single brush collector in driving direction (right). // Bild 2. Schnitt durch Einzelelement des Stromabnehmers (l.), Darstellung des Einzelelements des Stromabnehmers in Fahrtrichtung (r.). Source/Quelle: KOMAG

and supply a stream of nitrogen with at least 95 vol.-% purity to every single brush collector of the two CCs. Every single brush collector is supplied with nitrogen via two pipes. Given the two CCs on the SML, each of which consists of four single brush collectors, a total of 16 supply pipes will be installed.

To properly isolate the single brush collector from the mine atmosphere sealings are necessary that also help to contain the nitrogen-rich atmosphere inside the single brush collector. KOMAG designed such a seal as well as the integration of the nitrogen supply channel. In this case, the busduct is considered as an enclosure located in a mining hazardous area, containing potential ignition sources and energized bare conductors. The standardized explosion protection mode applied as a technical rule is the pressurized enclosure, which is defined in EN-IEC 60079-2. The design of such a brush collector and a scale indicating its dimensions are shown in Figure 2. The supply stream from the nitrogen generator is injected into the area around the CC via nozzles.

Based on the developed concept for the safe operation of the busduct and the environmental conditions given in underground coal mines operated by PGG a monitoring sensor system was developed by KOMAG and AMT. Its description will be separated into two distinct sub-systems. One sub-system will focus on the monitoring system for the surrounding mine atmosphere of the SML. As it is an electrical equipment, the SML needs to shut down if the limit value for the methane concentration in the surrounding atmosphere is reached. In underground mine drifts with electric traction, the limit value is 0.5 vol.-% of methane (Polish mining law). The chosen methane was the HASO MPS-1i from the company HASO S. C.

The other sub-system focuses on the inertisation system in proximity to the current collector. A conceptual sketch of the system is given in Figure 3. From the nitrogen generator, a gas mixture with over 95 vol.-% of nitrogen is supplied through a solenoid valve (4), which can open and close. After the solenoid valve, the flow is branched into two main branches in each the pressure is reduced to 1 bar and the flow is monitored via an orifice flow meter (6) PR-28 Smart flowmeter of Aplisens S.A. After the volumetric flow rate measurement, the flow is branched again to supply all single brush collectors of the two current collectors. The brush is

der zwei Stromabnehmer mit einem kontinuierlichen Strom Inertgas versorgt.

Für die Inertisierung der Stromabnehmer müssen deren einzelne Elemente abgedichtet werden. Das Dichtungskonzept für die Stromabnehmer (Bild 2) wurde vom Projektpartner KOMAG erstellt. Zudem wurden Zuleitungen für das Inertgas in jedes Einzelement der Stromabnehmer integriert. In diesem Konzept wird die Stromschiene als ein Gehäuse angesehen, welches potentielle Zündquellen und offenliegende Stromleitungen enthält. Als Explosionsschutzkonzept wird nach EN-IEC 60079-2 eine Überdruckkapselung verwendet.

Basierend auf dem entwickelten Konzept für den sicheren Betrieb der Stromschiene und den Umgebungsbedingungen in den von der PGG in Polen betriebenen Steinkohlenbergwerken wurde von der KOMAG und dem AMT ein Sensorsystem entwickelt. Dessen Beschreibung wird nachfolgend in zwei verschiedene Teilsysteme aufgeteilt. Das eine Teilsystem dient als Überwachungssystem für den Methangehalt in den Wettern. Da es sich um eine elektrische Einrichtung handelt, muss die EHB bei Erreichen des Grenzwerts für die Methankonzentration in den Wettern abgeschaltet werden. In untertägigen Strecken, in denen Stromschiene verbaut sind, liegt dieser Grenzwert bei 0,5 Vol.-% Methan. Das gewählte Gasmessgerät war das HASO MPS-1i der Firma HASO S. C.

