

AMT Research Report 2019/2020



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
AMT Highlight: Learning Factory Bergbau 4.0	8
AMT fördert innovative Lehr- und Lernkonzepte	8
Weltweit erste Learning Factory Mining 4.0	9
CDIO II: Entwicklung Innovativer Lehr- und Lernkonzepte in der Ingenieurausbildung	10
Industrienah und International: AMT Fachkonferenzen	12
International Conference on High Performance Mining (HPM)	13
Smart Mining Conference (SMC)	14
Unterstützung der Sensor-Based Sorting & Control Conference (SBSC)	15
Partner für anwendungsorientierte Forschung: AMT Dienstleistungen	16
Forschungsschwerpunkte und aktuelle Projekte	17
Prozessautomatisierung für den Bergbau von Morgen	17
SIMS: Den Bergbau der Zukunft aktiv mitgestalten	18
ABR: Teilautomatisierung des Ankerbohr- und Setzprozesses	21
EMD: Teilautomatisierung eines Betonspritzgeräts	23
Deep Sea Mining: Ein neues Forschungsfeld am AMT	25
Blue Nodules	26
Blue Harvesting	28
Mine Safety: Verbesserung der Arbeitssicherheit durch Technologieentwicklung	29
BUSDUCT: Ein sicheres elektrisches untertätiges Transportsystem	30
INESI: Effizienz und Sicherheit beim Transport unter Tage verbessern	31
Positionierung, Navigation und Kommunikation unter Tage	34
UPNS 4D+: Voraussetzungen für das autonome Bergwerk der Zukunft erfüllen	35
ARTUS: Vom automatisierten Gewinnungsgerät zur autonomen Fahrzeugflotte	39
RTMine: Kontinuierliche Prozessüberwachung unter Tage	41
UNDRONEDA: Verbesserung der Sicherheit und Produktivität durch Robotik	44
Qualitätssicherung und Effizienzsteigerung durch Online Materialerkennung	47
OMMA: Online-Messsystem zur Materialstromcharakterisierung	48
Walze 4.0: Wie eine Schneidwalze hören und fühlen lernt	50
Predictive Maintenance	52
MaMMA: Entwicklung eines ganzheitlichen Maintenance-Systemes	53
Preise und Auszeichnungen	56
Impressum	59

Table of Contents

Preface.....	6
AMT Highlight: Learning Factory Mining 4.0	8
AMT fosters innovative teaching and learning concepts	8
World's first Learning Factory Mining 4.0.....	9
CDIO II: Innovative teaching and learning concepts for engineering education	10
Industry-oriented and International: AMT Conferences	12
International Conference on High Performance Mining (HPM)	13
Smart Mining Conference (SMC)	14
Support of the Sensor-Based Sorting & Control Conference (SBSC).....	15
Partner for application-oriented research: AMT Services.....	16
Research Focus and Projects.....	17
Automation and digitization for the mine of the future	17
SIMS: Actively shaping the mine of the future.....	18
ABR: Partial automation of the roofbolting and setting process	21
EMD: Partial automation of a concrete spraying device	23
Deep Sea Mining: A New Research Field at AMT	25
Blue Nodules.....	26
Blue Harvesting.....	28
Safety: Improving occupational safety through technology	29
BUSDUCT: A safe electrical underground transportation system.....	30
INESI: Improving efficiency and safety for underground transportation.....	31
Underground Positioning & Navigation	34
UPNS 4D+: Meeting the requirements for the autonomous mine of the future	35
ARTUS: From automated mining equipment to autonomous fleets.....	39
RTMine: Continuous underground process monitoring	41
UNDROMEDA: Improving safety and productivity through Robotics	44
Quality assurance and increased efficiency through online material recognition	47
OMMA: Online measuring system for material flow characterization.....	48
Shearer Drum 4.0: How a cutting drum learns to hear and feel	50
Predictive Maintenance	52
MaMMA: Development of a holistic maintenance system	53
Prizes & Awards	56
Imprint.....	59

Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

neue Technologien für die Automatisierung und Digitalisierung von Bergbaumaschinen und -prozessen: das ist das, was uns antreibt, insbesondere für die rauen und anspruchsvollen Umgebungen, die die meisten von Ihnen nur zu gut kennen. Mit unserem interdisziplinären Team leisten wir einen Beitrag dazu, dass heute technisch und / oder wirtschaftlich noch nicht gewinnbare Lagerstätten und Rohstoffe zukünftig sicher, umweltschonend und wirtschaftlich nutzbar gemacht werden und somit langfristig neue Rohstoffpotentiale erschlossen werden können

Ganz im Sinne von Bergbau 4.0 mit der Vision eines digital vernetzten autonomen Bergwerks stehen die Nutzbarmachung von Informationen zur Prozess-, Umfeld- und Maschinenüberwachung mittels Sensortechnik und modernen Verfahren der Maschinen- und Prozessdatenanalyse als Grundlage für vernetzte und autonome Systeme auch weiterhin im Fokus unserer anwendungsorientierten und industrienahen Forschung. Mehr dazu lesen Sie im Abschnitt „Forschungsschwerpunkte und Projekte“.

Veränderungen wird es auch beim Anforderungsprofil zukünftiger Bergbauingenieure geben. Eine ganzheitliche und moderne Ingenieurausbildung steht dabei selbstverständlich im Zentrum einer aktiv gestalteten und erfolgreich umgesetzten Digitalisierung. Das AMT nimmt hierbei eine Vorreiterrolle ein und integriert innovative Lehr- und Lernkonzepte in die Ausbildung der Ingenieure. Derzeit entsteht am AMT die weltweit erste „Learning Factory Mining 4.0“. Lesen Sie mehr dazu in unserem „AMT Highlight“.

Durch die Bündelung und Kooperation in den Bereichen Bildung, Forschung und Industrie können technologische Innovationen entstehen. Aus diesem Grund wurde im Dezember 2018 eine neue industrienaher Fachkonferenz, die „International Conference on High Performance Mining“, eingeführt, die eine Plattform für den aktiven Austausch und Dialog bietet und im Zweijahres-Rhythmus im Wechsel mit der „Smart Mining Conference“ (vormals Forum Bergbau 4.0) stattfindet.

Wenn Sie mehr über unsere Forschungsschwerpunkte und Aktivitäten erfahren möchten, besuchen Sie doch einmal unsere neu gestaltete Webseite: www.amt.rwth-aachen.de.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre des diesjährigen AMT Research Reports 2019/2020.



(Foto: ©Peter Winandy)

Preface

Dear Readers,

New technologies for the automation and digitization of mining machines and processes: this is what drives us, especially with respect to the harsh and demanding environments that most of you know very well. With our interdisciplinary team, we contribute to ensuring that deposits and raw materials that are technically and / or economically not yet exploitable today become economically viable deposits that can be exploited in a safe and environmentally friendly way in the future.

In the spirit of Mining 4.0 and with the vision of a digitally connected autonomous mine, the focus of our application-oriented and industry-related research continues to be on the utilization of information for process, environment and machine monitoring. This is done by means of sensor technologies and modern methods of machine and process data analytics, which provide the basis for connected and autonomous systems. You can read more about our research focus in the section „Research Focus and Projects“.

There will also be changes in the requirements profile of future mining engineers. A holistic and modern engineering education is, of course, at the centre of an actively designed and successfully implemented digitalisation. The AMT plays a pioneering role in this and integrates innovative teaching and learning concepts into the training of engineers. The AMT is currently developing the world's first „Learning Factory Mining 4.0“. Read more about this in our “AMT Highlight”.

By pooling and cooperating in the fields of education, research and industry, technological innovations can be fostered. For this reason, a new industry-related conference, the „International Conference on High Performance Mining“, was introduced in December 2018, which offers a platform for active exchange and dialogue and takes place every two years alternating with the „Smart Mining Conference“ (formerly Forum Bergbau 4.0).

If you would like to find out more about our research priorities and activities, please visit our newly designed website: www.amt.rwth-aachen.de.

We hope you enjoy reading our AMT Research Report 2019/2020.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen
(Institutsleiterin Advanced Mining Technologies)
(Director Advanced Mining Technologies)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus
(Stiftungsprofessur für Advanced Mining Technologies – gefördert durch die gemeinnützige Ulrich-Thiele-Stiftung)
(Endowed Chair for Advanced Mining Technologies – sponsored by the no-profit Ulrich-Thiele-Stiftung)



(Foto: ©FRE RWTH Aachen University)

AMT Highlight: Learning Factory Mining 4.0

AMT Highlight: Learning Factory Mining 4.0

AMT fördert innovative Lehr- und Lernkonzepte

Im Rahmen der vierten industriellen Revolution, die auch als digitale Revolution bezeichnet wird und von einer Verschmelzung von physikalischen und digitalen Technologien gekennzeichnet ist, wird auch der Bergbau in den kommenden Jahrzehnten einen zunehmenden Wandel durchlaufen. Der aus diesem Wandel hervorgehende Bergbau 4.0 wird von einer zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung geprägt sein und gleichzeitig die Anforderung erfüllen müssen, den modernen Bergbau effizient und den Umgang mit den vorhandenen Ressourcen verantwortungsbewusst zu gestalten. Um diesem Wandel Rechnung zu tragen und um die damit verbundenen Herausforderungen und zukünftigen Arbeitswelten bewältigen zu können, wird sich auch das Anforderungsprofil zukünftiger Bergbauingenieure¹ anpassen.

Vor diesem Hintergrund benötigen zukünftige Bergbauingenieure nach wie vor ein tiefes disziplinäres Wissen und Verständnis, gleichzeitig werden jedoch Aspekte wie persönliche, methodische und soziale Kompetenzen, Führungsqualitäten, Innovationsfähigkeit, Unternehmertum und die Fähigkeit zur interdisziplinären Zusammenarbeit in Zukunft wichtiger werden und sollten daher frühzeitig in die Ausbildung einbezogen werden. Ziel ist es, neben dem eigentlichen Wissen insbesondere Problemlösungskompetenzen zu vermitteln, die es ermöglichen, wissenschaftliches Wissen in veränderten Situationen flexibel anwenden, kritisch zu reflektieren und kontinuierlich weiterentwickeln zu können. Hierfür werden am AMT innovative Lehr-/ Lernformate, wie projekt- und problembasiertes Lernen oder auch der Einsatz von Blended Learning-Elementen verwendet und forschungs-/ erkenntnisorientiertes Lernen gefördert. Zwei Beispiele hierfür sind die Einrichtung einer Learning Factory Mining 4.0 sowie das Projekt „CDIO II – Implementing CDIO in the Raw Materials Sector“.

AMT fosters innovative teaching and learning concepts

In the context of the fourth industrial revolution, also known as the digital revolution, which is characterized by a fusion of physical and digital technologies, the mining industry will also undergo increasing change in the coming decades. Mining 4.0, marking the result of this transformation, will be characterized by increasing digitization and automation, while simultaneously fulfilling the need to make modern mining more efficient and manage existing resources more responsibly. In order to respond to these changes and to cope with the associated challenges with respect to future working environments, the skill profile of future mining engineers will also need to adapt.

Against this background, future mining engineers still need a deep disciplinary knowledge and understanding, but at the same time aspects such as personal, methodical and social competence, leadership qualities, the capacity for innovation, entrepreneurship and the ability for interdisciplinary cooperation will become more important in the future and should therefore be included in education at an early stage. In addition to the actual knowledge, the aim is in particular to impart problem-solving skills that make it possible to apply scientific knowledge flexibly in changing situations, to reflect critically on it and to continuously develop it further. To this end, the AMT uses innovative teaching/learning formats, such as project-based and problem-based learning or the use of blended learning elements, and promotes research- and knowledge-oriented learning. Two examples are the establishment of a Learning Factory Mining 4.0 and the European project CDIO II.

¹ Obgleich in diesem Dokument für einen besseren Lesefluss nur die männliche Form verwendet wird, sind sowohl Bergbauingenieure als auch Bergbauingenieurinnen angesprochen und gemeint.

Weltweit erste Learning Factory Mining 4.0

Am Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) entsteht aktuell mit finanzieller Unterstützung durch die gemeinnützige Ulrich-Thiele-Stiftung die weltweit erste „Learning Factory Mining 4.0“.

In Anlehnung an den Begriff der „Learning Factory“, der seit einigen Jahren im Kontext der Herausforderungen des Internet of Things in der Fertigungstechnik verwendet wird, handelt es sich bei der „Learning Factory Mining 4.0“ um einen „hands-on“-Ansatz des Lernens, bei dem Technologie-Elemente einer weitgehend digitalisierten Bergbauumgebung real und / oder als digitale Elemente (be)greifbar dargestellt werden. Damit kann ein selbstständiges und eigenverantwortliches Lernen ermöglicht werden und alle „Lerntypen“ (auditiv, visuell, haptisch, kommunikativ) eine bestmögliche Förderung ihrer Fähigkeiten erfahren.

Das Projekt sieht signifikante Umbaumaßnahmen am Institut vor, um einerseits eine multifunktionale und multisensorische Lehr-, Lern- und Entwicklungsumgebung als physisches Grundelement zu schaffen und zum anderen flexible, modulare und mobile cyber-physische Lehr- /Lernmodule zu entwickeln und umzusetzen. Diese sollen in vielfältiger Weise in den am AMT angebotenen Lehrveranstaltungen sowohl für die Präsenzzeit als auch für das Selbststudium eingesetzt werden und ermöglichen so auch die Förderung projektbasierten und forschenden Lernens.

World's first Learning Factory Mining 4.0

The Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) is currently developing the world's first „Learning Factory Mining 4.0“ with financial support from the non-profit Ulrich-Thiele Foundation.

The concept of the „Learning Factory Mining 4.0“ draws on and is inspired by the concept of the „Learning Factory“, which has been used for some years in the context of the challenges of the Internet of Things in manufacturing technology. It represents a „hands-on“ approach to learning, in which digital as well as non-digital technology elements of a largely digitized mining environment are presented in a tangible way. This enables independent and self-reliant learning and allows all „learning types“ (auditory, visual, haptic, communicative) to experience the best possible development of their abilities.

The project envisages significant reconstruction measures at the institute in order to create a multifunctional and multisensory teaching, learning and development environment as a physical basic element on the one hand and to develop and implement flexible, modular and mobile cyber-physical teaching/learning modules on the other. These will be used in various ways in the courses offered at the AMT, both during attendance time and for self-study, thus enabling the promotion of project-based and research-based learning.





CDIO II: Entwicklung Innovativer Lehr- und Lernkonzepte in der Ingenieursausbildung

Die weltweite CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) Initiative, die im Jahre 2000 durch die Universitäten MIT in den USA sowie Chalmers, KTH Royal Institute of Technology and Linköping University in Schweden gegründet wurde und nach der das Projekt „CDIO II: Implementing CIDO in Raw Materials Sector“ benannt ist, bietet einen innovativen didaktischen Rahmen, um zukünftige Ingenieure bestmöglich auf die Arbeitswelt vorzubereiten.

Die Grundidee der CDIO Initiative ist es, mithilfe von 12 definierten Standards einen Rahmen und einen Leitfaden für die (Weiter-) Entwicklung und Bewertung von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen zu bieten. Das Ziel der Initiative ist es, Absolventen der Ingenieurwissenschaften dazu zu befähigen, komplexe Wertschöpfungsketten technischer Systeme nach dem CDIO Prinzip – konzipieren, designen, implementieren, betreiben – gemeinsam in teils interdisziplinären Teams umsetzen sowie vollständige Systeme und Produkte entwickeln zu können. Eine enge Verzahnung zwischen fundierten ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen und praxisnahen bzw. realen Anwendungen stehen dabei im Vordergrund. Die Standards adressieren alle wesentlichen Aspekte für die (Weiter-) Entwicklung von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen, wie den Kontext, die Curricula-Entwicklung, Design-Build-Erfahrungen und Lernräume, neue Methoden des Lehrens und Lernens, Auf- und Ausbau didaktischer Kompetenzen von Lehrenden und Fakultäten sowie die Bewertung des studentischen Lernfortschrittes und der Evaluierung der Studiengänge.

Im Rahmen des „CDIO II“ Projekts, sowie in dessen Vorgängerprojekt „CDIO I“, werden diese Ansätze erstmalig auf die rohstoffbezogene Ausbildung übertragen. Das Projektkonsortium für das Projekt „CDIO II“ besteht aus sieben Partnern aus vier europäischen Ländern, die alle Bereiche des Wissensdreiecks – Industrie, Universitäten und Forschungseinrichtungen – abdecken und unterschiedliche komplementäre Kompetenzen und Erfahrungen in das Projekt einbringen.

CDIO II: Innovative teaching and learning concepts for engineering education

The Massachusetts Institute of Technology (MIT) in the USA together with Chalmers University of Technology, KTH Royal Institute of Technology and Linköping University in Sweden founded the worldwide CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) initiative in 2000. The project „CDIO II: Implementing CIDO in Raw Materials Sector“ is named after this initiative, which offers an innovative didactic framework to prepare future engineers for the working world in the best possible way.

The basic idea of the CDIO initiative is to provide a framework and guidance for the development and evaluation of engineering science programs through 12 defined standards. The aim is to enable engineering graduates to implement complex value chains of technical systems according to the CDIO principles of - conceive, design, implement, operate - in interdisciplinary teams and to develop complete systems and products. A close interlocking between sound engineering fundamentals and practical or real applications is in the foreground. The standards address all essential aspects for the (further) development of engineering study programs, such as the context, curriculum development, design-build experiences and learning spaces, new methods of teaching and learning, development and expansion of didactic competences of teachers and program managers (faculties) as well as the evaluation of student learning progress and the evaluation of study programs.

As part of the CDIO II project and its predecessor project, CDIO I, this framework will be applied for the first time to study programs in the area of raw materials. The project consortium for CDIO II consists of seven partners from four European countries covering all areas of the knowledge triangle - industry, universities and research institutions - bringing different complementary competences and experiences to the project.



(Foto: ©Mario Irrmischer)

In der ersten Projektphase (2016-2017) standen der Auf- und Ausbau der didaktischen Kompetenzen von Lehrenden sowie die (Weiter-) Entwicklung von Modulen und Studiengängen im Vordergrund. Im darauf aufbauenden Projekt CDIO II (2018-2019) werden die Konzepte für die Lehrenden Entwicklung auf Grundlage der Erkenntnisse aus der ersten Phase weiterentwickelt und an den Standorten der beteiligten Universitäten (Göteborg, Luleå, Madrid und Aachen) durchgeführt, um Ansätze von CDIO in die rohstoffbezogene Ausbildung zu integrieren. Darüber hinaus werden Leitlinien für innovative Lernumgebungen auf Grundlage weltweit existierender Best-Practice-Beispiele erarbeitet und ein gemeinsamer Projektkurs entwickelt, bei dem Studierende aus Madrid, Luleå, Göteborg und Aachen gemeinsam Fragestellungen aus der Industrie in Teams bearbeiten.

Das AMT ist verantwortlich für die Erstellung von Leitlinien für die Entwicklung und Implementierung von innovativen Lehr- und Lernlaboren und beschäftigt sich u.a. mit der Fragestellung, wie neuartige Formen zur Visualisierung, wie z.B. Augmented Reality, die Lernprozesse sinnvoll unterstützen können.