Das andere Teilsystem ist das Inertisierungssystem für die Stromabnehmer. Eine Konzeptskizze dieses Systems ist in Bild 3 dargestellt. Vom Stickstoffgenerator wird ein Gasgemisch mit über 95 Vol.-% Stickstoff durch ein Magnetventil (4) geleitet, welches öffnen und schließen kann. Nach dem Magnetventil wird der Strom in zwei Hauptströme geteilt, in denen der Druck jeweils auf 1 bar reduziert und der Volumenstrom über das Blenden-Durchflussmessgerät (6) PR-28 Smart der Firma Aplisens S.A. gemessen wird. Nach der Volumenstrommessung wird der Strom erneut aufgeteilt, um alle Einzelemente beider Stromabnehmer zu versorgen. Jedes Einzelement stellt dabei ein undefiniertes und bewegtes überdruckgekapseltes Gehäuse dar. Nach EN-IEC 60079-2 muss mindestens ein Überdruck von 50 Pa innerhalb einer Überdruckkapselung aufrechterhalten werden. Dieser Überdruck wird von Drucksensoren des Typs APRE-2000G/Exia/-250...250Pa/o...250Pa/GP (8) überwacht. Der Messbereich der

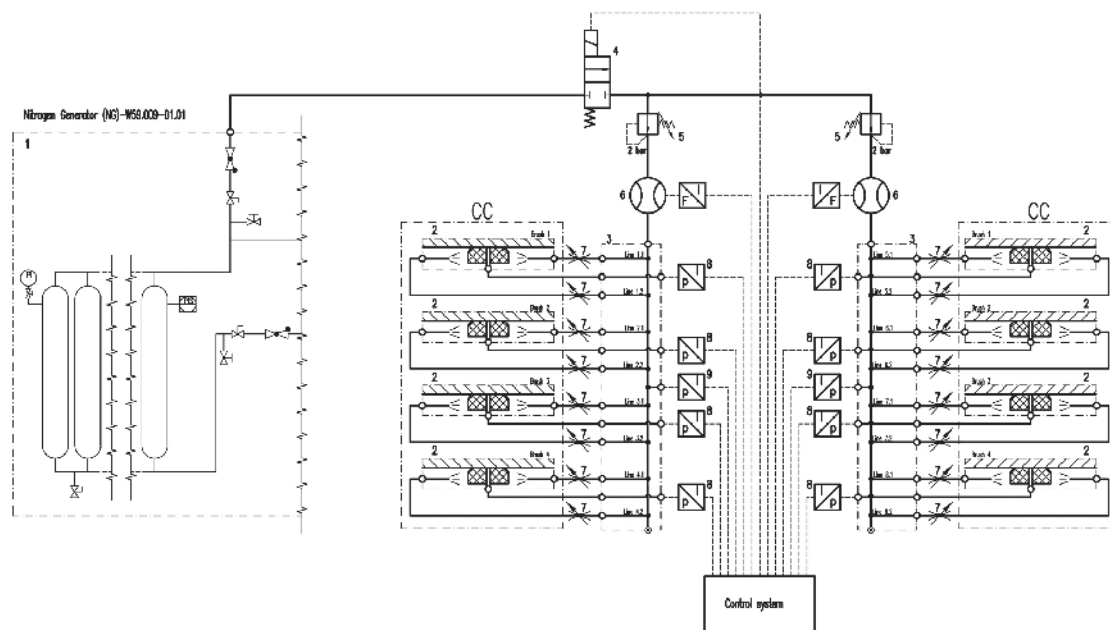


Fig. 3. Inertisation system for current collector.

Bild 3. Inertisierungssystem für die Stromabnehmer. Source/Quelle: KOMAG

sealed to form an undefined and moving pressurized enclosure. As the pressurised enclosure created inside the single brush collector has no defined outlet, monitoring the flow rate at the outlet is not applied. EN-IEC 60079-2 states that a required overpressure of 50 Pa has to be maintained during normal operation and in the period between the occurrence of the explosive atmosphere and switching off the equipment. This minimum overpressure needs to be monitored by pressure sensors (8). The selected pressure sensor for the design phase was the APRE-2000G/Exia/-250...250Pa/o...250Pa/GP in the measurement range of 0 to 250 Pa from the company Aplisens S.A. To monitor the pressure inside the single brush collector, pressure measurement holes were integrated inside the collector brush. An additional pressure sensor was implemented. The Aplisens PC-28/Ex/o-3bar/PK/M pressure converter (9) is installed on the discharge manifold of the nitrogen tank behind the pressure-reducing valves (5). It controls the nitrogen pressure in the supply lines. All listed components are ATEX-certified for underground coal mining applications

## 4 HEET II

### 4.1 Project overview

The project “Innovative high efficiency power system for machines and devices, increasing the level of work safety in underground mining excavations” (HEET II) is funded by the Research Fund for Coal and Steel (RFCS) of the EU. The project started in 2020 and will end in 2023. The project consortium consist of the following members:

- Instytut Techniki Gorniczej KOMAG (KOMAG), Poland;
- Politechnika Slaska (SUT), Poland;
- Główny Instytut Gornictwa (GIG), Poland;
- RWTH Aachen University (RWTH), Germany;
- SWE Spolka z Ograniczona Odpowiedzialnoscia (SWE), Poland;
- Universitatea Dunarea de jos din Galatoi (UDJG), Romania;
- JSW Innowacje Spolka Akcyjna (JSWI), Poland.

Sensoren beträgt 0 bis 250 Pa. Der Hersteller ist erneut die Firma Aplisens S.A. Die Messung des Überdrucks erfolgt durch Durchgangsbohrungen innerhalb der Bürste eines Einzelelements eines Stromabnehmers. Zur Überwachung des Überdrucks in der Zuleitung für jeden der zwei Stromabnehmer wurde nach dem Druckbegrenzungsventil (5) ein PC-28/Ex/o-3bar/PK/M Drucktransmitter (9) implementiert. Diese Komponente und alle weiteren gelisteten Komponenten haben eine ATEX-Zertifizierung für den untertägigen Bergbau.

## 4 HEET II

### 4.1 Projektübersicht

Das Projekt „Innovative high efficiency power system for machines and devices, increasing the level of work safety in underground mining excavations“ (HEET II) wurde durch den Research Fund for Coal and Steel (RFCS) der EU gefördert. Das Projekt startete im Jahr 2020 und wird 2023 enden. Das Projektkonsortium besteht aus den folgenden Partnern:

- Instytut Techniki Gorniczej KOMAG (KOMAG), Polen,
- Politechnika Slaska (SUT), Polen,
- Główny Instytut Gornictwa (GIG), Polen,
- RWTH Aachen University (RWTH), Deutschland,
- SWE Spolka z Ograniczona Odpowiedzialnoscia (SWE), Polen,
- Universitatea Dunarea de jos din Galatoi (UDJG), Rumänien,
- JSW Innowacje Spolka Akcyjna (JSWI), Polen.

Das Konsortium besteht aus den Forschungseinrichtungen KOMAG (Projektleiter), GIG, UDJG, SUT und AMT der RWTH, dem Unternehmen SWE als Hersteller von Verbundwerkstoffkomponenten und JSWI zur Unterstützung des Innovationsprozesses. Das internationale Konsortium des HEET II-Projekts in Anlehnung an die SML hat sich zum Ziel gesetzt, einen Prototyp einer vereinfachten batterieelektrischen EHB zu entwickeln, deren Batterie während der Fahrt wieder aufgeladen werden kann.

The consortium consists of the research institutions and companies KOMAG (project leader), GIG, UDJG, SUT, and AMT of RWTH, SWE as a manufacturer of composite components and JSWI for supporting innovation processes. The international consortium of the HEET II project according to the SML aims to develop a prototype of a simplified battery-powered suspended monorail locomotive (SML), specifically the tractor system, which can be recharged during driving.