Das Projekt wird gefördert durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) mit der Fördernummer 17165

Projektpartner

Chalmers University of Technology (Koordinator), Luleå University of Technology, Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), RISE Research Institutes of Sweden AB, RWTH Aachen University (AMT), Universidad Politécnica de Madrid, University of Limerick,

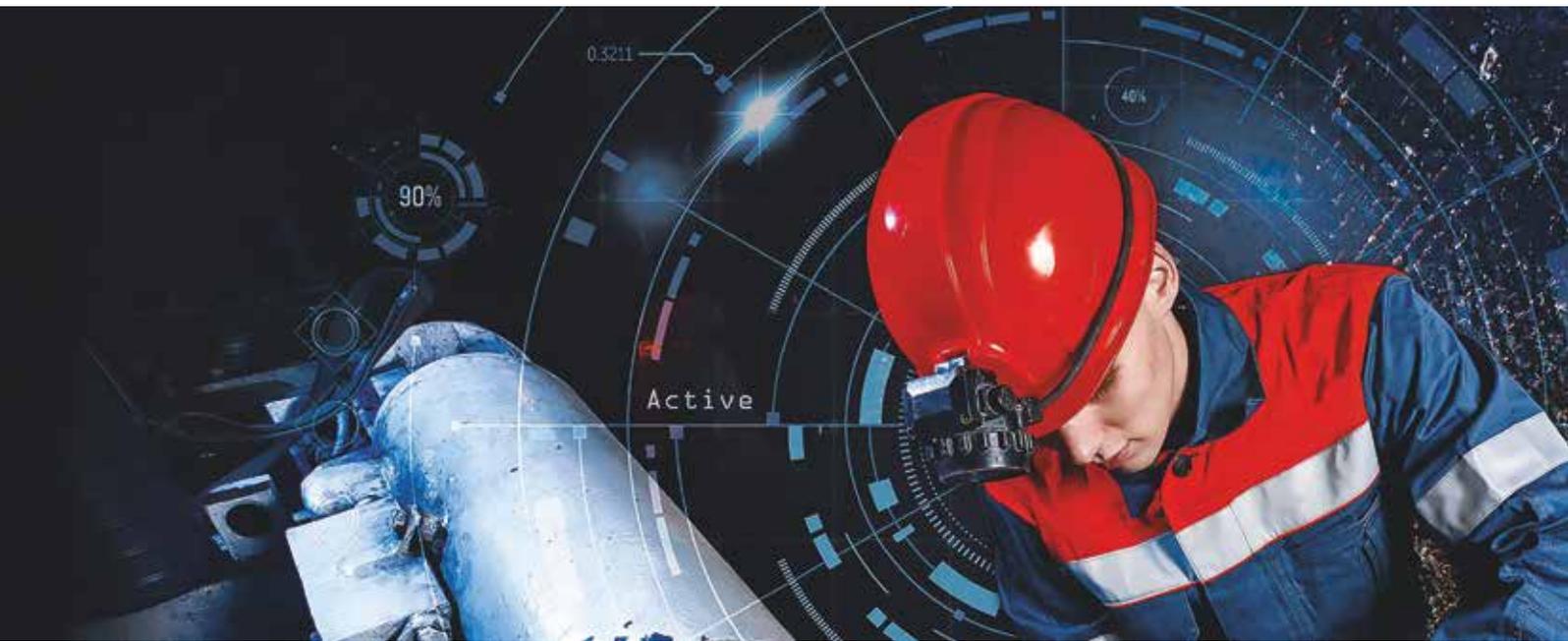
During the first phase of the project (2016-2017), the focus was on building up and expanding the didactic skills of teachers as well as the (further) development of courses and programs. As part of the CDIO II project (2018-2019), the concepts for faculty development are further developed and implemented at the locations of the participating universities (Gothenburg, Limerick, Lulea, Madrid and Aachen) in order to integrate principles of CDIO into raw materials courses. In addition, guidelines for innovative learning environments were developed using global best practice examples. In addition, a joint project course was developed in which students from Madrid, Lulea, Gothenburg and Aachen worked together in teams on industry problems.

The AMT is responsible for the creation of guidelines for the development and implementation of innovative teaching and learning laboratories. Furthermore, the AMT investigates how novel forms of visualization, such as Augmented Reality, can meaningfully support learning processes.

The project receives funding from the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under Grant Agreement Number 17165

Project Partners

Chalmers University of Technology (Coordinator), Luleå University of Technology, Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), RISE Research Institutes of Sweden AB, RWTH Aachen University (AMT), Universidad Politécnica de Madrid, University of Limerick,



Industrienah und International: AMT Fachkonferenzen

Industry-oriented and International: AMT Conferences

Das AMT veranstaltet jährlich eine industrienaher Fachkonferenz, um praxisnah relevante Fragestellungen des modernen Bergbaus zu thematisieren. Dabei wechseln sich zwei Formate ab, die Smart Mining Conference (SMC) und die International Conference on High Performance Mining (HPM).

Die High Performance Mining Konferenz thematisiert die Zukunftsthemen des Bergbaus in ihrer Gesamtheit vor dem Hintergrund der Gestaltung eines zukunftsfähigen modernen Hochleistungsbergbaus. Die Smart Mining Conference (zuvor Forum Bergbau 4.0) thematisiert insbesondere zentrale Herausforderungen und Lösungen für die Digitalisierung und Automatisierung in der modernen Bergbauindustrie.

Sowohl die International Conference on High Performance Mining als auch die Smart Mining Conference bieten eine Plattform für den Bergbau der Zukunft, wo sich Bergbauunternehmen und Technologieanbieter mit Forschungseinrichtungen und Verbänden über Herausforderungen und Erfolgsfaktoren auf hohem Niveau und mit hohem Praxisbezug austauschen können.

Zudem unterstützt das AMT im Rahmen einer Kooperation mit weiteren Instituten der Fachgruppe für Rohstoffe und Entsorgungstechnik erstmals die Organisation und Durchführung der Sensor-Based Sorting & Control Conference (SBSC), die im März 2020 im SuperC der RWTH stattfindet.

The AMT organizes an annual industry conference in order to address relevant practical questions of modern mining. There are two alternating formats, the Smart Mining Conference (SMC) and the International Conference on High Performance Mining (HPM).

The High Performance Mining Conference deals with the future of mining in its entirety with respect to designing sustainable modern high-performance mining operations in the current socio-economic context. The Smart Mining Conference (formerly Forum Bergbau 4.0) focuses in particular on central challenges for an increasing digitization and automation of the mining industry.

Both the International Conference on High Performance Mining and the Smart Mining Conference offer a platform for mining of the future, where mining companies and technology providers can exchange ideas with research institutions and associations about challenges and success factors at a high level and with a high practical relevance.

In addition, AMT is supporting the organization and implementation of the Sensor-Based Sorting & Control Conference (SBSC) to be held in March 2020 at the SuperC of the RWTH.



International Conference on High Performance Mining (HPM)

Insbesondere nach dem Ende der jüngsten Hochpreisphase auf den internationalen Rohstoffmärkten musste eine große Zahl internationaler Bergbaukonzerne signifikante Abschreibungen und Wertverluste verbuchen. Daher lag der Fokus der Unternehmen auf Maßnahmen der kurzfristigen Kostenreduktion. Häufig war diese Prämisse der Maximierung des Outputs und kurzfristiger Gewinne verbunden mit einer Vernachlässigung von Innovation und der Integration neuer Technologien. Denn tatsächlich ist die Produktivität von Bergbauaktivitäten in den letzten zwei Jahrzehnten vielerorts stark zurückgegangen. Mit abnehmenden Erzgehalten, steigenden Kapital- und Arbeitskosten und immer stärkeren gesetzlichen Regulierungen und steigenden Stakeholder-Erwartungen wird die Umsetzung und kontinuierliche Verbesserung eines produktiven Bergbaubetriebs zunehmend anspruchsvoller. Jenseits der kurzfristigen, kostensteuernden Maßnahmen, scheint die Diskussion um Produktivität zudem oft nur unzureichend weitere Aspekte, insbesondere mit Blick auf nachhaltige Wertschöpfung im Kontext aktueller sozioökonomischer Bedingungen, zu berücksichtigen, die einen Hochleistungsbergbau ausmachen.

Genau hier setzt die High Performance Mining Konferenz an und lädt zur Diskussion der Frage ein, was Unternehmen heute bereits tun, um eine nachhaltige Wertschöpfung und hohe Produktivität auch zukünftig sicher zu stellen und mit welchen innovativen Lösungen Zulieferunternehmen die Betreiberfirmen dabei unterstützen diese Ziele zu erreichen.

Im Mittelpunkt der Konferenz stehen deshalb internationale Best-Practice Beispiele, bei denen (neue) Technologien, Prozesse oder Systeme erfolgreich, d.h. mit messbaren Ergebnissen, integriert werden konnten und im Ergebnis zu einer insgesamt verbesserten

International Conference on High Performance Mining (HPM)

Particularly after the end of the recent high price phase on the international commodity markets, a large number of international mining companies had to record significant write-downs and losses in value. Companies therefore focused on short-term cost-cutting measures. This premise of maximizing output and short-term profits was often combined with a neglect of innovation and the integration of new technologies. In fact, the productivity of mining activities has declined sharply in many locations over the last two decades. With declining ore grades, rising capital and labor costs, and increasingly stringent regulatory requirements and stakeholder expectations, the implementation and continuous improvement of a productive mining operation is becoming increasingly challenging. Beyond the short-term, cost-controlling measures, the discussion about productivity often seems to take insufficient account of other aspects that make up a high-performance mining operation, especially with regard to sustainable value creation also taking into account current socio-economic conditions.

This is precisely where the High Performance Mining Conference comes in and invites discussion on how international mining companies are ensuring sustainable value creation and high productivity in the future. In addition, discussions center on innovative solutions supplier companies are offering to help operating companies achieve these goals.

The conference therefore focuses on international best practice examples in which (new) technologies, processes or systems have been successfully integrated, i.e. with measurable results, and have resulted in an overall improvements in productivity and

Produktivität geführt haben. In einem neuartigen Format werden diese Anwendungsbeispiele aus der Praxis mehrheitlich gemeinsam von Bergbaubetreibern und Technologiezulieferern vorgestellt.

Weitere Informationen: www.high-performance-mining.com

Smart Mining Conference (SMC)

Der Schwerpunkt liegt auch bei der Smart Mining Konferenz auf Best-Practice Beispielen, anhand derer unterschiedliche Ansätze zur Digitalisierung und Automatisierung von Bergwerksprozessen beleuchtet werden. Dadurch wird praxisnah dargestellt, mit welchen Prioritäten und langfristigen Visionen internationale Bergbauunternehmen, Maschinenhersteller und IT-Unternehmen den Herausforderungen und Chancen der Digitalisierung und Automatisierung im Bergbau begegnen. Smart Mining beinhaltet in diesem Zusammenhang nicht nur das Zusammenspiel von Datengenerierung, Datenauswertung und Datennutzung in Bergwerken, sondern auch das Zusammenspiel von Technologie, Prozess, Mensch und Umwelt. Dazu gehört auch die Frage, wie und ob Digitalisierung und Automatisierung von Bergwerksprozessen langfristige und nachhaltige Wertschöpfung schaffen kann.

Wichtige Leitfragen der Konferenz sind daher: Welche Herausforderungen und Chancen birgt die Digitalisierung für die Bergbauindustrie? Was für einen Einfluss nehmen Digitalisierung und Automatisierung auf die Betriebsabläufe in Bergwerken? Wie sieht das Bergwerk der Zukunft aus? Wo befindet sich die Bergbauindustrie auf dem Weg zum Bergbau 4.0?

Weitere Informationen: www.smartmining.info

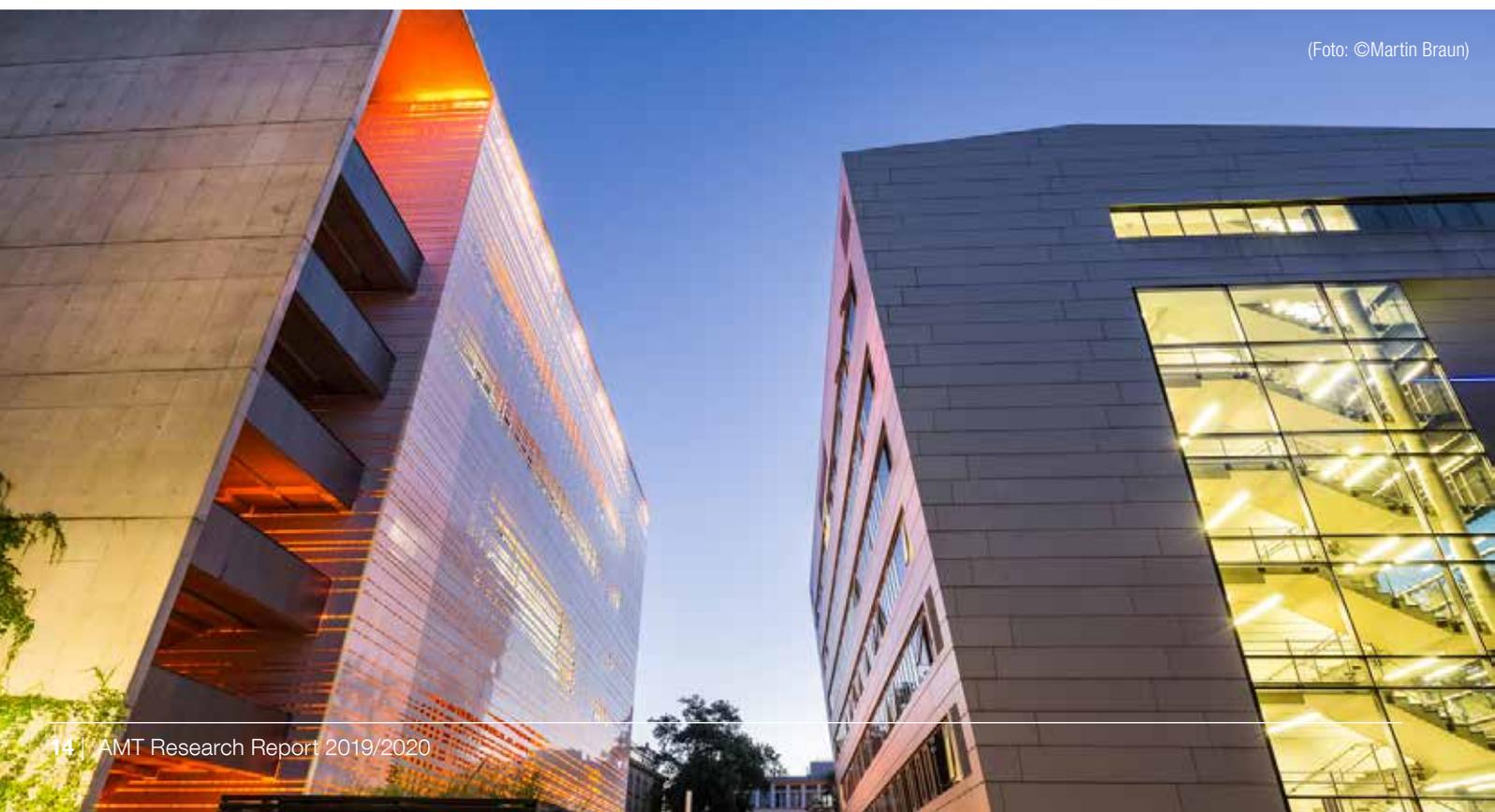
performance. In this new format, mining operators and technology suppliers jointly present most of these practical application examples.

Further information: www.high-performance-mining.com

Smart Mining Conference (SMC)

The Smart Mining Conference will also focus on best-practice examples, which will be used to highlight different approaches to the digitization and automation of mining machines and processes. This will provide a practical illustration of the priorities and long-term visions that international mining companies, machine manufacturers and IT companies are using to meet the challenges and opportunities of digitization and automation in mining. In this context, smart mining not only includes the interaction of data generation, data evaluation and data usage in mines, but also the interaction of technology, process, people and environment. This also includes how and whether digitization and automation of mine processes can create long-term and sustainable added value. Important key questions of the conference include: What challenges and opportunities does digitalization present for the mining industry? What influence do digitalization and automation have on operating processes in mines? What will the mine of the future look like? Where is the mining industry on its way to Mining 4.0?

Further Information: www.smartmining.info



(Foto: ©Martin Braun)



Unterstützung der Sensor-Based Sorting & Control Conference (SBSC)

Zusätzlich zu den beiden eigenen Fachkonferenzen unterstützt das AMT im Jahr 2020 erstmals die Organisation und Durchführung der Sensor-Based Sorting & Control Conference, die federführend vom AMR (Institut für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe) und vom IAR (Institut für Aufbereitung und Recycling) gestaltet wird. Alle Institute gehören der Fachgruppe für Rohstoffe und Entsorgungstechnik der Fakultät 5 (Georessourcen und Materialtechnik) an.

In Beiträgen aus Industrie und Wissenschaft werden an zwei Konferenztagen neue Entwicklungen und Anwendungen im Bereich der sensorgestützten Sortierung und Prozesskontrolle, entlang der gesamten Prozesskette von der Gewinnung bis zur Aufbereitung, für primäre und sekundäre Rohstoffe vorgestellt. Das AMT wird dabei den Bereich der sensorunterstützten Gewinnung als Voraussetzung für eine effiziente Aufbereitung inhaltlich abdecken und gestalten.

Weitere Informationen: www.sbsc.rwth-aachen.de

Support of the Sensor-Based Sorting & Control Conference (SBSC)

In addition to its two own technical conferences, the AMT is supporting the organization and implementation of the Sensor-Based Sorting & Control Conference for the first time in 2020, which is being organized by the AMR (Institute for the Processing of Mineral Resources) and the IAR (Institute for Processing and Recycling). All institutes belong to the Department of Raw Materials and Disposal Technology of Faculty 5 (Georesources and Materials Engineering).

On two conference days, contributions from industry and science will present new developments and applications in the field of sensor-supported sorting and process control for primary and secondary raw materials along the entire process chain from extraction to processing. The AMT will address the topic of sensor-assisted extraction as a prerequisite for efficient processing in one session of the conference.

Further information: www.sbsc.rwth-aachen.de



Partner für anwendungsorientierte Forschung: AMT Dienstleistungen

Partner for Application-oriented Research: AMT Services

Als Forschungseinrichtung der RWTH Aachen ist das AMT einschließlich seiner Vorgängerinstitute seit über 60 Jahren im Bereich der Rohstofftechnik tätig. Das Dienstleistungsportfolio des Instituts ist das Ergebnis der jahrzehntelangen praxisnahen Forschungsarbeit. Diese bietet die Möglichkeit zum Technologietransfer, welcher es ermöglicht, die wesentlichen technologischen Erkenntnisse direkt wirtschaftlich nutzbar zu machen. Der Innovationsbedarf der Rohstoffindustrie ist dabei jedoch nicht automatisch gleichzusetzen mit neuen Technologien. Oftmals ist es erfolgsversprechend, vorhandene technische Lösungen an neue Anforderungen zu adaptieren.

So lässt sich beispielsweise die Acoustic Emission Technologie, ein aus der Werkstoffprüfung bekanntes Verfahren, zur Stoffstromcharakterisierung nutzen. Der Einsatz von Wärmebildkameras (Infrarotthermographie) ist ein weiterer Anwendungsfall, der aus der industrienahen Forschung des AMT hervorgegangen ist. Neu ist hier die Verwendung als bildgebendes Verfahren, bei dem mithilfe automatisierter Bildverarbeitungsalgorithmen Information aus Prozessen generiert werden. Für eine drahtlose Kommunikation und als unabhängiges Positionierungs- und Lokalisierungssystem setzt das AMT die Ultrabreitband-Funktechnologie ein, wobei das Einsatzgebiet von einfachem Personendetektion bis zur Lokalisierung von untertägigen Bergbaumaschinen reicht. In all diesen Bereichen bietet das AMT Industriekunden eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen an - vom Versuchsfeld bis zur Strategieberatung, von Betriebsmessungen bis hin zu Modellierungen und Simulationen.

As a research institution of the RWTH Aachen University, the AMT, including its predecessor institutes, has been active in the field of raw materials technology for more than 60 years. Our service portfolio is the result of decades of practical research. This offers the possibility for technology transfer, which allows the essential technological knowledge to become commercially usable. The need for innovation in the raw materials industry is, however, not automatically synonymous with new technologies. It often promises success to adapt existing technical solutions to new requirements.

For example, Acoustic Emission Technology, a method familiar from materials testing, can be used to characterize material flows. The use of thermal imaging cameras (infrared thermography) is another application that has emerged from AMT's industry-related research. What is new here is its use as an imaging technology in which information is generated from processes using automated image processing algorithms. In addition, the AMT uses ultra wideband radio technology for wireless communication and as an independent positioning and localization system, with applications ranging from simple personnel tracking to the localization of underground mining machines. In all these areas, we offer industrial customers a wide range of research and development services - from laboratory testing to strategy consulting, from operational measurements to modelling and simulation.

Forschungsschwerpunkte und aktuelle Projekte

Research Focus and Projects

Prozessautomatisierung für den Bergbau von Morgen

Mineralische Rohstoffe sind unverzichtbare Bausteine des weltweiten Wirtschaftskreislaufs und ihre Bedeutung sowie der Verbrauch werden in Zukunft weiter steigen, da sowohl der global höher werdende Lebensstandard als auch die Digitalisierung der Gesellschaft diese zwingend erfordern. Jedoch prägen heute sinkende Erzqualitäten, steigende Sicherheitsanforderungen, schärfere Umweltschutzbestimmungen und schwankende Preise das Marktumfeld von Bergbauunternehmen.

Die Automatisierung im Bergbau ist daher, gerade auch im Zusammenspiel mit der Digitalisierung, eines der drängenden Ziele für eine effiziente und sichere Gewinnung von mineralischen Rohstoffen und für die zukünftige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Branche. Da die Bergbauindustrie sehr kapitalintensiv ist, gilt sie als prädestiniert für die Automatisierung von Maschinen und Prozessen. Diese soll Bergbauunternehmen befähigen, Rohstoffe schneller und effizienter zu gewinnen, sowie sicherere Arbeitsbedingungen zu schaffen, indem Arbeitsplätze aus unmittelbaren Gefahrenbereichen an sichere Bereiche, teilweise sogar an die Oberfläche, verlagert werden.

Eine wichtige Basis für die Automatisierung ist die Sensortechnik. Im Fokus der Forschung des AMT stehen deshalb, ganz im Sinne von Bergbau 4.0, vor allem die Nutzbarmachung von Informationen zur Prozess-, Umfeld- und Maschinenüberwachung mit Hilfe von Sensortechnik und moderner Verfahren der Maschinen- und Prozessdatenanalyse.

Dabei müssen die von den Sensoren erfassten Signale von ausreichend guter Qualität sein, um sie im nächsten Schritt effektiv aufbereiten und auswerten zu können. Die Auswertung der Daten erfolgt mithilfe von Algorithmen, teils unter Anwendung von Deep Learning, Machine Learning und Künstlicher Intelligenz (KI). Erst aus den intelligent ausgewerteten Daten lassen sich relevante Informationen ableiten, die dann eine Entscheidungsgrundlage für Maschinen oder Menschen bieten und so Optimierungen ermöglichen.

Automation and digitization for the mine of the future

Mineral raw materials are indispensable building blocks of the global economy and their importance and consumption will continue to rise in the future, as both the globally rising standard of living and the digitization of society make this imperative. However, declining ore qualities, increasing safety requirements, stricter environmental regulations and fluctuating prices characterize the market environment of mining companies today.

Automation in mining, especially in combination with digitalization, is therefore one of the pressing goals for efficient and safe extraction of mineral resources and for securing the future competitiveness of the industry. Since the mining industry is capital-intensive and costly, it is considered predestined for the automation of machines and processes. Automation and digitization are expected to enable mining companies to extract and process raw materials faster and more efficiently, and to create safer working conditions by moving people from immediate hazardous areas to safe areas, sometimes even to the surface.

An important basis for automation is sensor technology. In the spirit of Mining 4.0, research at AMT therefore focuses above all on the utilization of information for process, environment and machine monitoring with the aid of sensor technology and modern methods of machine and process data analysis.

To achieve this, the signals detected by the sensors must be of sufficiently good quality and then effectively processed and evaluated. The data is evaluated using algorithms and, partly, deep learning, machine learning and artificial intelligence (AI). It is only from the intelligently evaluated data that relevant information can be derived which can then provide a basis for decision-making for machines or people and thus enable optimization.



SUSTAINABLE
INTELLIGENT
MINING SYSTEMS

A HORIZON 2020 FUNDED PROJECT

SIMS: Den Bergbau der Zukunft aktiv mitgestalten

Die Vision des umfangreichen SIMS Projekts ist es, einen nachhaltigen Einfluss auf die Art und Weise zu haben, wie neue Technologien und Lösungen für die Bergbauindustrie getestet und demonstriert werden. Mit einem ausgewählten Konsortium, das von Bergbauunternehmen, Ausrüstungs- und Systemlieferanten bis hin zu hochkarätigen Universitäten reicht, wird das SIMS-Projekt durch gemeinsame Aktivitäten die Entwicklung und Innovation zur Schaffung nachhaltiger intelligenter Mining-Systeme voranbringen.

Ziel des Projekts ist es, durch den Einsatz neuer Technologien das Gesamtsystem des Gewinnungsprozesses zu optimieren. Durch die Umsetzung eines höheren Grades an Digitalisierung, Automatisierung und Robotik im Bergwerk kann die Nutzung von Ressourcen und Maschinen verbessert und eine selektive Gewinnung der Rohstoffe realisiert werden. Gleichzeitig wird die Sicherheit der Mitarbeiter durch die Integration von ferngesteuerten und teilautomatisierten Maschinen und Prozessen erhöht, indem verhindert wird, dass Personen sich in gefährlichen Bereichen des Bergwerks aufhalten müssen. Derart umfangreiche Veränderungen, die sich auch auf das Anforderungsprofil der Mitarbeiter auswirken, erfordern jedoch auch, dass der Mensch ins Zentrum des Veränderungsprozesses gestellt wird. Das Projekt verfolgt deshalb auch das Ziel, die Akzeptanz neuer Technologien seitens der Mitarbeiter zu gewährleisten und entwickelt dafür konkrete Ansätze. Gleichzeitig sollen unter Einsatz von Virtual-Reality (VR) Technologie Trainingsmodule für Mitarbeiter entwickelt werden. Die VR Technologie wird des Weiteren eingesetzt, um Lernmodule für Studierende, Schüler und Interessierte zu entwickeln, die auch der breiteren Bevölkerung den modernen Hochleistungsbergbau näherbringt und dazu beitragen kann, die soziale Akzeptanz von Bergbauaktivitäten am Standort Europa zu verbessern.

Das Projekt umfasst dabei zum einen die Umsetzung von teilautomatisierten und ferngesteuerten Maschinen und stärker digitalisierten und datengestützten Prozessen. Dazu gehören die digitalisierte Schichterkennung mittels Infrarotthermographie, die in die Abbauplanung einfließt, ebenso wie der Einsatz von Robotik

SIMS: Actively shaping the mine of the future

The vision of the SIMS Project is to create a long lasting impact on the way that new technology and solutions for the mining industry are tested and demonstrated. With a selected consortium ranging from mining companies, equipment and system suppliers to top-class universities, the SIMS project will boost development and innovation through joint activities aiming at creating Sustainable Intelligent Mining Systems.

The aim of the project is to optimize the overall system of the mining process through the use of new technologies. By implementing a higher degree of digitization, automation and robotics in the mine, the use of resources and machines can be improved and selective extraction of raw materials can be realized. At the same time, the safety of employees is increased by integrating remote-controlled and semi-automated machines and processes thereby keeping people out of hazardous areas in the mine. Such extensive changes, which also affect the requirements profile of the employees, demand that the human being is placed at the center of the change process. Therefore, the project also pursues the goal of ensuring the acceptance of new technologies by employees and develops concrete approaches together with experts to achieve this. At the same time, training modules for employees will be developed using Virtual Reality (VR). VR technology is also used to develop learning modules for students, pupils and other interested parties, which aims at bringing modern high-performance mining closer to the wider population and contribute to improving the social acceptance of mining activities in Europe.

The project comprises on the one hand the implementation of semi-automated and remote-controlled machines and more digitized and data-supported processes. These include digitized boundary layer detection using infrared thermography, which is incorporated into mine planning, as well as the use of robotics for automated blasting preparation, a better controlled blasting process through reduced swath propagation during blasting, and semi-automated inspection of the blown areas. Reduced anchor setting times and

Grafische Darstellung der Projektinhalte in SIMS
Graphical representation of the project contents in SIMS



(Foto: ©SIMS Project)

zur automatisierten Sprengvorbereitung, ein besser kontrollierter Sprengvorgang durch geringere Schwaden Ausbreitung während des Sprengens und die teilautomatisierte Inspektion der gesprengten Bereiche. Auch reduzierte Ankersetzzeiten und erhöhte Arbeitssicherheit werden im Anschluss an die Inspektion durch eine Teilautomatisierung des Ankersetzens realisiert. Zum anderen umfasst das Projekt die Erprobung und den Einsatz von batteriebetriebenen Untertagefahrzeugen sowie die Entwicklung eines intelligenten Energiemanagementsystems. Die Echtzeit-Übertragung von Maschinendaten zum Kontrollzentrum wird mithilfe eines 5G Telekommunikationsnetzwerks realisiert. Dadurch können Arbeitsplätze in das überirdige Kontrollzentrum verlegt werden und weniger Mitarbeiter sind unter Tage potentiellen Gefahren ausgesetzt. Trotz dieser komplexen und durchaus anspruchsvollen Ziele steht im Projekt die Demonstration der Funktionsfähigkeit von Technologien im Vordergrund, die einen hohen Technologiereifegrad aufweisen.

Das AMT bringt im Rahmen des Projektes SIMS seine Kompetenzen in der untertägigen Lokalisierung und Positionierung von Fahrzeugen mittels Ultrabreitband-Technologie (UWB) sowie in der Riss- & Grenzschichterkennung mithilfe von Infrarotthermographie (IR) ein.

Eine präzise Lokalisierung und Positionsbestimmung von Fahrzeugen unter Tage ist die Grundlage für deren Automatisierung. Herkömmliche Positionierungssysteme, wie ein satellitengestütztes Positionierungssystem (GPS) können Unter Tage jedoch nicht eingesetzt werden. Aus diesem Grund wird ein vom AMT entwickeltes UWB Ersatzsystem verwendet. Dieses System hat entscheidende Vorteile, wie z.B. Robustheit und die Möglichkeit Fahrzeuge unter Tage in einem Bergwerksreferenzsystem zu positionieren.

Im Zuge des SIMS Projektes wurden für den Bereich UWB umfangreiche Entwicklungsarbeiten durchgeführt, welche erfolgreich im Rahmen des Projektes demonstriert werden konnten. Dazu gehörte die Entwicklung eigener Hardware mit dem Entwurf eigener Hardwaremodule, Softwarealgorithmen, sowie Sensorfusionssystemen, welche in Partnerbergwerken in Zielitz (Deutsch-

increased work safety are also achieved after the inspection by partially automating anchor setting. On the other hand, the project includes the testing and use of battery-powered underground vehicles as well as the development of an intelligent energy management system. The real-time transmission of machine data to the control center will be implemented using a 5G telecommunications network. This allows workplaces to be transferred to the above ground control center and fewer employees to be exposed to potential hazards underground. Despite these complex and challenging goals, the project focuses on demonstrating the functionality of technologies that have a high technological maturity.

Within the framework of the SIMS project, AMT is contributing its expertise in the underground localization and positioning of vehicles using ultra-wideband technology (UWB) and in crack & material detection using infrared thermography (IR).

A precise localization and position determination of underground vehicles is the basis for their automation. However, conventional positioning systems, such as a satellite-based positioning system

land) und Kristineberg (Schweden) umfangreich getestet worden sind. Der Fokus der UWB Entwicklung im Projekt liegt hierbei auf der Entwicklung eines Systems zur Positionierung von Fahrzeugen in untertägigen Strecken und ganzen Bergwerksbereichen in Kombination mit anderen Technologien, wie beispielsweise der Inertialnavigation. Hierbei wurden Fusionsalgorithmen für das UWB-System und der Inertial-Measurement Unit (IMU) verbessert und Hardwarekomponenten aufeinander abgestimmt.

Die Infrarotthermographie (IR) wird im Rahmen des SIMS Projekts für zwei Anwendungsfälle genutzt. Zum einen soll mithilfe von Infrarotkameras die Materialzusammensetzung am Stoß erkannt werden. Zum anderen wird diese Technologie dazu genutzt, Risse am Stoß zu erkennen. In beiden Fällen wurden die Detektionen bisher händisch bzw. visuell ausgeführt. Mithilfe der IR-Technologie kann der Mitarbeiter die erforderlichen Analysen außerhalb des Gefahrenbereichs durchführen. Dies erhöht die Arbeitssicherheit enorm, da der Stoß als gefährlichster Bereich im Bergwerk gilt. Darüber hinaus eröffnen die Informationen über die Materialzusammensetzung des Stoßes ein enormes Potential für den selektiven und damit effizienteren Rohstoffabbau, da der Abbau von Abraumaterial auf diese Weise minimiert werden kann. Ähnlich wie im Bereich UWB wurden auch hier umfangreiche Entwicklungsarbeiten durchgeführt. Die Entwicklungen wurden anfangs anhand von Laborversuchen zu den oben erwähnten Anwendungsfällen durchgeführt. Nachdem die Entwicklungen getestet waren, wurden die Applikationen im Bergwerk Zielitz getestet und erfolgreich demonstriert.

Im Frühjahr 2020 wird das Projekt mit umfangreichen Demonstrationen in verschiedenen Bergwerken Europas zum Abschluss kommen. Im Ergebnis wird das Projekt zeigen, wie ein modernes, vernetztes, sicheres, effizientes Bergwerk konkret realisiert werden kann und wie sich der Bergbau insgesamt transformiert und damit zugleich ein attraktiverer Arbeitsplatz für Nachwuchskräfte werden kann.

Gefördert durch die Europäische Union im Rahmen des Forschungsrahmenprogramms Horizon 2020 mit der Fördernummer 730302.

Projektpartner

Epiroc Rock Drills AB (Koordinator), ABB AB, Agnico Eagle Finland, Boliden Minerals AB, Ericsson AB, iGW Europe AB, K+S KALI AG, KGHM CUPRUM R&D Centre, Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), Luleå University Technology (LTU), Mobilaris Group AB, RWTH Aachen University (AMT)

(GPS), cannot be used underground. For this reason, a UWB replacement system developed by AMT is used. This system has decisive advantages, such as robustness and the possibility to position vehicles underground in a mine reference system.

In the course of the SIMS project, extensive development work was carried out for the UWB area, which was successfully demonstrated within the scope of the project. This included the development of proprietary hardware with the design of proprietary circuit boards, software algorithms, and sensor fusion systems, which were extensively tested in partner mines in Zielitz (Germany) and Kristineberg (Sweden). The focus of the UWB development in the project lies on the development of a positioning system for vehicles in underground mining environments in combination with other technologies such as inertial navigation. Fusion algorithms for the UWB system and the inertial measurement unit were improved and hardware components were aligned.

Infrared thermography (IR) is used for two applications within the SIMS project. On the one hand, infrared cameras are to be used to detect the material composition at the joint. On the other hand, this technology is used to detect ridge fractures. In both cases, the detections have so far been carried out manually or visually respectively. With the help of IR technology, the employee can carry out the necessary analyses outside the risk area. This increases work safety enormously, as the mine face is considered the most dangerous area in the mine. In addition, the information on the material composition of the mine face opens up an enormous potential for selective and thus more efficient raw material extraction, as the mining of overburden material can be minimized in this way. Similar to the UWB area, extensive development work was also carried out in this area. The developments were initially carried out on the basis of laboratory tests for the above-mentioned applications. After the developments had been tested, the applications were tested and successfully demonstrated in the field in the Zielitz mine.

The project will be completed in spring 2020 with extensive demonstrations in various European mines. As a result, the project will show how a modern, connected, safe, efficient mine can be realized and how the mining industry as a whole can be transformed into an increasingly attractive workplace for junior employees.

The project is funded by the Horizon 2020 Framework of the European Union under Grant Agreement Number 730302.

Project Partners

Epiroc Rock Drills AB (Coordinator), ABB AB, Agnico Eagle Finland, Boliden Minerals AB, Ericsson AB, iGW Europe AB, K+S KALI GmbH, KGHM CUPRUM R&D Centre, Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), Luleå University Technology (LTU), Mobilaris Group AB, RWTH Aachen University (AMT)



(Foto: ©Epiroc Rock Drills AB)

Farbbild und robuste Infrarotaufnahme zur Überwachung des Ankerbohr- und Setzprozesses
Colored image and robust infrared image for supervision of roofbolting and setting process

ABR: Teilautomatisierung des Ankerbohr- und Setzprozesses

Der Abbau von immer tiefer gelegenen Lagerstätten ist ein globaler Trend, der gleichzeitig neue Herausforderungen mit sich bringt. Mit zunehmender Abbauteufe wird die Notwendigkeit für Effizienz, Produktivität und Sicherheit aufgrund der schwierigen Umgebungsbedingungen, wie z. B. dem zunehmenden Gebirgsdruck, noch wichtiger. Der erhöhte Gebirgsdruck führt zu einem steigenden Bedarf an Gebirgssicherung. Unter Tage werden zu diesem Zweck Ankerbohrgeräte eingesetzt. Die Gebirgssicherung mit Ankern gehört zu den anspruchsvollsten Vorgängen und bildet häufig den begrenzenden Faktor für die Vortriebsleistung.

Die Gebirgssicherung ist eine sehr komplexe und zeitaufwändige Aufgabe, die hohe Kosten verursacht. Dies resultiert auch daraus, dass Anker Magazine bis heute manuell nachgeladen werden. Ein Anker Magazin mit manueller Nachfüllung ist darauf beschränkt,

ABR: Partial automation of the roofbolting and setting process

The extraction of deeper deposits is a global trend that also brings with it new challenges. When advancing to deeper deposits, the need for increased efficiency, productivity and safety becomes even more important due to the challenging environmental conditions at great depths, such as increasing rock pressure. The higher rock pressure leads to an increasing need for rock support. In underground mines, bolting rigs are used for rock reinforcement. However, the bolting procedure is one of the most demanding operations and often forms the limiting factor for the advance rates.

Rock support is a very complex and time consuming task which causes high costs. This is also due to the fact that bolt magazines are currently always loaded manually. A bolting rig with manual refilling of bolts is limited to install only ten bolts before the maga-

nur zehn Anker montieren zu können, bevor das Magazin nachgefüllt werden muss. Zeit- und Leistungsdruck können dazu führen, dass die Geräteführer auch im ungesicherten Streckenabschnitt das Magazin nachladen müssen.

Um die erforderliche Effizienz und Arbeitssicherheit zu gewährleisten, ist eine fortschreitende Automatisierung der Ankerbohrgeräte notwendig. Dies stellt nicht nur sicher, dass der Geräteführer aus Gefahrenzonen ferngehalten wird, sondern auch, dass durch eine Fernsteuerung der Ankerbohrgeräte eine effizientere Auslastung gewährleistet und damit die Produktivität verbessert werden kann, was sich positiv auf die Vortriebsleistung auswirkt.

Der erste Schritt zum Erreichen eines vollautomatisierten Betriebes von Ankerbohrgeräten beinhaltet deshalb das Ersetzen des manuellen Nachladevorgangs des Ankermagazins und die Implementierung eines Infrarot-Sensorsystems, welches eine Fernüberwachung des Ankerbohrgerätes ermöglicht. Dies zu erreichen ist Ziel des Automated Bolt Reload Projekts.