The electric power supply alongside the suspended monorail will be implemented via a single-wire transmission line. Therefore, the second electrical conductor can be omitted, reducing the risk of explosions and electrocutions. The rail, which is commonly manufactured from steel, will be replaced using a newly developed composite rail, making it lighter and less prone to bending. The rail can then be used as the transmitter for wireless power transfer via capacitive coupling to the monorail vehicle. (2)

Additionally, an environmental monitoring system will be placed alongside the suspended monorail. The AMT is developing various modules that will monitor the tractor, the gas concentration of various gases and environmental parameters such as humidity and temperature. These data will be transmitted to surface headquarters for further processing and decision making. (2)

#### 4.2 Concept

First, the focus of the conceptual description will be set on the wireless energy transfer system (WET) developed by KOMAG. It will be followed by a closer description of the monitoring system developed by AMT. An overall overview of the project's implementations is shown in Figure 4.

To increase the battery runtime of an SML and to prevent special procedures for recharging the battery the HEET II project develops a WET. The coupling elements are capacitor plates installed into a suspended monorail made out of composite material. The second pair of plates will move with the tractor, forming the capacitive coupling. A WET system transmitter (WET3) generates a high voltage, high-frequency current which is transmitted to the receiver (WET4) via the monorail track. The receiver powers an

Die Stromversorgung entlang der EHB-Schiene wird über eine eindrahtige Übertragungsleitung realisiert. Dadurch kann der zweite elektrische Leiter eingespart werden, was das Risiko von Explosionen und Stromschlägen verringert. Die Schiene, die üblicherweise aus Stahl hergestellt wird, wird durch eine neu entwickelte Schiene aus Verbundmaterial ersetzt, die leichter und weniger empfindlich gegen Biegung ist. Die Schiene dient als Transmitter für die drahtlose Energieübertragung über eine kapazitive Kopplung an die EHB. (2)

Zusätzlich wird ein Sensorsystem zur Überwachung von Umgebungsparametern installiert. Das AMT entwickelt verschiedene Module, die Zustandsdaten der Zugmaschine, die Gaskonzentration verschiedener Gase und Umgebungsparameter wie relative Luftfeuchtigkeit und -temperatur überwachen. Diese Daten werden zur weiteren Verarbeitung und Entscheidungsfindung an die Grubenwarte über Tage übermittelt. (2)

#### 4.2 Konzept

Zunächst erfolgt die Beschreibung des von der KOMAG entwickelten Konzepts für das drahtlose Energieübertragungssystem (WET). Im Anschluss daran wird das vom AMT entwickelte Sensorsystem näher beschrieben. Einen Gesamtüberblick des Konzepts zeigt Bild 4.

Um die Batterielaufzeit einer EHB zu verlängern, wird im Projekt HEET II ein WET entwickelt. Dieses besteht aus Platten aus einem leitfähigen Metall, welche in die neu entwickelte Verbundschiene eingebaut sind. Die Gegenstücke dieser Platten befinden sich an der Zugmaschine der EHB. Ein Transmitter (WET3) überträgt Strom mit einer hohen Spannung und einer hohen Frequenz zu einem Empfänger (WET4) über die EHB-Schiene. Der Empfänger versorgt ein Ladesystem, über welches die Batterie der EHB geladen wird. WET3 wird über ein Eindrahtsystem (SWET) mittels Gleichstrom versorgt. Bei diesem Eindrahtsystem wird der elektrische Strom über einen Rückleiter geschlossen. Das SWET erhält den Strom vom Stromnetz des Bergwerks. (2)

Das Gesamtsystem des HEET II-Projekts umfasst auch ein Teilsystem für die Kommunikation von Daten sowie die Um-