Im Rahmen des Projektes arbeitet das AMT an einem bergbaugfähigen Infrarot-Sensorsystem, welches zur Überwachung des Nachladevorgangs sowie des Ankerens eingesetzt wird. In der Demonstrationsphase wird dieses auf einem Prototyp eines Ankerbohrgerätes implementiert, um die einwandfreie Funktionsweise des Infrarot-Sensorsystems vor Ort zu testen. Aufgrund der rauen Arbeitsumgebung unter Tage wurde ein auf Infrarotthermografie basierendes Überwachungssystem gewählt. Diese hat zwei wesentliche Vorteile im Vergleich zu anderen visuellen Überwachungslösungen. Erstens werden keine externen Lichtquellen benötigt. Somit kann die Visualisierung des Ankerens bei völliger Dunkelheit erfolgen. Zum anderen ist das Infrarotsystem unempfindlicher gegenüber Staub, Wasser und kleinen Partikeln.

Das Projekt schafft konkrete Möglichkeiten für eine zunehmende Automatisierung der Ankerbohrgeräte sowie ihrer Auslastung und bietet vor allem einen sichereren Arbeitsplatz für die Bergleute.

Das Projekt wird unter der Fördernummer 17148 durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) von der EU gefördert.

Projektpartner

Epiroc Rock Drills AB (Koordinator), Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), LTU Business AB, RTWH Aachen University (AMT)

zine needs to be refilled. Time and performance pressures may even lead the mineworkers having to reload the magazine under unprotected roof.

To ensure efficiency and a safe workplace for mineworkers, progressive automation of the bolting rigs is necessary. This not only ensures that the operator is kept away from danger zones, but also that remote control of the anchor drilling rigs ensures more efficient utilization and thus improves productivity, which has a positive effect on the advance rates.

The first step in automating the bolting procedure is to remove the manual procedure to reload the bolt magazine and to implement an infrared sensor system to enable remote monitoring of the bolting rig. This is the goal of the AutoBoltReload project.

Within the framework of the project, AMT is working on a ruggedized infrared sensor system suitable for mining, which will be used to monitor the magazine reloading and bolting procedure. In the demonstration phase, this will be implemented on a prototype drilling rig in order to test the proper functioning on site. Due to the harsh working environment in underground mines, a monitoring system based on infrared thermography was chosen. This has two major advantages compared to other visual monitoring solutions. First, thermal imaging does not require any external light sources. Thus, visualization of the bolting procedure can take place in complete darkness. Second, it is insensitive towards dust, water and small particles that occur during the bolting procedure.

The project creates concrete opportunities for increasing automation of anchor drilling rigs and their capacity utilization and, above all, provides a safer workplace for miners.

The project receives funding from the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under Grant Agreement Number 17148.

Project Partners

Epiroc Rock Drills AB (Coordinator), Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), LTU Business AB, RTWH Aachen University (AMT)



EIT RawMaterials is supported by the EIT,
a body of the European Union

EMD: Teilautomatisierung eines Betonspritzgeräts

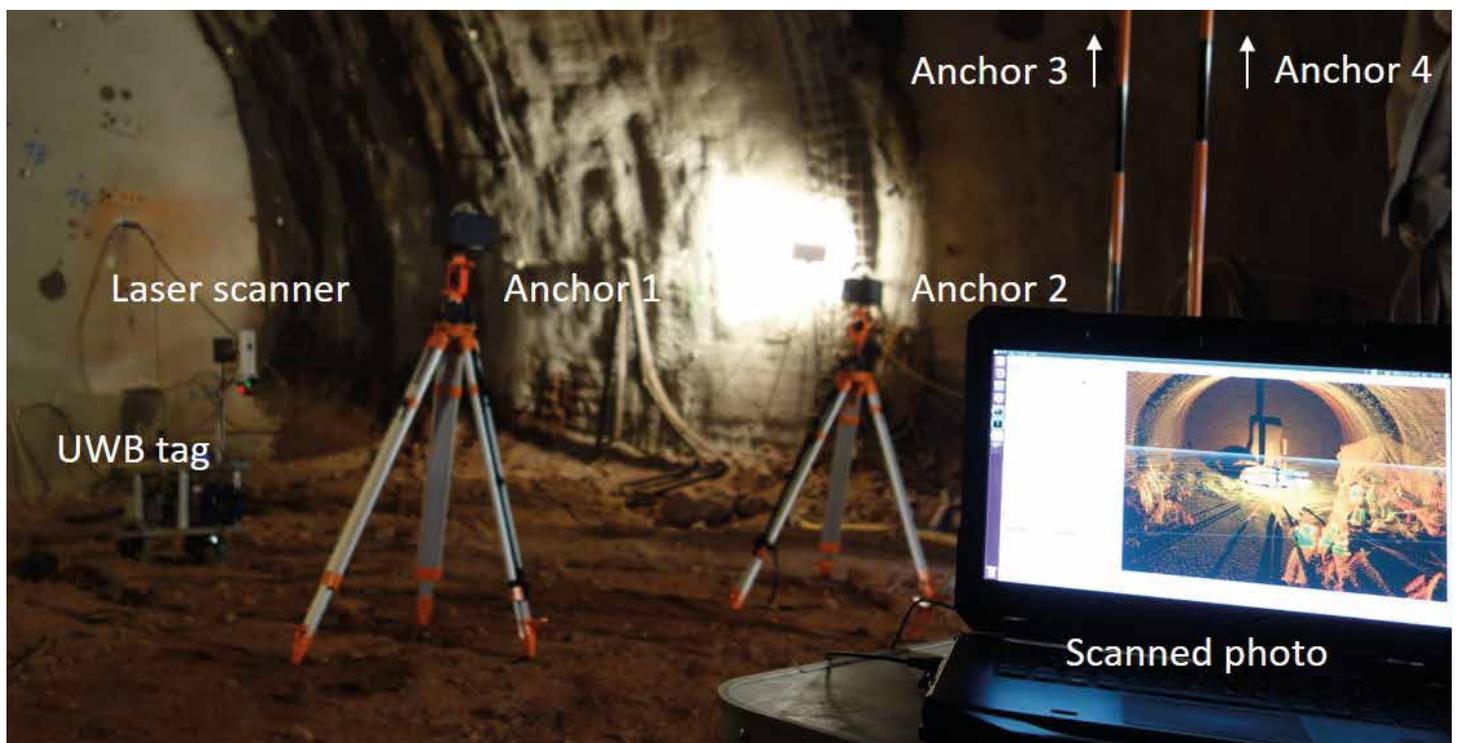
Im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung eines technologisch neuen, fahrbaren Gerätes zum sensortechnisch überwachten und geführten Herstellen von Spritzbetondecken im Nassspritzverfahren für den Tunnelbau (EMD)“ wurde ein Messsystem und Verfahren zur Berechnung und Analyse der Ist- und Sollprofile des gespritzten Tunnels entwickelt.

Bisherige hierfür genutzte Spritzbetongeräte besitzen einen langen, durch mehrere Gelenke und Teleskope beweglichen Tragarm zur Führung der Spritzbetondüse. Die Bewegung und die Position des Arms werden mit einer Funkfernsteuerung von der Tunnelsohle gesteuert. Dabei arbeitet der Düsenführer jedoch nach Augenmaß und auf Basis seiner Erfahrung, d.h. es gibt keine

EMD: Partial automation of a concrete spraying device

As part of the research project „Development of a technologically new mobile device for sensor-technically monitored and guided production of shotcrete ceilings by wet spraying method for tunneling“, the Institute of Advanced Mining Technologies of the RWTH Aachen developed a measurement system and process for calculating and analyzing the actual and set point profiles of the sprayed tunnel.

Previous used shotcrete units have a long, movable support arm with several joints and telescopes for guiding the shotcrete. A radio remote control controls the movement and position of the arm from the tunnel sole. The nozzle operator works according to his judgment and based on his experience. In addition, the operator



Messaufbau zum Einscannen des Tunnelprofils und Positionsbestimmung des Laserscanners im Tunnel
Set up for scan of the tunneling profile and localization of laser scanner in the tunnel

Möglichkeiten für eine Qualitätskontrolle hinsichtlich der Dicke und Gleichmäßigkeit des aufgetragenen Betons. Gleichzeitig stellt die manuelle Qualitätskontrolle ein Sicherheitsrisiko dar, da der Düsenführer dem Rückprall von nicht haftendem Beton ausgesetzt ist.

Das Projekt zielt deshalb auf die Automatisierung der Führung der Spritzbetondüse auf Basis der Echtzeit-Analyse der Ist- und Sollprofile des gespritzten Tunnels ab, um eine effektive, datengestützte Qualitätssicherung zu ermöglichen. Dies ermöglicht das Auftragen einer gleichmäßigen Spritzbetonschicht in der gewünschten Dicke, da dem Düsenführer Informationen über

triggers the start and end of the flow of the concrete; there are no possibilities for quality control with regard to the thickness and uniformity of the applied concrete. At the same time, manual quality control causes a safety risk as the nozzle guide is subject to the rebound of non-adherent concrete.

Hence, the project aims to automate the guidance of the shotcrete nozzle based on the real-time analysis of the actual and target profiles of the sprayed tunnel in order to enable an effective, data-supported quality assurance. This allows the application of a uniform shotcrete layer in the desired thickness, since the nozzle guide information on the applied and currently applied layer

die aufzutragende und aktuell bereits aufgetragene Schichtdicke des Betons im aktuell bearbeiteten Flächenelement in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. Dadurch wird Overspray (zu dick aufgetragener Beton) reduziert oder ganz vermieden, was die Effizienz erhöht und Materialkosten einspart. Die größere Distanz des Düsenführers zur Bearbeitungsfläche verhindert, dass er dem Rückprall des nicht haftenden Betons ausgesetzt wird und erhöht somit die Arbeitssicherheit im Prozess.

Das Projekt wurde gemeinsam mit dem Industriepartner GTA umgesetzt. Das AMT hatte die Aufgabe, ein Verfahren für die Ermittlung der Ist- und Sollprofile des Tunnelprofils zu entwickeln und die genaue Positionsbestimmung der Spritzdüse zu ermöglichen. Dafür wurde zunächst das unbearbeitete Tunnelprofil mittels eines Laserscanners, der auf einem Fahrzeug angebracht ist, gescannt und damit die Tunneltopologie erfasst und die Oberflächenprofile des Tunnels erstellt. Um die Position des Laserscanners zu bestimmen wurden die Ultrabreitband-Sensoren (UWB-Sensoren) als Anker und Tag eingesetzt. Zur dynamischen Messung von Lage und Orientierung der Spritzdüse wurde ein Beschleunigungs-Messsystem entwickelt. Eine spezielle Software wurde entwickelt, um die Lage und Position der Düse im Raum mittels Kombination der Daten aus Ultrabreitband-Funksignalen und Beschleunigungsmessung zu berechnen.

Die Entwicklung des Messsystems sowie die Entwicklung der Sensortechnik beruhen auf den Ergebnissen einer umfangreichen Messkampagne, die während des Projekts durchgeführt wurde. Nach der erfolgreichen Durchführung der Testmessung im Januar 2019 konnten weitere Fehler behoben werden. Die aus dieser Messung erlangten Erkenntnisse trugen zu einer erfolgreichen Demonstration des integrierten Gesamtsystems auf einem Betriebsgelände im März 2019 und einer optimierten Auswertung der Ergebnisse bei.

Das Projekt wird über die AiF im Rahmen des zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter der Fördernummer ZF4010403AT6 gefördert.

Projektpartner

GTA Maschinensysteme GmbH (Koordinator),
RWTH Aachen University (AMT)

thickness of the concrete in the currently processed surface in real time are provided. This reduces or eliminates overspray, which increases efficiency and saves material costs. The longer distance of the nozzle guide to the working surface prevents it from being exposed to the rebound of the non-adhering concrete and thus increases the working safety in the process.

The AMT and the industrial partner GTA carried this project out together. The task of the AMT was to develop a method for the determination of the actual and nominal profiles of the tunnel profile and to enable the exact determination of the position of the spray nozzle. For this purpose, a laser scanner mounted on a vehicle scans first the unprocessed tunnel profile, thereby recording the tunnel topology and creating the surface profiles of the tunnel and the UWB (Ultra Wideband) sensors as anchor and tag determine the position of the laser scanner. For the dynamic measurement of position and orientation of the spray nozzle, an acceleration measuring system was developed. AMT has developed a special software to calculate the position and of the nozzle in the room by combining the data from UWB and acceleration measurement.

The development of the measuring system as well as the development of the sensor technology is based on the results of a comprehensive measuring campaign, which was carried out during of the project. After the successful completion of the test measurement in January 2019, AMT and GTA could solve further problems. The findings gained from this measurement contributed to a successful demonstration of the integrated whole system on a company site in March 2019 and a more efficient evaluation of the results.

The project is funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy through the AiF as part of the Central Innovation Program for SMEs (ZIM) on the basis of a resolution of the German Bundestag under the Grant Agreement Number ZF4010403AT6.

Project Partners

GTA Maschinensysteme GmbH (Coordinator),
RWTH Aachen University (AMT)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

“Seventy percent of the earth’s surface is covered by sea and oceans, yet we seem to know less about our ocean space than outer space. [. ..]”

‘IHC Merwede’, PMC Director Deep Sea Mining, Rodney Norman

Deep Sea Mining: Ein neues Forschungsfeld am AMT

Deep-Sea Mining: A New Research Field at AMT

Der Meeresbergbau in der Tiefsee trat im Zuge des steigenden Rohstoffbedarfs der modernen Industrie immer wieder in den europäischen Fokus. Schon in den 1970er Jahren wurden die ersten Manganknollen aus der Tiefsee gefördert, die neben Mangan ebenso andere Rohstoffe wie Kupfer, Kobalt oder Nickel enthalten. Aber auch weitere Lagerstättenformen, wie Kobaltkrusten und Massivsulfid-Lagerstätten, sind aufgrund ihres großen Wertstoffgehalts von strategischem Interesse.

Aufgrund von technologischen Hürden und den bisher weiterhin ungeklärten Auswirkungen von Eingriffen in die Tiefseeökologie wurden die Projekte im Tiefseebergbau dennoch immer wieder aufgeschoben. Im Rahmen des aktuellen EU-Rahmenprogramms Horizon2020 ist der Tiefseebergbau jetzt wieder in den Fokus gerückt. Das strategische Interesse der EU besteht darin, mithilfe des Meeresbergbaus den Zugang zu wichtigen Rohstoffen zu sichern und somit unabhängiger von Importen zu werden. Um das strategische Potential zu realisieren, müssen jedoch die technologischen Herausforderungen gemeistert und die Umweltauswirkungen hinreichend ausgewertet werden.

Daraus resultierend ergibt sich für die RWTH Aachen, besonders für die Fakultät 5 (Georessourcen und Materialtechnik), ein neues Forschungsfeld. Das AMT war in den letzten Jahren an zwei Projekten (Blue Nodules und Blue Harvesting) in diesem Bereich beteiligt. Ziel beider Projekte ist die Konzeptentwicklung für einen

In the wake of the increasing demand for raw materials in modern industry, deep-sea marine mining has repeatedly become a focus of European attention. As early as the 1970s, the first manganese nodules were extracted from the deep sea, containing manganese as well as other raw materials such as copper, cobalt and nickel. However, other types of deposits, such as cobalt crusts and massive sulphide deposits, are also of strategic interest due to their high content of valuable materials

However, due to technological hurdles and the still undetermined environmental impact of interventions in deep-sea ecology, deep-sea mining projects have repeatedly been postponed. Under the current EU Horizon2020 Framework Program, deep-sea mining has now moved back into focus. The EU’s strategic interest is to use marine mining to secure access to key raw materials and thus become less dependent on imports. In order to realize the strategic potential, however, the technological challenges must be overcome and the environmental impact sufficiently understood.

This results in a new field of research for RWTH Aachen University, especially for Faculty 5 (Georesources and Materials Engineering). In recent years, the AMT has been involved in two projects in this area (Blue Nodules and Blue Harvesting). The aim of both projects is to develop a concept for environmentally friendly manganese nodule mining and a prototype for a hydraulic harvester (collector) to pick up the nodules.

umweltschonenden Manganknollenabbau und eine Prototypenentwicklung für einen hydraulischen Harvester (Sammler) zum Auflesen der Knollen.

Die Kompetenz des AMT liegt dabei zum einen in der sensortech-nischen Stoffstromcharakterisierung mithilfe der Acoustic Emission Technologie, die nun auf die Unterwasserwelt angewendet werden soll. Zum anderen ist das AMT bestrebt, auch seine Kompetenzen in der Schneidtechnik und Maschinendiagnose zukünftig in das Themenfeld des Tiefseebergbaus zu transferieren. Besonders die Automatisierung der schneidenden Gewinnung im Bergbau kann für die Realisierung des Abbaus von Massivsulfid-Lagerstätten oder Kobaltkrusten eine wichtige Rolle spielen.

Blue Nodules

Im Rahmen des Blue Nodules Projektes arbeitet ein Konsortium von insgesamt 14 Partnern aus neun EU-Staaten daran, ein umweltschonendes Konzept zum Manganknollenabbau in der Tiefsee zu entwickeln bis hin zu einem möglichen Prototyp eines Harvesters (Sammlers).

Eines der größten zu lösenden Probleme ist dabei der kontrollierte und effektive Transport des hydraulischen Materialstroms vom Meeresboden durch ein bis zu 6.000 Meter langes Rohrsystem zum Förderschiff an der Wasseroberfläche. Damit in diesem neuen und außergewöhnlichen Arbeitsumfeld in der Tiefsee eine optimierte und automatisierte Förderung umgesetzt werden kann, muss der Inhalt des hydraulischen Förderstromes charakterisiert werden. Das AMT adaptiert dafür die eigenen Kompetenzen in der trockenen Stoffstromcharakterisierung und erprobt deren Anwendung auf einen hydraulischen Förderstrom im Rohr. Dabei wurde ein Konzept zur Umsetzung einer Materialstromcharakterisierung auf Basis einer Acoustic Emission (AE) Messtechnik für ein hydraulisches rohrbasiertes Fördersystem erarbeitet. Nach Konstruktion eines ersten Versuchsstandes im Labormaßstab zur Durchführung einer Machbarkeitsstudie wurde der Maßstab des Versuchstandes vergrößert, um die ersten Ergebnisse zu verifizieren. Die Analyse der vom Acoustic Emission Sensor aufgezeichneten Signale erlaubt es, die Zusammensetzung der Materialien sowie die Größe der einzelnen Materialpartikel bei bekannten Probenmaterialien abzuschätzen.

Darauf folgend wurde die Funktionalität dieser Messtechnik in vielseitigen Kooperationen (Royal Netherlands Institute for Sea Research, Royal IHC, Technische Universität Bergakademie Freiberg und dem Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung Mineralischer Rohstoffe der RWTH) immer wieder überprüft. In den

AMT's expertise lies in sensor-based material flow characterization using acoustic emission technology, which is now to be applied to the underwater world. On the other hand, the AMT also strives to transfer its expertise in cutting technology and machine diagnosis to the field of deep-sea mining in the future. In particular, the automation of cutting extraction in mining can play an important role in the extraction of cobalt crusts and massive sulphide deposits.



Blue Nodules

As part of the Blue Nodules project, a consortium of a total of 14 partners from nine EU countries is working on developing an environmentally friendly concept for manganese nodule mining in the deep sea, including a possible prototype of a harvester (collector).

One of the biggest problems to be solved is the controlled and effective transport of the hydraulic material flow from the seabed through a pipe system up to 6,000 meters long to the production ship at the water surface. In order to implement an optimized and automated production in this new and extraordinary working environment in the deep sea, the content of the hydraulic flow has to be characterized. The AMT adapts its own competences in dry material flow characterization and tests their application to a hydraulic pipe flow. A concept for the implementation of a material flow characterization based on an Acoustic Emission (AE) measurement technique for a pipe-supported conveying system was developed. After the construction of a first laboratory-scale test bench to carry out a feasibility study, the scale of the test bench was extended to verify the first results. The analysis of the signals recorded by the Acoustic Emission sensor allows to estimate the composition of the materials as well as the size of the individual material particles in known sample materials.

Subsequently, the functionality of this measuring technique was repeatedly tested with various partners (Royal Netherlands Institute for Sea Research, Royal IHC, Technical University Bergakademie Freiberg and the Department of Mineral Resources Processing at RWTH). In the differently scaled test benches, the first impressions

unterschiedlich skalierten Prüfständen konnten unter Berücksichtigen und Variation von Einflussparametern wie Druck, Tiefenwasser, Sedimenten, vertikalem Stoffstromtransport und weiteren die Erstdrucke aus den Labortests immer wieder bestätigt werden. Dies gelang auch mit den zur Verfügung gestellten Manganknollen.

Nun gilt es in weiteren Fallstudien und Projekten (Blue Harvesting – Grant Agreement Number: 18138) die Acoustic Emission Technologie im Feld zu erproben und eine tiefseefähige Weiterentwicklung des Messsystems umzusetzen.

Gefördert durch die Europäische Union im Rahmen des Forschungsrahmenprogramms Horizon 2020 mit der Fördernummer 688975.

Projektpartner

IHC Mining BV (Koordinator), Aarhus Universität, Bureau Veritas Registre International de Classification de Navires et d'Aeronefs SA, ContiTech Rubber Industrial Kft, Dredging International NV, De Regt marine cables BV, Global Sea Mineral Resources, MTI Holland BV, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet - NTNU, RWTH Aachen University (AMT), Seascope Consultants LTD, Stichting Nioz, Koninklijk Nederlands Instituut voor der Zee, Uniresearch BV, Universitat Politecnica de Catalunya

from the laboratory tests were repeatedly confirmed, taking into account and varying influencing parameters such as pressure, deep water, sediments, vertical material flow transport and others. This was also achieved with the manganese nodules provided.

Now, in further case studies and projects (Blue Harvesting – Grant Agreement Number: 18138), the Acoustic Emission Technology has to be tested in the field and a deep-sea capable further development of the measuring system has to be implemented.

The project is funded by the Horizon 2020 Framework of the European Union under Grant Agreement Number 688975.

Project Partners

IHC Mining BV (Coordinator), Aarhus Universität, Bureau Veritas Registre International de Classification de Navires et d'Aeronefs SA, ContiTech Rubber Industrial Kft, Dredging International NV, De Regt marine cables BV, Global Sea Mineral Resources, MTI Holland BV, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet - NTNU, RWTH Aachen University (AMT), Seascope Consultants LTD, Stichting Nioz, Koninklijk Nederlands Instituut voor der Zee, Uniresearch BV, Universitat Politecnica de Catalunya

Modell des Prototypen
Model of the Prototype



(Foto: ©Royal IHC)

Blue Harvesting

Harvesting Projekts ein verbesserter Prototyp entwickelt werden, um das Volumen von entstehenden Sedimentwolken zu reduzieren.

Es ist bekannt, dass Unterwasser-Kollektoren Wolken von Schwebstoffen erzeugen, die das Leben am Meeresboden in den Gebieten um die Minenstandorte herum und möglicherweise einige Kilometer entfernt beeinträchtigen. Die derzeit bevorzugt genutzte Technologie, die für den Abbau der Manganknollen entwickelt wurde, besteht in der hydraulischen Trennung der Knollen vom Sediment. Dieser Prozess erzeugt eine Sedimentwolke. Das Blue Harvesting Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung und Verbesserung des Kollektors, der eine reduzierte Umweltbelastung bei gleichzeitig besserer Produktionsrate und höherer Effizienz sicherstellen soll.

Umfangreiche Simulationen zur Strömungsdynamik des Kollektors als Ganzes, sowohl der Einlass, die Verarbeitung als auch der Auslass des Wasserstroms, der die Manganknollen und Sedimente mitführt, werden analysiert und mit Labor- und Feldversuchen validiert. Diese Ergebnisse werden verwendet, um die Auslegung des Gesamtsystems zu optimieren und um die Produktion und Dispersion von Schwebstoffen zu begrenzen. Die erzielten Optimierungen werden im Labor und in einer voll funktionsfähigen Umgebung in einem realen polymetallischen Knollenfeld in mehreren Kilometern Wassertiefe im Atlantik getestet.

Das AMT übernimmt hierbei mittels der Acoustic Emission Technologie die Kontrolle der Stoffströme in dem hydraulischen Kollektor. Somit ist die Hauptaufgabe die Entwicklung einer Sensorkette, die in dieser neuen und besonderen Arbeitsatmosphäre eingesetzt werden kann. So soll ein Beitrag zum Erreichen der technischen Effizienz und des Umweltschutzes geleistet werden

Das Projekt wird unter der Fördernummer 18138 durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) von der EU gefördert.

Projektpartner

Delft University of Technology (Koordinator), Aarhus Universität, IHC Mining BV, Jacobs University, Royal Netherlands Institute for Sea Research, Seascope Consultants LTD, Spanish National Research Council (CSIC), RWTH Aachen University (AMT), Universitat Politecnica de Catalunya



Blue Harvesting

Building on the development of the collector from the Blue Nodules project, the Blue Harvesting project will develop an improved prototype to reduce the volume of sediment clouds generated.

It is known that underwater collectors produce large clouds of particulate matter that strongly affect seabed life in the areas around the mine sites and possibly a few kilometers away. The current preferred technology developed for the mining of manganese nodules is hydraulic separation of the nodules from the sediment. This process generates a sediment cloud. The Blue Harvesting project is focused on developing and improving the collector to ensure reduced environmental impact while improving production rates and efficiency.

Extensive simulations of the flow dynamics of the collector as a whole, both the inlet, the processing and the outlet of the water flow carrying the manganese nodules and sediments will be analyzed and validated in laboratory and field experiments. These results are used to optimize the overall system design and to limit the production and dispersion of suspended solids. The achieved optimizations will be tested in the laboratory and in a fully functional environment in a real polymetallic nodule field at several kilometers water depth in the Atlantic Ocean.

The AMT controls the material flows in the hydraulic collector using Acoustic Emission Technology. Thus the main task is the development of a sensor chain which can be used in this new and special working environment. In this way, a contribution can be made to achieving technical efficiency and environmental protection.

The project receives funding from the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under Grant Agreement Number 18138.

Project Partners

Delft University of Technology (Coordinator), Aarhus Universität, IHC Mining BV, Jacobs University, Royal Netherlands Institute for Sea Research, Seascope Consultants LTD, Spanish National Research Council (CSIC), RWTH Aachen University (AMT), Universitat Politecnica de Catalunya



EIT RawMaterials is supported by the EIT, a body of the European Union

Mine Safety: Verbesserung der Arbeitssicherheit durch Technologieentwicklung

Safety: Improving occupational safety through technology development

Im Laufe des letzten Jahrhunderts wurden große Fortschritte bei der Verringerung der betrieblichen Unfälle in der Bergbauindustrie erzielt. Beruflich bedingte Todesfälle in der Bergbauindustrie sind zwischen dem Beginn des 20. Jahrhunderts bis heute sehr stark zurückgegangen. Ein wichtiger Katalysator für diese Verbesserung war die kontinuierliche Mechanisierung und Automatisierung der Bergbauprozesse. Trotz der enormen Verbesserung in den letzten Jahren ist und bleibt der Bergbau dennoch eine gefährliche Branche. Die zunehmende Komplexität der Erzkörper sowie der Trend zu einem Abbau in immer größeren Teufen werden in Zukunft eine große Herausforderung unter anderem für den Arbeitsschutz darstellen.

Im letzten Jahrhundert hat sich zudem nicht nur die Zahl der betrieblichen Unfälle, sondern auch die Art der Unfallursachen verändert. In Bezug auf beruflich bedingte Todesfälle waren die Hauptursachen im vergangenen Jahrhundert „prinzipielle Gefahren“ wie Explosionen, Gasausbrüche, Flutungen und Gebirgsschläge sowie Böschungsumformungen. Im 21. Jahrhundert sind die Hauptursachen für Todesfälle „nicht prinzipielle Gefahren“ wie Unfälle im Zusammenhang mit dem Einsatz mobiler Geräte, Bodenstürze und Arbeiten in der Höhe. Um hier vorzubeugen ist insbesondere die Schulung von Mitarbeitern und die Verankerung von Arbeitssicherheit als Teil der Unternehmenskultur von großer Bedeutung.

Gleichzeitig trägt das AMT durch seine angewandte Forschung aktiv dazu bei, die Automatisierung und Digitalisierung durch die Entwicklung neuer Technologien weiter voranzutreiben, um Personen aus Gefahrenzonen fernhalten zu können und gefährliche Prozesse automatisiert oder autonom zu gestalten. Ein Beispiel für unsere Arbeit zur Gefahrenerkennung ist das BUSDUCT Projekt. In diesem Projekt geht es um die Entwicklung eines Explosionsschutzkonzeptes für eine elektrisch angetriebene Einschienenhängebahn. Aber auch im Rahmen von anderen Projekten wird das Thema Arbeitssicherheit adressiert. Das SIMS Projekt setzt Infrarot-Thermografie ein, um drohende Firstbrüche zu erkennen. Das Automated Bolt Reload Projekt sieht die Automatisierung des Ankerens bei der Gebirgssicherung vor. Das INESI Projekt hingegen befasst sich mit der Kollisionsvermeidung durch die Anwendung von Ultrabreitband-Technologie (UWB).

Over the last century, great progress has been made in reducing workplace accidents in the mining industry. An important catalyst for this improvement has been the continuous mechanization and automation of mining processes. Despite the enormous improvement in recent years, mining is and remains a dangerous industry. The increasing complexity of ore bodies and the trend towards mining at increased depths will pose a major challenge not just for occupational safety in the future.

In the last century, not only the number of workplace accidents has changed, but also their causes. With regard to occupational deaths, the main causes in the last century were "principal hazards" such as explosions, gas eruptions, flooding and rock bursts, as well as slope failures. In the 21st century, the main causes of death are "non-principal hazards" such as accidents associated with the use of mobile equipment, falls from the ground and work at height. In order to prevent such accidents, the training of employees and the anchoring of occupational safety as part of the corporate culture are of great importance.

At the same time, through its applied research, the AMT is actively contributing to the advancement of automation and digitization through the development of new technologies to keep people out of danger zones and to automate dangerous processes. The BUSDUCT project is an example of our work on hazard identification. This project deals with the development of an explosion protection concept for an electrically driven suspended monorail locomotive. However, the topic of occupational safety is also addressed in other projects. The SIMS project uses infrared thermography to detect impending ridge breaks. The AutomatedBoltReload project provides for the automation of roof bolting. The INESI project, on the other hand, deals with collision avoidance through the application of ultra-wideband technology.



BUSDUCT

BUSDUCT: Ein sicheres elektrisches untertätiges Transportsystem

Ziel des Forschungsprojekts BUSDUCT (Increase of mines efficiency and health protection through the innovative transport system based on BUSDUCT) ist die Entwicklung eines innovativen Transportsystems für den untertätigen Steinkohlenbergbau. Das Kernelement dieses Transportsystems ist eine über eine Stromschiene mit elektrischer Energie versorgte Einschienenhängebahn. Da ein Einsatz in den potenziell explosionsgefährdeten Bereichen untertätiger Steinkohlenbergwerke erfolgen soll, wird die Stromzuführung der Einschienenhängebahn schlagwettergeschützt konstruiert. Realisiert wird dieser Schlagwetterschutz durch Anwendung des Prinzips der Überdruckkapselung.

Die elektrisch angetriebene Einschienenhängebahn versetzt den Anwender in die Lage, den Effizienzverlust infolge einer zunehmenden flächenhaften Ausdehnung der Bergwerke durch die erhöhte Fahrgeschwindigkeit (von 2,5 m/s mit batteriebetriebenen Einschienenhängebahnen auf 4 m/s) und die Gewichtsreduktion (ca. 30% im Vergleich zu batteriebetriebenen Einschienenhängebahnen) auszugleichen. Außerdem werden durch die Elektrifizierung des Transports Dieselabgase vermieden, was im Vergleich mit dieselbetriebenen Einschienenhängebahnen zur Verbesserung der Wetterqualität und des Gesundheitsschutzes der Mitarbeiter beiträgt. Zusätzlich kann eine höhere Verfügbarkeit des Gesamtsystems erreicht werden, da weder Batterien ausgetauscht, noch Diesel nachgetankt werden müssen.

BUSDUCT: A safe electrical underground transportation system

The aim of the BUSDUCT research project is to develop an innovative transport system for underground coal mining. The core element of this transport system is a suspended monorail locomotive, which is powered with electrical energy via a busduct. Since it is to be used in the potentially explosive atmospheres of underground coal mines, the power supply system of the suspended monorail locomotive is designed to be protected against explosions by applying the principle of pressurized enclosure.

The electrically driven suspended monorail locomotive enables the user to compensate for the loss in efficiency caused by the increasing areal extent of the mines, with an increased travel speed (from 2.5 m/s with battery-powered monorail overhead monorail systems to 4 m/s) and weight reduction (approx. 30% compared to battery-powered monorail overhead monorail systems). Furthermore, by electrifying the transport, diesel exhaust fumes are avoided which contributes to the improvement of the mine air quality and the health protection of the workforce (compared to diesel-powered monorails). In addition, a higher availability of the entire system can be achieved, since neither batteries need to be replaced nor diesel refuelled.

Modell der elektrisch angetriebenen
Einschienenhängebahn
Model of electrically driven suspended
monorail locomotive



(Foto: ©KOMAG Institute of Mining Technology)

Das AMT befasst sich im Zuge dieses Projektes mit der Auswahl geeigneter Sensortechnik für die messtechnische Überwachung der für den Schlagwetterschutz relevanten Maßnahmen. Die Konzeptionierung dieses Sensorsystems wird durch CFD-Simulationen gestützt. Über die Projektlaufzeit wird ein ausgewähltes Sensorsystem bestehend aus Gaskonzentrations-, Druck-, Temperatur- und Durchflusssensoren in den Prototyp einer Einschienenhängebahn integriert und im Labor sowie in der Einsatzumgebung getestet.

Gefördert aus Mitteln des Research Fund for Coal and Steel (RFCS) der Europäischen Union unter der Fördernummer 847253.

Projektpartner

Komag (Koordinator), Instytut Techniki Gorniczej, Bartec Varnost d.o.o (Bartec), Becker-Warkop Sp. z o.o. (Becker-Warkop), Polska Grupa Górnicza S.A. (PGG), RWTH Aachen University (AMT)

In the course of this project, the AMT deals with the selection of sensors for the metrological monitoring of the measures relevant for explosion protection. CFD simulations support the conception of this sensor system. In the coming project years, a selected sensor system consisting of gas concentration, pressure, temperature and flow sensors will be integrated into the prototype of a suspended monorail locomotive and tested in laboratory and operational environments.

The project is funded by the Research Fund for Coal and Steel (RFCS) of the European Union under Grant Agreement number 847253.

Project Partners

KOMAG Institute of Mining Technology (Coordinator), Instytut Techniki Gorniczej, Bartec Varnost d.o.o (Bartec), Becker-Warkop Sp. z o.o. (Becker-Warkop), Polska Grupa Górnicza S.A. (PGG), RWTH Aachen University (AMT)



INESI: Effizienz und Sicherheit beim Transport unter Tage verbessern

Im Rahmen des INESI Projekts kommt die Infrarotthermographie (IR) zur Detektion von Personen auf Gurtförderanlagen zum Einsatz. Die Personenerkennung dient dazu, Personen in untertägigen Umgebungen zuverlässig zu erkennen, um Unfällen vorzubeugen und die Arbeitssicherheit zu erhöhen.

Zwar gibt es bei der Bandfahung verschiedene Mechanismen zur Unfallvermeidung, jedoch kommt es immer wieder zu Unfällen, da Mitarbeiter bei der Fahrt beispielsweise auf dem Gurtband einschlafen und deshalb nicht rechtzeitig absteigen. Trotz der vielfältigen bisher eingesetzten Methoden zur Unfallvermeidung stellt die Personenbeförderung auf Bandanlagen nach wie vor ein Sicherheitsrisiko dar. Deshalb forscht das AMT an weiteren Lösungen, um das Unfallrisiko durch Redundanz weiter zu minimieren.

So werden im Rahmen des Forschungsprojekts Increasing Efficiency and Safety Improvement in Underground Mining Transportation Routes – INESI verschiedene Lösungen zu Erhöhung der Sicherheit erarbeitet. Das AMT ist im INESI Projekt für die Realisierung dreier zentraler Projektziele verantwortlich:

INESI: Improving efficiency and safety for underground transportation

In the INESI project infrared thermography (IR) is used for the detection of people on conveyor belt systems. The technology is used to reliably detect people in underground environments in order to prevent accidents and increase occupational safety.

Although there are various measures in place to prevent accidents when travelling on a conveyor belt, accidents occur time and again because, for example, employees fall asleep on the conveyor belt while riding and therefore do not get off in time. Despite the many methods used to date to prevent accidents, passenger transport on conveyor belts still poses a safety risk. AMT is therefore researching additional solutions to further minimize the accident risk through redundancy.

The Increasing Efficiency and Safety Improvement in Underground Mining Transportation Routes - INESI research project, for example, is working on various solutions to increase safety. In the INESI project, the AMT is responsible for the realization of three central project objectives:



Demonstration der UWB-Technologie zur Positionsbestimmung der Einschienenhängebahn

Demonstration of the UWB technology for determining the position of the monorail suspension system

- Erhöhung der Sicherheit in untertägigen Bergwerken, durch ein Ultrabreitband-Funk-Lokalisierungssystem (UWB). Im Fall von Notfällen wie bspw. Bränden kann das Personal lokalisiert werden und über eine intelligente Routenberechnung, welche die Ereignisse unter Tage online berücksichtigt, sicher evakuiert werden.
- Effizienzsteigerung durch optimierte Transportlogistik in untertägigen Bergwerken mit Ultrabreitband Funktechnologie. In untertägigen Bergwerken wird mit Funksignalen die exakte Position von Transportmitteln wie z.B. Einschienenhängebahnen (EHB) und flurgebundenen Fördermitteln online bestimmt und basierend auf vorliegenden Informationen wie z.B. Ladekapazität Streckensteigung, Streckenlänge, Hindernissen oder Wettertüren der optimale Lade- und Betriebsablauf für die Logistik bestimmt.
- Personendetektion auf Gurtbandförderanlagen mittels Infrarotthermographie (IR) in gefährlichen Bereichen, wie z.B. vor Brecher-, Bunkeranlagen oder vor der Gefäßförderung zur automatischen Abschaltung der Bandanlagen.
- Localization of personnel with ultra-wideband radio technology (UWB). In case of emergencies such as fires, the exact position of personnel can be determined in real time and a safe route for crew evacuation can be calculated and visualized.
- Increasing efficiency with an optimized transport logistic system in underground mining operations. The exact position of transportation vehicles e.g. overhead monorails or floor-bound transportation means can be online determined with Ultra-Wideband radio technology. Based on present information like load capacity, inclination and length of the route, obstacles or mine ventilation gates, the optimal transportation route of the loading and operation process can be computed.
- Person detection on belt conveyor systems using infrared thermography (IR) in hazardous areas, e.g. in front of crushers, storage reservoirs or vessel conveyors for automatic shutdown of conveyor systems

Zur Lokalisierung von Personen im untertägigen Grubengebäude des Premogovnik Velenje (PV) Bergwerks wird die Ultrabreitband-Funktechnologie verwendet. Im Grubengebäude sind ortsfeste Ankermodule z.B. in der Friste installiert. Die Positionen der Belegschaft werden über die Funksignallaufzeit zwischen den sendenden Ankermodulen und den mobilen Tags, die die Funksignale empfangen, bestimmt. Des Weiteren können Ereignisse wie Gas-, Wasserausbrüche oder Brände von Sensoren detektiert und dargestellt werden, um der Belegschaft den sichersten Weg der Evakuierung zu zeigen.