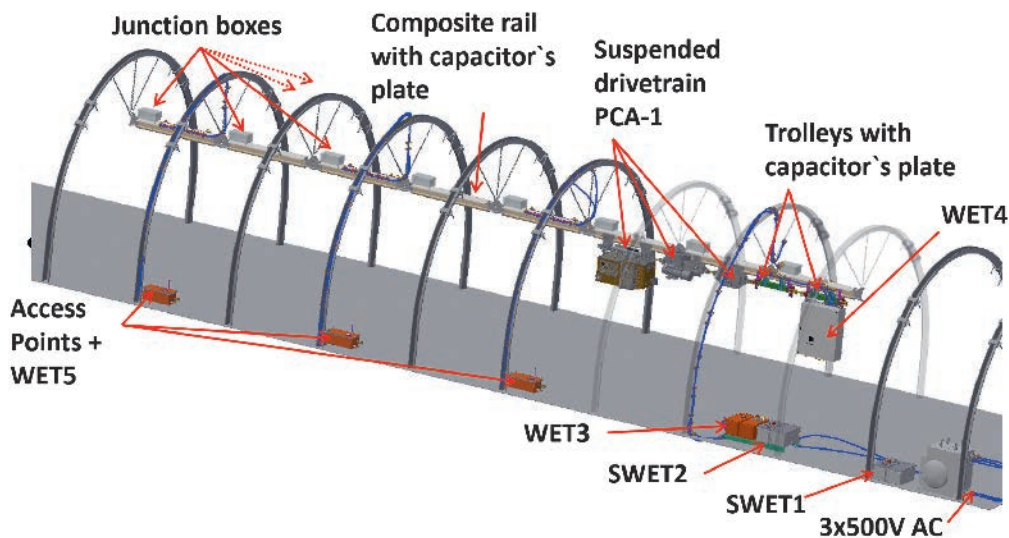


Fig. 4. Visualization of the main modules associated with the SWET and WET system (2).  
Bild 4. Visualisierung der wichtigsten Module des SWET- und WET-Systems (2).

additional charger, which further charges the SML's battery. The transmitter of the WET system is supplied via direct current. The current is supplied through a single-wire energy transfer (SWET) system. In this single-wire system, the electrical current is closed using a return conductor. The SWET system receives its power by the mine power supply. (2)

The system also features a subsystem related to communication and environmental monitoring. The communication subsystem uses wireless transmission between the suspended tractor, the WETs, and the sensor and communication modules (access points – AP) associated with the suspended route. To eliminate the need to run power cables to these sensor and access point modules, they were also equipped with the WET wireless power system (WET5). The modules feature onboard battery systems to account for down times. (2)

One module of the monitoring system monitors the suspended tractor and the WET4. The information from this tractor module is transferred to AP. The tractor module is connected to the internal tractor system via a controller area network (CAN) bus. Via this connection, it receives status information like the status of the control relays and measurement values like the battery current. These data are aggregated and transferred via Wireless-Fidelity (Wi-Fi) to the closest AP. Various APs are located along the suspended monorail track. They create a Wi-Fi mesh network. The tractor module automatically routes to the closest AP and transfers the above-mentioned data from the tractor. Additionally, the APs are equipped with sensors to monitor environmental parameters. These sensors are gas concentration sensors for the gases carbon monoxide, methane and oxygen as well as the ambient relative humidity and air temperature. The sensor data in combination with the data from the tractor are sent wirelessly from one AP to another up to the gateway module. The gateway module acts as the main connection to the database server, which is located on the surface. The gateway is connected to the server via a single-mode optical fibre, which is used to transfer the aggregated data and information to the database server. (2)

These different modules are all installed in a flameproof enclosure. Components of the system that are on the outside of the enclosure like the sensors for perceiving environmental parameters and the Wi-Fi antenna as well as the power supplies are all ATEX-certified for underground coal mining applications. (2)

## 5 Conclusion

This paper presented an overview of two concepts for alternative electric supplies for suspended monorail locomotives for underground hard coal mining operations. The BUSDUCT project envisions a suspended monorail locomotive that is powered via a busduct. With a nitrogen generator, a pressurized enclosure is formed around the area of interaction between the current collector and busduct. The HEET II project envisions a battery-powered suspended monorail locomotive which's battery is replenished via a wireless energy transfer system that is implemented inside the monorail track. Both innovative concepts are in line with the general trend for electrification in mining (13). Thus, enhancing worker health by avoiding diesel emissions. For both projects process and environmental safety sensors are the backbone for a safe and efficient process in an underground mi-

gebungs- und Maschinenüberwachung. Das Kommunikationsteilsystem nutzt drahtlose Datenübertragung zwischen der Zugmaschine, den WETs und den Sensor- und Kommunikationsmodulen (Access Points – AP), die mit den EHB-Schienen verbunden sind. Damit keine Stromkabel zu den Modulen verlegt werden müssen, wurden diese ebenfalls mit einem WET ausgestattet (WET5). Die Module sind zusätzlich mit einem integrierten Batteriesystem ausgestattet. (2)