Analog zur Lokalisierung des Personals erfolgt die Lokalisierung der Transportfördermittel wie Einschienenhängebahnen bzw.

UWB technology is used to locate people in the underground mine of Premogovnik Velenje (PV). Fixed anchor modules are installed in the mine workings, e.g. in the roof. The positions of the staff are determined through time of flight measurement between the transmitting anchor modules and the mobile tags receiving the radio signals. One goal of the project is to visualize the calculated positions in the 3D mine workings of the control room. Furthermore, current events such as gas-, water outbreaks or fires can be detected and displayed by sensors in order to show the staff the safest way of evacuation.

Analogous to the localization of the staff, the localization of the transport equipment as overhead monorail or floor-bound

flurgebundener Maschinen. Die mobilen Tags, die zum Empfangen der UWB-Funksignale benötigt werden, sind auf den Maschinen installiert. Ziel des Projektes ist es, mit den berechneten Positionen der Maschinen und den vorliegenden Informationen eine intelligente Streckenberechnung für den optimalen Lade- und Betriebsablauf zu erstellen.

In einem weiteren Arbeitspaket wird ein Personendetektionssystem auf Basis der Infrarot-thermographie entwickelt, welches in zwei verschiedenen untertägigen Bergwerken getestet und anschließend in das bestehende Infrastruktursystem des Bergwerks integriert. Ziel ist es, Personen in gefährlichen Bereichen wie z.B. vor Brecher- oder Bunkeranlagen zu detektieren, um Unfälle durch das automatische Abschalten der Bandanlage zu vermeiden.

Gefördert aus Mitteln des Research Fund for Coal and Steel (RFCS) der Europäischen Union unter der Fördernummer 754169.

Projektpartner

KOMAG Institute of Mining Technology (Koordinator), Becker-Warkop Sp. z o.o. (Becker-Warkop), Elmech Kazeten sp. O.o, D.Tek s.a., Główny Instytut Górnictwa (GIG), Premogovnik Welenje, RWTH Aachen University (AMT), XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

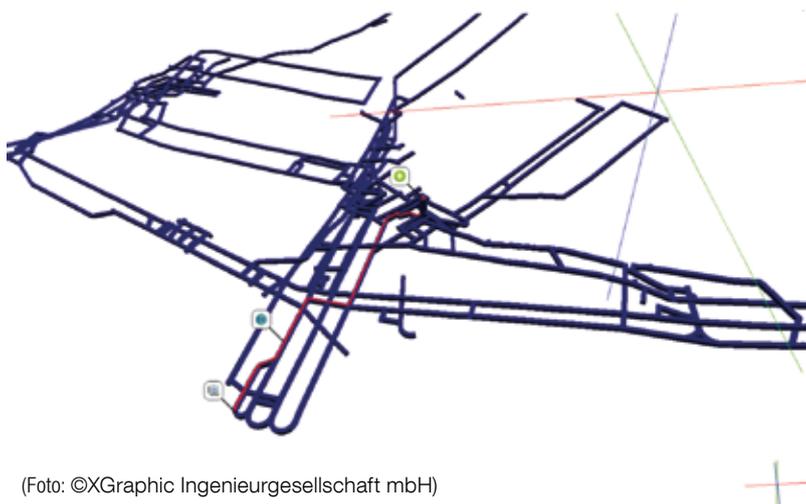
machine. The mobile tags required to receive the UWB radio signals are installed on the machines. The aim of the project is to use the calculated positions of the machines and the available information to create an intelligent route calculation for optimum loading and operating procedures.

As part of the INESI project, the AMT develops in a further work package a person detection system based on infrared thermography. This system will be tested in two different underground mines and then integrated into the existing infrastructure system of the mine. The aim is to detect people in dangerous areas, e.g. in front of crushers or storage reservoirs, in order to avoid accidents by the automatic shutdown of the conveyor belt system.

This project is funded by the Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under Grant Agreement Number 754169.

Project Partners

KOMAG (Coordinator), Becker-Warkop Sp. z o.o. (Becker-Warkop), Elmech Kazeten sp. O.o, D.Tek s.a., Główny Instytut Górnictwa (GIG), Premogovnik Welenje, RWTH Aachen University (AMT), XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH



Risswerk des Bergwerks Premogovnik Velenje
Mine plan of Premogovnik Velenje

(Foto: ©XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH)



Positionierung, Navigation und Kommunikation unter Tage

Underground Positioning & Navigation

Der Einsatz automatisierter und autonomer Maschinen im Bereich des Bergbaus kann einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Produktivität und zur Verbesserung der Arbeitssicherheit leisten, indem die Maschinenauslastung verbessert wird und Personen aus Gefahrenzonen ferngehalten werden.

Eine präzise Lokalisierung und Positionsbestimmung bildet dabei die Voraussetzung für die Automatisierung mobiler Maschinen und stellt eine wichtige Grundlage für die Automatisierung der Prozesssteuerung im Bergbaubetrieb dar. Um sich automatisch fortbewegen zu können, müssen mobile Maschinen ihre eigene Position auf einer referenzierten Karte in Echtzeit selbst bestimmen können und sie müssen die Umgebung wahrnehmen, um kollisionsfrei navigieren zu können.

Während die Herausforderung der referenzierten Lokalisierung für überirdige Umgebungen bereits beispielsweise durch GNSS gelöst und autonome Fahrzeugflotten bereits eine Realität sind, besteht die Herausforderung für unterirdische Umgebungen darin, dass GNSS gestützte Positionierungssysteme nicht verfügbar sind und daher alternative Verfahren entwickelt werden müssen. Zudem sind unter Tage keine Umgebungskarten in ausreichender Qualität und Aktualität zur Navigation für mobile Maschinen verfügbar.

The deployment of automated and autonomous machines in the mining sector can play an important role in increasing productivity and improving occupational safety by improving machine utilization and keeping people out of danger zones. In addition, automation can reduce the deviation between plan and execution.

Precise localization and position definition are prerequisites for the automation of mobile machines and represent an important basis for the automation of process control in mining operations. In order to be able to navigate automatically, mobile machines must be able to determine their own position on a referenced map in real time and perceive the environment in order to navigate collision-free.

While the challenge of referenced localization for surface environments is already solved by GNSS and autonomous vehicle fleets are already a reality, the challenge for underground environments is that GNSS supported positioning systems are not available and therefore alternative methods have to be developed. In addition, there are no underground maps of sufficient quality and timeliness for navigation on mobile machines.

Aus diesem Grund forscht und entwickelt das AMT seit vielen Jahren an alternativen Lösungen aus dem Bereich der Ultrabreitband-Technologie (UWB), auch in Kombination mit verschiedenen Technologien wie z.B. Laserscannern oder Inertial-Measurement Units (IMU). Durch die Kombination der UWB Lokalisierungsdaten mit weiteren Sensortechniken kann die Genauigkeit und Präzision der Lokalisierung weiter verbessert werden. Darüber hinaus entwickelt das AMT Möglichkeiten, mithilfe von Laserscannern Kartenmaterial zur Lokalisierung aufzuzeichnen und dieses in einem weiteren Schritt für die Lokalisierung mobiler Maschinen einzusetzen. Dabei werden Möglichkeiten entwickelt, wie sich mobile Maschinen durch den Abgleich der wahrgenommenen Umgebung mit dem zuvor aufgezeichneten Kartenmaterial selbst lokalisieren können.

Über die Automatisierung des Fahrens hinaus entwickelt das AMT Lösungen im Bereich der Kommunikation, welche zur dezentralen Interaktion von (autonomen) Maschinen in automatisierten Prozessen genutzt werden. Die erfolgreiche Umsetzung von offener und dezentraler Maschine-zu-Maschine Kommunikation wird in Zukunft eine entscheidende Rolle für die weitere Umsetzung von Bergbau 4.0 spielen.

UPNS 4D+: Voraussetzungen für das autonome Bergwerk der Zukunft erfüllen

Zur Automatisierung mobiler Gewinnungsmaschinen und deren Fortbewegung innerhalb der untertägigen Umgebung müssen bestimmte Anforderungen erfüllt werden. Zu den Anforderungen für eine autonome Navigation einer mobilen Maschine, welche die Voraussetzung für eine automatisierte Fortbewegung darstellt, gehören unter anderem die präzise Bestimmung der Position in einer aktuellen, detaillierten und referenzierten Karte, auf welcher dann entsprechende Fahrtrouten geplant werden können. Das automatisierte Fahren erfordert die Wahrnehmung und Verarbeitung der lokalen, dynamischen Umgebung zur kollisionsfreien und sicheren Navigation, sowie die eigenständige Fahrzustandsüberwachung.

Geknüpft an diese Anforderungen sind eine Reihe von Herausforderungen durch die untertägige Umgebung, wie die ständige Veränderlichkeit, hohe Varianz der Umgebungsbedingungen, das Fehlen von flächendeckender drahtloser Infrastruktur, bspw. Mobilfunk zur Kommunikation oder GPS zur Lokalisierung.

Innerhalb des Projekts UPNS 4D+ (untertägiges Positionierungs-, Navigations- und Mapping-System) wurde ein bergbautauglicher Demonstrator entwickelt, welcher sich autonom fortbewegen kann. Erfolgreich demonstriert wurde das Erkundungsfahrzeug im Anhydrit Bergwerk Krölpä der Fa. Maxit Baustoffe GmbH. Als Anwendungsfall für den Demonstrator steht die automatische geometrische Erfassung und Kartierung von Grubenbauen mit

For this reason, AMT has been researching and developing alternative solutions in the field of ultra-wideband technology (UWB) for many years, also in combination with other technologies such as laser scanners or inertial measurement units (IMU). By combining the UWB localization data with other sensor technologies, the accuracy and precision of the localization can be further improved. In addition, AMT is developing possibilities to use laser scanners to record map material for localization and to use it in a further step for the localization of mobile machines. This will develop ways for mobile machines to locate themselves by comparing the perceived environment with the previously recorded map material.

Beyond the automation of driving, AMT develops solutions in the field of communication, which are used for the decentralized interaction of (autonomous) machines in automated processes. The successful implementation of open and decentralized machine-to-machine communication will play a decisive role for the further implementation of Mining 4.0 in the future.

UPNS 4D+: Meeting the requirements for the autonomous mine of the future

For the automation of mobile mining machines and their movement within the underground environment, certain requirements must be met. The requirements for an autonomous navigation of a mobile machine, which is the prerequisite for an automated movement, include the precise determination of the position in a current, detailed and referenced map, on which the corresponding routes can then be planned. Automated driving then requires the perception and processing of the local, dynamic environment for collision-free, safe navigation, as well as independent driving condition monitoring.

Linked to these requirements are a number of challenges due to the underground environment, such as the constant variability, high variance of the environmental conditions, the lack of a comprehensive wireless infrastructure, e.g. mobile radio for communication or GPS for localization.

Within the project UPNS 4D+ (underground positioning, navigation and mapping system) an exploratory vehicle (demonstrator) suitable for mining environments was developed, which can move autonomously. The exploratory vehicle was successfully demonstrated in the Krölpä anhydride mine operated by Maxit Baustoffe GmbH. The main field of application of the exploratory vehicle is the automated geometric recording and mapping of mine workings with subsequent data processing. The data processing was carried out in a database specifically developed by FH Aachen, one of the project partners. From the environmental data of the demonstrator,

anschließender Datenaufbereitung im Mittelpunkt. Die Datenaufbereitung erfolgte in einer von der FH Aachen, einem der Projektpartner, eigens entwickelten Datenbank. Aus den Umgebungsdaten des Demonstrators können beispielsweise hochauflösende Karten der gescannten Grubenbaue erzeugt werden. Diese bilden dann die Grundlage für die Lokalisierung und Navigation und damit für die Autonomie der mobilen Gewinnungsmaschinen der Industriepartner.

Mitarbeiter des AMT leisteten im Rahmen des Projekts grundlegende Entwicklungsarbeit an verschiedenen Anforderungen für die autonome Fortbewegung des Erkundungsfahrzeugs. Dazu gehören die hochgenaue infrastrukturlose Lokalisierung, lokale und globale Routenplanung und Wahrnehmung sowie Verarbeitung der lokalen Umgebung zur kollisionsfreien Navigation des bergbautauglichen, autonomen Kleinfahrzeugs. Dabei kommen verschiedene Sensortechnologien wie LiDAR, Stereo Kameras und Inertialnavigation zum Einsatz, sowie eine Vielzahl von neuartigen Algorithmen aus der Forschung der Robotik und eigene Entwicklungen für den Einsatz in untertägigen Umgebungen. Durch die Entwicklungen des AMT konnten mit dem Erkundungsfahrzeug erfolgreich autonom detailreiche 3D-Punktwolken der Grubenbauten aufgezeichnet werden.

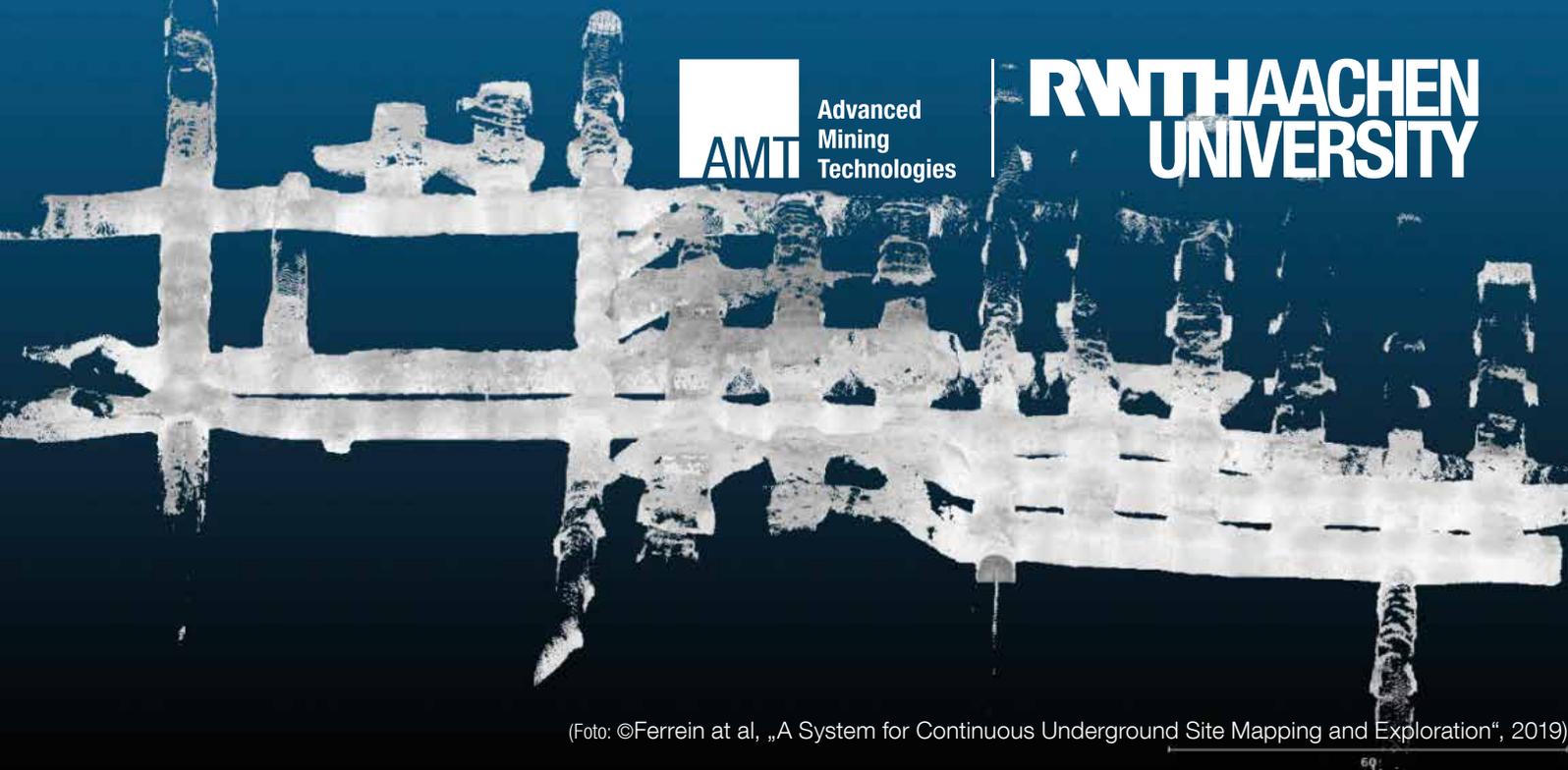
Das Fahrzeug ist mit den Entwicklern in Bild 1 zu sehen. Bei der automatisierten Fahrt scannt das Erkundungsfahrzeug die Umgebung, erkennt Hindernisse und navigiert zu vorgegebenen Zielen. In Bild 2 ist der digitale Zwilling des Erkundungsfahrzeugs in Visualisierungsumgebung zu sehen. Hierin ist dieser umgeben von den selbstständig aufbereiteten Messdaten aus der

for example, high-resolution maps of the scanned mine workings can be generated. These then form the basis for localization and navigation and thus for the autonomous operation of the mobile mining machines of the industrial partners.

Researchers of the AMT were carrying out fundamental development work on various requirements for the autonomous movement of the exploration vehicle as part of the project. These include high-precision infrastructure-free localization, local and global route planning and perception as well as processing of the local environment for collision-free navigation of the autonomous vehicle suitable for mining. Various sensor technologies such as LiDAR, stereo cameras and inertial navigation are used, as well as a variety of novel algorithms from robotics research and our own developments for use in underground environments. Thanks to AMT's developments, the exploration vehicle was able to successfully record detailed 3D point clouds of the mine workings autonomously.

The vehicle can be seen with the developers in picture 1. During the automated drive, the exploration vehicle scans the surroundings, detects obstacles and navigates to predefined destinations. In picture 2, the digital twin of the exploration vehicle can be seen in a visualization environment. Here it is surrounded by the independently processed measurement data from the environment and obstacle recognition, as well as navigation. A single environment scan with classified obstacles can be seen in picture 3. The exploration vehicle is located based on the self-recorded map material. The global map is consistent with the live data due to the precise localization based on the map without the use of





(Foto: ©Ferrein et al, „A System for Continuous Underground Site Mapping and Exploration“, 2019)

Mit dem Demonstrator aufgezeichnetes Abbaufeld im Örterbau. Aufbereitet in der mapit Datenbank des Partners FH Aachen auf Basis der Lokalisierungsdaten
The excavation field recorded with the demonstrator in the pillar-chamber structure. Processed in the mapit database of the FH Aachen partners using the localization data.

Umgebungs- und Hinderniserkennung, sowie Navigation. Ein einzelner Umgebungsscan mit klassifizierten Hindernissen ist in Bild 3 zu sehen. Der Demonstrator lokalisiert sich auf Basis des selbst aufgezeichneten Kartenmaterials. Die globale Karte ist durch die präzise Lokalisierung auf Basis der Karte ohne Nutzung von Infrastruktur mit den live Daten konsistent (vgl. Bild 1). Ebenso ist in Bild 1 und Bild 3 die geplante Route des Demonstrators zu sehen. Lokale Hindernisse (rot in Bild 1 und 3) und befahrbare Bereiche (grün in Bild 1 und 3) werden abgegrenzt, erkannt und Hindernisse mit Kollisionsgefahr in Karten zur kollisionsfreien Routenplanung abgebildet.

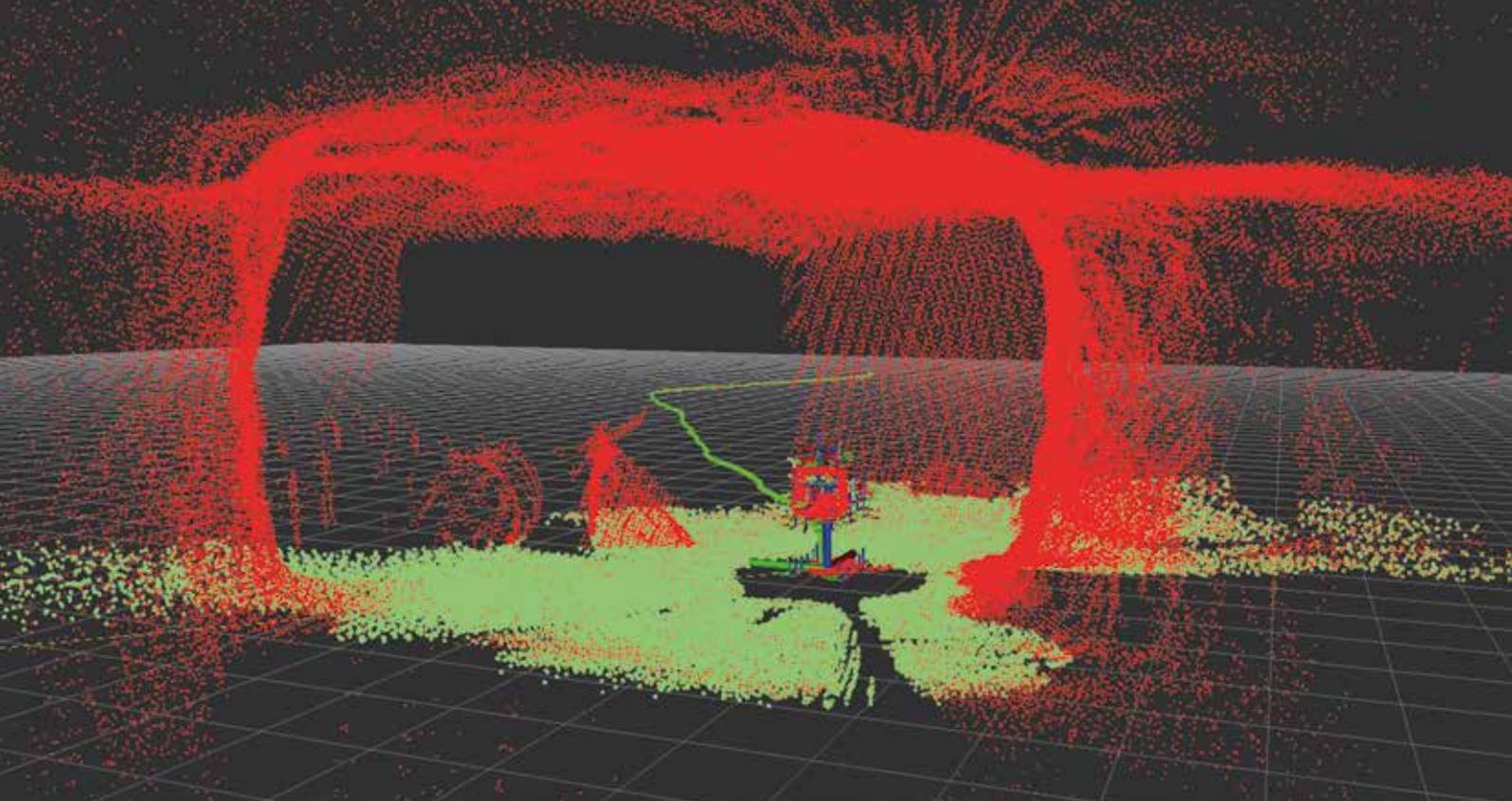
Die einzelnen diskreten Umgebungsscans und Lokalisierungsdaten des Erkundungsfahrzeuges werden in „mapit“ (Laserscan-Fusions-Datenbank, Entwicklung FH Aachen) verarbeitet und zu einem konsistenten, referenzierten digitalen Abbild des Grubengebäudes fusioniert. In Bild 3 ist ein fusionierter Scan von weiten Teilen des Grubengebäudes zu sehen. Das Abbild des Grubengebäudes wird genutzt um hochauflösende, detailreiche Karten für die Lokalisierung und Navigation von Produktionsfahrzeugen

infrastructure (see picture 1). The planned route of the exploration vehicle can also be seen in pictures 1 and 3. Local obstacles (marked red, see pictures 1 and 3) and drivable areas (marked green, see pictures 1 and 3) are delineated, identified and obstacles with a risk of collision mapped for collision-free route planning.

The individual discrete environmental scans and localization data of the exploration vehicle are processed in „mapit“ (laser scan fusion database, development FH Aachen) and merged into a consistent, referenced digital image of the mine workings. Picture 3 depicts a fused scan of large parts of the mine. The image of the mine is used to provide high-resolution, detailed maps for the localization and navigation of production vehicles. Our industrial partners could also demonstrate the automated driving of a loader based on the map data. In addition to automated movement, the mining data offer further potential for inspection, the recording of geometric changes and is spatially comparable with existing (official) documentation and databases due to geo-referencing.

1 Das Erkundungsfahrzeug bei der Abschlussdemonstration mit dem Entwicklerteam der FH Aachen und des AMT im Anhydridbergwerk in Krölpa bei Fa. Maxit Baustoffe GmbH. Das Erkundungsfahrzeug ist mit diverser Sensortechnik zur Erfassung und Digitalisierung der Bergwerksumgebung ausgestattet.

1 The exploration vehicle at the final demonstration with the development team of the FH Aachen and the AMT in the anhydride mine in Krölpa operated by Maxit Baustoffe GmbH. The exploration vehicle is equipped with various sensors for recording and digitizing the mine environment. .



3 Umgebungsdaten des Demonstrators klassifiziert nach Hindernissen und befahrbaren Bereichen. Klassifizierte Hindernisse und freie Bereiche mit geplanter Route voraus. Zu erkennen ist ein Fahrlader.

3 Environmental data of the demonstrator classified according to obstacles and passable areas. Classified obstacles and free areas with planned route ahead. A parked loader can be seen.

zu ermöglichen. Ein automatisiertes Fahren eines Fahrladers auf Basis der Kartendaten konnte durch die Projektpartner demonstriert werden. Die Daten des Grubenbaues bieten über die automatisierte Fortbewegung hinaus weiteres Potential für die Inspektion, das Aufzeichnen von geometrischen Veränderungen und ist durch die Georeferenzierung räumlich vergleichbar mit vorhandenen (amtlichen) Dokumentationen und Datenbanken.

Mit UPNS 4D+ wurden bestehende Technologien weiterentwickelt und Grundsteine für das autonome Bergwerk der Zukunft gelegt. Mit diesen wird es möglich, Bergwerke in schwer zugänglichen Lagerstätten wirtschaftlich und ressourcenschonend zu betreiben. Dazu arbeiteten erstmalig Fahrzeughersteller, Sensor- und Leitstandhersteller sowie Hochschulen und Universitäten aus verschiedenen Disziplinen zusammen und entwickeln gemeinsam ein Erkundungs- und Produktionssystem.

Das Projekt wird durch das Förderprogramm „IKT 2020 – Forschung und Innovationen“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 033R126D gefördert.

Projektpartner

indurad GmbH (Koordinator), GHH Fahrzeuge GmbH, Fachhochschule Aachen, Fritz Rensmann Maschinenfabrik Diesellokomotiven Getriebe GmbH & Co. KG, MILAN Geoservice GmbH, RWTH Aachen University (AMT), Technische Universität Bergakademie Freiberg, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH und assoziierten Partner: Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH, Technische Universität Delft

With UPNS 4D+, existing technologies have been improved and cornerstones for the autonomous mine of the future have been laid. These make it possible to operate mines in hard-to-access deposits economically and in a resource-saving manner. For this purpose, vehicle manufacturers, sensor and control station manufacturers as well as colleges and universities from various disciplines are working together for the first time to develop an exploration and production system.

UPNS 4D+ is funded by the „IKT 2020 - Research and Innovation“ program of the Federal Ministry of Education and Research under the Grant Agreement number 033R126D.

Project Partners

indurad GmbH (Coordinator), GHH Fahrzeuge GmbH, Fachhochschule Aachen, Fritz Rensmann Maschinenfabrik Diesellokomotiven Getriebe GmbH & Co. KG, MILAN Geoservice GmbH, RWTH Aachen University (AMT), Technische Universität Bergakademie Freiberg, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH und assoziierten Partner: Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH, Technische Universität Delft

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

ARTUS: Vom automatisierten Gewinnungsgerät zur autonomen Fahrzeugflotte

Ziel des Projekts ARTUS (Autonomes robustes Transportsystem für hybride umweltschonende Rohstoffgewinnung auf Basis knickgelenkter Sonderfahrzeuge) ist es, ein System zum Betrieb einer Flotte autonom arbeitender Sonderfahrzeuge für hybride, d.h. über- und untertägige Bergbaumgebungen zu entwickeln. Damit wird eine umweltschonendere und nachhaltigere Gewinnung mineralischer Rohstoffe ermöglicht, da sowohl im Hinblick auf die Einzelmaschine die Auslastung verbessert, Verbrauch und Verschleiß vermindert, als auch die Produktivität des Gesamtsystems optimiert werden kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird die Automatisierung der einzelnen Maschinen im Rahmen des Projekts weiter vorangetrieben, sodass Fahraufträge über- und unter Tage automatisiert abgewickelt können. Die automatisierten Einzelmaschinen werden darüber hinaus innerhalb des Projekts ARTUS zu einer dezentral arbeitenden Maschinenflotte zusammengeführt und eine zentrale Steuerung entwickelt, welche die Prozesskette ganzheitlich überwacht, Muster erkennt und in Echtzeit angepasste und optimierte Arbeitsaufträge erteilt.

Dabei interagieren die Einzelmaschinen nicht nur mit der zentralen Steuerung, sondern kommunizieren auch miteinander. Neben der weitergehenden Automatisierung der Einzelmaschinen ist deshalb die erfolgreiche Umsetzung einer direkten Maschine zu Maschine Kommunikation eine weitere Voraussetzung für einen vollautomatisierten Abbauprozess. Innerhalb von ARTUS bildet dies die Grundlage für die Automatisierung von komplexen Prozessen mit mehreren Maschinen.

ARTUS: From automated mining equipment to autonomous fleets

The aim of the ARTUS project (Autonomous robust transport system for hybrid, environmentally friendly raw material extraction based on articulated special vehicles) is to develop a system for operating a fleet of autonomously operating special vehicles for hybrid, i.e. surface and underground mining environments. This will enable a more environmentally friendly and sustainable extraction of mineral raw materials, as the utilization of the individual machines will be improved, consumption and wear reduced and the productivity of the entire system optimized.

In order to achieve this goal, the automation of the individual machines will be further advanced within the framework of the project, so that driving orders for underground and surface transportation processes can be automated. Within the ARTUS project, the automated individual machines will also be combined to form a decentralized machine fleet. A central control system will be developed that monitors the process as a whole, recognizes patterns and issues adapted and optimized work orders in real time.

The individual machines not only interact with the central control system, but also communicate with each other. In addition to further automation of the individual machines, the successful implementation of direct machine-to-machine communication is therefore another prerequisite for a fully automated extraction process. Within ARTUS, this forms the basis for the automation of complex processes with several machines.



(Foto @Stefan Schiffer)

- 1 ARTUS Vision einer autonomen Flotte von Maschinen, welche miteinander zentral und dezentral nach plattformoffenem und herstellernerneutalem Standard kommunizieren und optimiert miteinander agieren
- 1 ARTUS vision of an autonomous fleet of machines that communicate with each other centrally and decentrally according to platform-open and manufacturer-neutral standards and act optimally with each other

Die Vision von ARTUS ist in Abbildung 1 zu sehen. Basis dieser Interaktion ist eine passive (rein informative) oder aktive (einander beeinflussende) dezentrale Maschine zu Maschine Kommunikation.

Im Bereich der Maschine zu Maschine Interaktion dominieren aktuell herstellereigene Kommunikationssysteme den Markt. Diese haben zumeist keine offenen oder einheitlichen Schnittstellen, verhindern damit eine System- oder Technologieerweiterung und zwingen rohstoffgewinnende Unternehmen zu Lösungen großer Systemlösungsanbieter.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel des AMT, ein offenes, hersteller- und schnittstellenneutrales Kommunikationssystem für eine übergreifende Maschine zu Maschine Kommunikation in die Anwendung zu bringen. Im Rahmen des Projekts ARTUS wird ein solches System erstmalig für mobile Bergbaumaschinen umgesetzt und validiert. ARTUS ist damit ein führendes Beispiel für Bergbau 4.0 Kommunikation und kann als Basis für die offene Standardisierung und Spezifikation im Bereich Bergbau und OPC UA dienen.

Offene und dezentrale Kommunikation wird zur Interaktion von (autonomen) Maschinen in Zukunft eine entscheidene Rolle für die Umsetzung von Industrie 4.0 und Bergbau 4.0 spielen. Die in ARTUS durch das AMT umzusetzende Kommunikationstechnologie wird bisherigen Systemen überlegen sein, weil diese ganzheitlich, plattformneutral, herstellerübergreifend, technologieoffen, sicher, robust und prozessgetrieben ist. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, dass jedes System mit jedem kommunizieren kann und dies über jede beliebige existierende Kommunikationstechnologie, Kommunikationshardware, genutzter Übertragungstechnologie, Kommunikationsdienstleistern, intern abgewickelten Kommunikation und Steuerung hinweg.

Das Projekt wird durch das Förderprogramm „IKT 2020 – Forschung und Innovationen“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Projektfördernummer 033R126DN gefördert.

Projektpartner

indurad GmbH (Koordinator), talpasolutions GmbH, Fritz Rensmann Maschinenfabrik Diesellokomotiven Getriebe GmbH & Co. KG, GHH Fahrzeuge GmbH, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH und den akademischen Partnern Fachhochschule Aachen, RWTH Aachen University (AMT, IRT)

The basis of this interaction is a passive (purely informative) or active (interacting) decentralized machine-to-machine communication. ARTUS' vision is depicted in picture 1.

In the field of machine-to-machine interaction, proprietary communication systems currently dominate the market. These usually do not have open or uniform interfaces, thus preventing system or technology expansion and forcing mining companies to adopt solutions from large system solution providers.

Against this background, the AMT's goal is to implement an open, manufacturer- and interface-neutral communication system for a comprehensive machine-to-machine communication. As part of the ARTUS project, such a system will be implemented and validated for mobile mining machines for the first time. ARTUS is thus a leading example of mining 4.0 communication and can serve as a basis for open standardization and specification in the field of mining and OPC UA.

In the future, open and decentralized communication will play a decisive role for the interaction of (autonomous) machines in the implementation of Industry 4.0 and Mining 4.0. The communication technology to be implemented in ARTUS by AMT will be superior to existing systems because it is holistic, platform neutral, manufacturer independent, open-technology, secure, robust and process-driven. This opens up the possibility for any system to communicate with any other one via any existing communication technology, communication hardware, transmission technology used, communication service providers, internally processed communication and control.

The project is supported by the funding program „IKT 2020 - Research and Innovations“ of the Federal Ministry of Education and Research under the Grant Agreement number 033R126DN.

Project Partners

indurad GmbH (Coordinator), talpasolutions GmbH, Fritz Rensmann Maschinenfabrik Diesellokomotiven Getriebe GmbH & Co. KG, GHH Fahrzeuge GmbH, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH und den akademischen Partnern Fachhochschule Aachen, RWTH Aachen University (AMT, IRT)

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**



Real-Time Optimization of the Extraction and the Logistics Process in Highly Complex Geological and Selective Mining Settings



RTMine: Kontinuierliche Prozessüberwachung unter Tage

Das Real-Time Mining Projekt verfolgt das Ziel, sensorgestützte Monitoring-Systeme in den Gewinnungsprozess komplexer Lagerstätten einzubinden und einen Echtzeit-Prozess-Feedback-Regelkreis zu entwickeln, der es ermöglicht Online-Daten, die während der Extraktion vor Ort gewonnen wurden, schnell mit einem sequentiell aktualisierbaren Ressourcenmodell zu verknüpfen, welches wiederum mit der Echtzeit-Optimierung von langfristigen Planungs-, kurzfristigen Sequenzierungs- und Produktionskontrollentscheidungen verbunden ist. Dadurch wird eine kontinuierliche Prozessüberwachung ermöglicht.

Damit trägt das Real-Time Mining Projekt auch dazu bei, einen Paradigmenwechsel von einem diskontinuierlichen zu einem kontinuierlichen Prozessüberwachungs- und Qualitätsmanagementsystem in hochselektiven Bergbaubetrieben zu ermöglichen. Im Resultat wird durch eine gesteigerte Prozesseffizienz und Verbesserung der Ressourcenauslastung eine Verringerung der Umweltbelastung und Steigerung der Ressourceneffizienz in der europäischen Rohstoffgewinnungsindustrie erreicht. Ferner könnten in der Konsequenz Lagerstätten, die derzeit als wirtschaftlich marginal oder schwer zugänglich angesehen werden, interessant für eine Gewinnung werden.

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Forschungs- und Demonstrationsaktivitäten realisiert, die automatisierte sensorgestützte Materialcharakterisierung, Online-Maschinenleistungsmessungen, untertägige Navigation und Positionierung, Simulation und Optimierung von Planungsentscheidungen im untertägigen Bergbau, modernste Aktualisierungstechniken für Ressourcen-/Reservemodelle umfassten.

Das AMT brachte im Rahmen des Projekts seine Kompetenz im Bereich Materialcharakterisierung mithilfe von Infrarotthermographie (IR) und im Bereich der Lokalisierung von untertägigen Gewinnungsgeräten mittels Ultrabreitband-Technologie (UWB), Laserscannern und einer Inertial-Measurement Unit (IMU) ein sowie im Bereich der Prozessüberwachungssensoren mithilfe von Acoustic Emission (AE) und Körperschall (KS) für Bohr- und Gewinnungsgeräte.

RTMine: Continuous underground process monitoring

The aim of the Real-Time Mining project is to integrate sensor-based monitoring systems into the extraction process of complex deposits. To achieve that, a real-time process feedback loop is developed that allows online data obtained on-site during extraction to be quickly linked to a sequentially updatable resource model, which in turn is linked to the real-time optimization of long-term planning, short-term sequencing and production control decisions. This enables continuous process monitoring.

Thus, the Real-Time Mining project also contributes to enabling a paradigm shift from a discontinuous to a continuous process monitoring and quality management system in highly selective mining operations. As a result, increased process efficiency and improved resource utilization will reduce environmental impact and increase resource efficiency in the European raw material extraction industry. Furthermore, deposits that are currently regarded as economically marginal or difficult to access could become interesting for extraction.

The project included extensive research and demonstration activities including automated sensor-based material characterization, online machine performance measurements, underground navigation and positioning, simulation and optimization of planning decisions in underground mining, state-of-the-art updating techniques for resource/reserve models.

AMT contributed to the project its expertise in material characterization using infrared thermography (IR) and in the localization of underground mining equipment using ultra-wideband technology (UWB), laser scanners and an inertial measurement unit (IMU), as well as process monitoring sensors using acoustic emission (AE) and structure-borne sound (KS) for drilling and mining equipment.