Ein Modul des oben benannten Teilsystems überwacht die Zugmaschine der EHB und das WET4. Die Informationen von diesem Tractor Modul (TM) werden an AP übertragen. Das TM ist über einen Controller Area Network (CAN)-Bus mit dem internen System der Zugmaschine verbunden. Über diese Verbindung erhält es Statusinformationen wie den Zustand der Steuerrelais und Messwerte wie den Batteriestrom. Diese Daten werden aggregiert und über Wireless-Fidelity (Wi-Fi) an den nächstgelegenen AP übertragen. Entlang den Schienen befinden sich mehrere APs, welche ein Wi-Fi-Mesh-Netzwerk bilden. Das TM verbindet sich automatisch mit dem nächstgelegenen AP und überträgt die oben genannten Daten von der Zugmaschine. Zusätzlich sind die Zugangspunkte mit Sensoren zur Überwachung von Umgebungsparametern ausgestattet. Bei diesen Sensoren handelt es sich um Gaskonzentrationsensoren für Kohlenmonoxid, Methan und Sauerstoff sowie Sensoren für die Messung der relativen Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur. Die Sensordaten werden in Kombination mit den Daten der Zugmaschine drahtlos von einem Zugangspunkt zum anderen bis zum Gateway Modul (GM) gesendet. Das GM fungiert als Hauptverbindung zum Datenbankserver, der sich über Tage befindet. Das Gateway ist mit dem Server über einen Singlemode-Lichtwellenleiter verbunden, über den die aggregierten Daten an den Datenbankserver übertragen werden. (2)

Diese verschiedenen Module sind alle druckfest gekapselt. Komponenten des Systems, die sich außerhalb des Gehäuses befinden, wie z.B. die Sensoren zur Erfassung von Umgebungsparametern und die Wi-Fi-Antenne sowie die Stromversorgung, sind alle für den Einsatz im untertägigen Steinkohlenbergbau ATEX-zertifiziert. (2)

## 5 Fazit

In diesem Artikel wurden zwei Konzepte für die Elektrifizierung von EHB für den untertägigen Steinkohlenbergbau vorgestellt. Das BUSDUCT-Projekt sieht eine elektrisch angetriebene EHB vor, die über eine Stromschiene versorgt wird. Unter Verwendung eines Stickstoffgenerators und nachgeschaltetem Inertisierungssystem wird eine Überdruckkapselung im Bereich der Wechselwirkung zwischen Stromabnehmer und Stromschiene gebildet. Das Projekt HEET II sieht eine batterieelektrische EHB vor, deren Batterie über ein drahtloses Energieübertragungssystem, das innerhalb der EHB-Schiene und an der Zugmaschine der EHB implementiert ist, aufgeladen wird. Beide innovativen Konzepte stehen im Einklang mit dem allgemeinen Trend zur Elektrifizierung im Bergbau (13). Sie verbessern die Arbeitsbedingungen für Bergleute durch die Vermeidung von Dieselemissionen. Bei beiden Projekten bilden Sensoren das Rückgrat für einen sicheren und effizienten Betrieb im untertägigen Steinkohlenbergbau. Beide Projekte stoßen von der Konzeption bis zur Umsetzung in



ning environment. Both projects encounter certain difficulties from the conceptualisation to the implementation in a mining environment. One is that the proposed solutions are exemptions for the given standards for explosion protection. Once the safe operation has been demonstrated, the results of the projects may lead to amendment proposals in the standards.

## 6 Funding

The first part of this scientific paper was published as part of the international project BUSDUCT. This project has received funding from the Research Fund for Coal and Steel under grant agreement No 847253.

The second part of this scientific paper was published as part of the international project HEET II. This project has received funding from the Research Fund for Coal and Steel under grant agreement No 899469.

Research work published as part of an international project co-funded by the Ministry of Science and Higher Education programme entitled "PMW" in the years 2020 to 2023; contract no. 5117/FBWIS/2020/2".



einer Bergbauumgebung auf Schwierigkeiten. So handelt es sich bei den vorgeschlagenen Lösungen um Ausnahmen von den geltenden Normen zum Explosionsschutz. Sofern der sichere Betrieb nachgewiesen ist, könnten die Ergebnisse der Projekte zu Änderungsvorschlägen der Normen führen.

## 6 Förderung

Der erste Teil der Veröffentlichung erfolgte im Rahmen des internationalen Projekts BUSDUCT. Dieses Projekt wurde vom Research Fund for Coal and Steel unter der Fördernummer 847253 finanziert.

Der zweite Teil der Veröffentlichung erfolgte im Rahmen des internationalen Projekts HEET II. Dieses Projekt wurde vom Research Fund for Coal and Steel unter der Fördernummer 899469 finanziert.

Die Veröffentlichung der Forschungsarbeit erfolgte im Rahmen eines internationalen Projekts, das vom Ministry of Science and Higher Education programme „PMW“ in den Jahren 2020 bis 2023 kofinanziert wurde; Vertragsnummer 5117/FBWIS/2020/2.



## References / Quellenverzeichnis

- (1) Pieczora, E.; Tokarczyk, J. (2017): Development of mine underground transportation with use of suspended monorails. *miag* 4 (532), 96.
- (2) Kianfar, A.; Sherikar, M.; Gilerson, A.; Skora, M.; Stankiewicz, K.; Mitra, R.; Clausen, E. (2022): Designing a Monitoring System to Observe the Innovative Single-Wire and Wireless Energy Transmitting Systems in Explosive Areas of Underground Mines 15, 576.
- (3) Binnewies, M.; Finze, M.; Jäckel, M.; Schmidt, P.; Willner, H.; Rayner-Canham, G. (2016): *Allgemeine und anorganische Chemie*. 3rd edition, Springer Spektrum, Berlin.
- (4) Nolan, D. (2014): *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles [For Oil, Gas, Chemical and Related Facilities]*. 3rd edition, Elsevier, Amsterdam.
- (5) Berufsgenossenschaft Holz und Metall (2013): *BG-Information – Arbeitssicherheit durch vorbeugenden Brandschutz*. 560th edition, Main.
- (6) TRGS 727 (2017): *Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung*.
- (7) Kissel, F. (2006): *Handbook for Methane Control in Mining*. Pittsburgh, PA.
- (8) CEN/TR 15281:2006 (2007): *Leitsätze für die Inertisierung zum Explosionsschutz*. 15281st edition, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- (9) TRBS 2152 (2012): *Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre*.
- (10) Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2014): *Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (recast) Text with EEA relevance, 2014*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034&from=EN> (accessed October 21, 2022).
- (11) Novák, P.; Kot, T.; Babjak, J.; Konečný, Z.; Moczulski, W.; Rodriguez López, Á. (2018): Implementation of Explosion Safety Regulations in Design of a Mobile Robot for Coal Mines 8, 2300.
- (12) Baack, D.; Crumbiegel, K. (1990): *Erprobungseinsatz einer beweglichen schlagwettergeschützten Stromzuführung mit schnell wirkenden Überwachungseinrichtungen für den Elektroantrieb bei Einschienenhängebahnen*. Essen.
- (13) Clausen, E.; Sörensen, A.; Uth, F.; Mitra, R.; Lehnen, F.; Schwarze, B. (2020): *Assessment of the Effects of Global Digitalization Trends on Sustainability in Mining: Part I: Digitalization Processes in the Mining Industry in the Context of Sustainability*.

## Authors / Autoren

Maximilian Getz M. Sc., Arne Köller M. Sc., Dr.-Ing. Amir Ehsan Kianfar, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen, Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), RWTH Aachen University (RWTH), Aachen/Germany, Dr. inż. Marcin Skóra, Dr. inż. Krzysztof Stankiewicz, Dr. inż. Andrzej Drwięga, KOMAG Institute of Mining Technology, Gliwice/Poland