Das AMT hat im Rahmen des Projekts folgende Aufgaben übernommen:

- Entwicklung eines untertägigen Lokalisierungssystems basierend auf den Teilsystemen UWB und Laserscannern
- Entwicklung eines Partikelfilters zur Einbindung der UWB-, Laserscanner- und IMU- Daten und zur Erhöhung der Gesamtgenauigkeit
- Bau und Test des UWB-Systems in einem untertägigen Bergwerk
- Erstellung und Bau eines IR-basierten Materialcharakterisierungssystems für Stöße
- Test des IR-Materialcharakterisierungssystem in einer relevanten Umgebung
- Auswahl von Sensoren und anschließende Entwicklung eines Überwachungssystems für den Löse- und Bohrprozess

Test des Überwachungssystems in einer relevanten Umgebung
Im Rahmen des Projektes konnte ein UWB-Lokalisierungssystem mit einer Genauigkeit von 0,5 m (90% Konfidenzintervall) für bewegte Objekte entwickelt werden. Dieses Lokalisierungssystem für den untertägigen Einsatz steigert sowohl die Arbeitssicherheit im Bergwerk, hilft aber auch beim fahrerlosen Betrieb von untertägigen Equipment. Außerdem konnten drei verschiedene Gesteinsklassen mittels des IR-Charakterisierungssystems erfolgreich detektiert werden, womit eine schnelle und berührungslose Materialunterscheidung direkt am Stoß möglich wird.

The AMT has assumed the following tasks within the scope of the project:

- Development of an underground localization system based on the subsystems UWB and laser scanners
- Development of a particle filter for the integration of UWB, laser scanner and IMU data and for increasing the overall accuracy
- Construction and testing of the UWB system in an underground mine
- Development and construction of an IR-based material characterization system
- Test of the IR material characterization system in a relevant environment
- Selection of sensors and subsequent development of a monitoring system for the loosening and drilling process

Test of the monitoring system in a relevant environment
Within the scope of the project, a UWB localization system with an accuracy of 0.5 m (90% confidence interval) for moving objects was developed. This localization system for underground use increases safety at work in mines, but also helps with the driverless operation of underground equipment. In addition, three different rock classes could be successfully detected using the IR characterization system, enabling fast and non-contact material differentiation directly at the mine face.

Acoustic Emission Messung an einem Prototypen einer Streckenvortriebsmaschine der Firma T-Machinery in Tschechien
Acoustic emission measurement on a prototype of a T-Machinery roadheader in the Czech Republic





Demonstration im Lehr- und Versuchsbergwerk der TU Bergakademie Freiberg
Demonstration in the teaching and test mine of the TU Bergakademie Freiberg

Zudem konnten verschiedene Sensoren erfolgreich für ein Überwachungssystem für den schneidenden Löseprozess ausgewählt werden und ein Laborsystem basierend auf Körperschallmessung, Schneidkraftmessung, Acoustic Emission Messung und Stromaufnahme entwickelt werden.

Die Acoustic Emission Technologie konnte ebenfalls erfolgreich für die Materialcharakterisierung während des Löse- und Bohrprozesses an einer Vortriebsmaschine und einem Bohrwagen getestet werden, wodurch Materialänderungen während des Löseprozesses detektiert werden können und darauf reagiert werden kann.

Gefördert durch die Europäische Union im Rahmen des Forschungsrahmenprogramms Horizon 2020 mit der Fördernummer 641989.

Projektpartner

Delft University of Technology (Koordinator), Associacao do Instituto Superior Tecnico Para a Investigacao e Desenvolvimento, Dassault Systems Geovia Ltd., IBEWA Ingenieurpartnerschaft für Bergbau Wasser und Deponietechnik Wilsnack & Partner (IBeWa), Imperial College of Science, Technology and Medicine, Laser Analytical Systems & Automation GmbH (LSA), Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), RWTH Aachen University (AMT, MRE), Sonicsampdrill BV, Spectral Industries BV, Technische Universität Bergakademie Freiberg, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

In addition, various sensors were successfully selected for a monitoring system for the cutting process and a laboratory system was developed which is based on structure-borne noise measurement, cutting force measurement, acoustic emission measurement, and current consumption.

The acoustic emission technology has also been successfully tested for material characterization during the cutting and drilling process on a roadheader machine and a drill rig, allowing material changes during the cutting process to be detected and responded to.

The project is funded by the Horizon 2020 Framework of the European Union under Grant Agreement Number 641989.

Project Partners

Delft University of Technology (Coordinator), Associacao do Instituto Superior Tecnico Para a Investigacao e Desenvolvimento, Dassault Systems Geovia Ltd., IBEWA Ingenieurpartnerschaft für Bergbau Wasser und Deponietechnik Wilsnack & Partner (IBeWa), Imperial College of Science, Technology and Medicine, Laser Analytical Systems & Automation GmbH (LSA), Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), RWTH Aachen University (AMT, MRE), Sonicsampdrill BV, Spectral Industries BV, Technische Universität Bergakademie Freiberg, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

Underground Robotic System for Monitoring, Evaluation and Detection Applications

UNDROMEDA: Verbesserung
der Sicherheit und Produktivität
durch Robotik

UNDROMEDA: Improving safety and productivity through Robotics

(Foto: ©DMT GmbH & Co. KG)

UNDROMEDA: Verbesserung der Sicherheit und Produktivität durch Robotik

Das UNDROMEDA-Projekt zielt auf die Entwicklung eines roboter-gestützten unterirdischen Messsystems für die autonome 3D-Kartierung, Inspektion und Überwachung ab. Das System basiert auf einer mobilen, radgetriebenen Plattform, die zusätzlich mit einer fliegenden Drohne ausgestattet ist, um insbesondere unbekannte, schwer zugängliche oder gefährliche Bereiche in untertägigen Bergwerken und weiteren unterirdischen Umgebungen, wie Tunnel und Streckensysteme, zu befahren. In der Entwicklung werden neuste Positionierungs-, Navigations- und Mapping-Sensoren wie Laserscanning, Radar, Trägheitstechnologie sowie innovative Algorithmen wie Laser-Slam, optische Navigation und Virtual-Reality-Teleoperation in das System integriert.

UNDROMEDA ist ein Meilensteinprojekt im Rahmen der aktuellen technologischen Entwicklung zum "unsichtbaren, schadstofffreien, intelligenten, sicheren und autonomen" Bergwerk und ermöglicht es, sich den damit verbundenen Herausforderungen für den zukünftigen Bergbau in Bezug auf soziale und ökologische Akzeptanz sowie wirtschaftliche Effizienz zu stellen. Die autonome Plattform mit Drohne wird das Risiko für das Untertagepersonal durch den Ersatz manueller Messungen deutlich reduzieren. Die Automatisierung der Inspektions-, Kartierungs- und Überwachungsaufgaben reduziert den Zeit- und Kostenaufwand, während neuartige Sensoren und deren Integration die Informationsdichte und -qualität drastisch verbessern.

Das AMT ist an der Bereitstellung eines Ultrabreitband-Lokalisierungssystems (UWB) für das Robotersystem in Hard- und Software beteiligt. Der Anwendungsfall des UWB Systems ist hier die referenzierte Stützung der Lokalisierung des Robotersystems und hat zum Ziel eine georeferenzierte Lokalisierung zur Verfügung zu stellen. Im Zuge von UNDROMEDA werden die Anker und Tags weiter-, sowie neuartige Lokisierungsalgorithmen für das UNDROMEDA System entwickelt.

Die UWB Entwicklungen aus vorangegangenen Projekten wurden im Zuge von UNDROMEDA in eine neue, kompaktere Hardware integriert und die embedded Software überarbeitet, mit der Möglichkeit der Integration von neuen und robusteren Ranging-Algorithmen. Für den Einsatz im Bergwerk werden aktuell die fest installierten UWB Anker, wie auch für das am UNDROMEDA System integrierte UWB Tag, in neuen, robusteren Gehäusen untergebracht, sowie mit signalstärkeren und kompakten

UNDROMEDA: Improving safety and productivity through Robotics

The UNDROMEDA project aims at the development of a robot-supported underground measurement system for autonomous 3D mapping, inspection and monitoring. The system is based on a mobile, wheel-driven platform, which is additionally equipped with a flying drone to access unknown, inaccessible or dangerous areas in underground mines and other underground environments, such as tunnels and track systems. During development, the latest positioning, navigation and mapping sensors such as laser scanning, radar, inertial technology and innovative algorithms such as laser slam, optical navigation and virtual reality teleoperation are integrated into the system.

UNDROMEDA is a milestone project in the current technological development of the "invisible, pollutant-free, intelligent, safe and autonomous mine" and allows to meet the associated challenges for future mining in terms of social and ecological acceptance and economic efficiency. The autonomous platform with the drone will significantly reduce the risk for underground personnel by replacing manual measurements. The automation of inspection, mapping and monitoring tasks reduces time and costs, while novel sensors and their integration drastically improve information density and quality.

The Institute for Advanced Mining Technologies is involved in the provision of an ultra-wideband (UWB) technology based localization system for the robotic system in hardware and software. The application case of the UWB system here is the referenced support of the localization of the robot system and aims to provide a georeferenced localization. Over the course of the project, the anchors and tags are further developed, as well as new localization algorithms for the UNDROMEDA system.

In the UNDROMEDA project, the UWB developments from previous projects are integrated into a new, more compact and specially developed hardware and the embedded software is revised with the possibility of integrating new and more robust ranging-algorithms. For use in mines, the permanently installed UWB anchors, as well as the UWB tag integrated into the UNDROMEDA system, are being housed in new, more robust housings and equipped with stronger and compact antennas. In addition, the UWB system will be further developed with respect to sensor fusion. Hence, new more robust and referenced sensor fusion algorithms are implemented and integrated to localize the UNDROMEDA system.

Antennen ausgestattet. Darüber hinaus wird das UWB System im Bereich der Sensorfusion weiterentwickelt. Neue robustere und referenzierte Sensorfusionsalgorithmen werden implementiert und zur Lokalisierung des UNDRONEDA Systems integriert.

Das Team aus erfahrenen Projektpartnern wird mehrere bestehende Teillösungen (TRL 5), wie bspw. die UWB Lokalisierungslösung des AMT, zu einem innovativen Gesamtsystem für die effiziente Inspektions-, Überwachungs-, Auswertungs- und Erkennungsanwendungen (TRL 7) zusammenfassen und weiterentwickeln.

Das Projekt wird gefördert durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) mit der Fördernummer 17019

Projektpartner

DMT GmbH & Co. KG (Koordinator), Boliden Minerals AB, indurad GmbH, LTU Business AB, RWTH Aachen University (AMT), Technische Hochschule Nürnberg, Technische Universität Bergakademie Freiberg

The team of experienced project partners will combine and further develop several existing partial solutions (TRL 5), such as the AMT UWB localization solution, into an innovative overall system for efficient inspection, monitoring, evaluation and recognition applications (TRL 7).

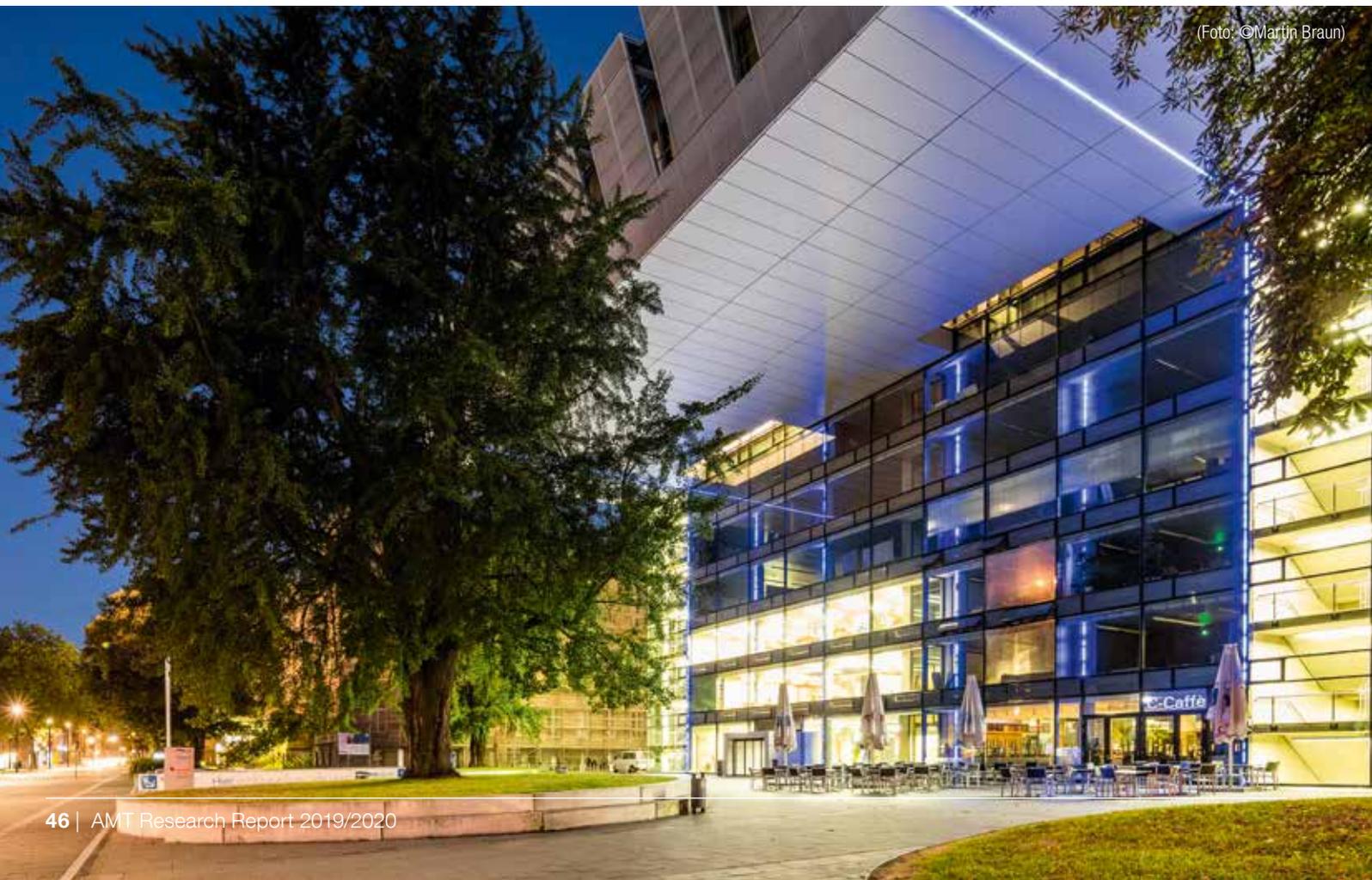
The project receives funding from the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under Grant Agreement number 17019.

Project Partners

DMT GmbH & Co. KG (Coordinator), Boliden Minerals AB, indurad GmbH, LTU Business AB, RWTH Aachen University (AMT), Technische Hochschule Nürnberg, Technische Universität Bergakademie Freiberg



EIT RawMaterials is supported by the EIT, a body of the European Union



(Foto: ©Martin Braun)

Qualitätssicherung und Effizienzsteigerung durch Online Materialerkennung

Quality assurance and increased efficiency through online material recognition

Eine zentrale Herausforderung für die Bergbauindustrie besteht darin, die Effizienz des Gewinnungs- und Aufbereitungsprozesses zu steigern. Im Gewinnungsprozess besteht die Herausforderung darin, dass es bisher keine zuverlässigen oder sensorgestützten Informationen über die Qualität des gewonnenen Materials während des Schneidprozesses gibt. Dabei ist die Minimierung des Abraums bei gleichzeitiger Maximierung der Gewinnung des Wertmaterials eine zentrale Voraussetzung für eine selektive und ressourcenschonende Rohstoffgewinnung.

Auch im Aufbereitungsprozess gibt es bisher keine Echtzeit-Informationen über die Zusammensetzung und die Qualität des Materials auf dem Förderband. Dies beeinträchtigt die Effizienz der Aufbereitungsanlage enorm, da zum einen eine bestimmte Qualität des Materials für eine optimale Funktionsweise der Anlage erforderlich ist, gleichzeitig steigt der Energieaufwand mit dem Anteil von Nebengestein. Ein weiterer Bereich, bei dem die Materialerkennung von Bedeutung ist, ist bei der Verkipfung von Abraum. Die genaue, sensorgestützte Bestimmung der Bodentypen kann hier dazu beitragen, die Qualitäten zuverlässig zu bestimmen und damit die Verkipfung zu optimieren.

Um eine sensorgestützte Materialerkennung in Echtzeit zu ermöglichen, entwickelt das AMT verschiedene Anwendungen basierend auf Acoustic Emission Technologie (AE). Auch an einer Kombination von AE Technologie mit Infrarotthermographie wird aktuell geforscht. Beim Einsatz von AE Technologie wird die Vibration von Oberflächen im Nanometer-Bereich gemessen, die durch Änderungen im Materialgefüge ausgelöst wird. Ursprünglich aus der zerstörungsfreien Prüfung stammend, misst AE Technologie elastische Wellen, die durch die Materialkörper an die Oberflächen wandern und dort mithilfe der AE Technologie erfasst werden können. Dieses Phänomen tritt auch auf, wenn zwei unterschiedliche Körper aufeinanderprallen.

A key challenge for the mining industry is to increase the efficiency of the extraction and processing process. The challenge in the mining process is that there is no reliable or sensor-based information about the quality of the extracted material during the cutting process. Minimizing the overburden while maximizing the extraction of the valuable material is a central prerequisite for selective and economical raw material extraction.

Also during further processing, there is no real-time information available on the composition and quality of the material on the conveyor belt. This has an enormous impact on the efficiency of the processing plant, since on the one hand, a certain quality of the material is required for the optimum functioning of the plant, and on the other hand, the energy consumption increases with the share of waste rock. Another area where material detection is important is the dumping of overburden. The precise, sensor-supported determination of soil types can contribute to the reliable determination of qualities and thus to the optimization of dumping.

In order to enable sensor-based material recognition in real time, AMT is developing various applications based on acoustic emission (AE) technology. A combination of AE technology with infrared thermography is also currently being explored. Using AE technology, the vibration of surfaces in the nanometer range caused by changes in the material structure is measured. Originally derived from non-destructive testing, AE measures elastic waves that travel through material bodies to surfaces where they can be detected using AE technology. This phenomenon also occurs when two different bodies collide.

Das AMT konnte empirisch nachweisen, dass sich bei unterschiedlichen Materialien auch Unterschiede im AE Signal ausmachen lassen. Dazu wurden zunächst verschiedene Materialien wie z.B. Holz, Plastik oder Metall getestet. Die besondere Herausforderung liegt dabei darin, aus den hochfrequenten und transienten AE Signalen die relevanten Ereignisse zu extrahieren und diese dann durch geeignete Algorithmen auszuwerten und daraus relevante Informationen abzuleiten. Das AMT arbeitet deshalb an der Entwicklung geeigneter Algorithmen, um so aus dem Zeitsignal der AE Sensoren Informationen über die Materialzusammensetzung zu extrahieren. Dabei kommen Algorithmen und Ansätze aus dem Bereich der Signalverarbeitung aber auch aus dem Bereich von Machine Learning und Deep Learning zum Einsatz.

OMMA: Online-Messsystem zur Materialstromcharakterisierung

Das Ziel findet sich beim Projekt OMMA im Projektnamen wieder: Die Entwicklung eines Online-Messsystems zur Materialstromcharakterisierung in Aufbereitungsanlagen der Gipsindustrie. Hintergrund für den Bedarf eines solchen Systems ist die notwendige Qualitätssicherung der Produkte in Betrieben der primären Rohstoffindustrie.

Gips und Anhydrit sind als Bestandteile von Estrich, Mörtel und Fertigprodukten wie Faser- und Wandbauplatten wesentliche Rohstoffe für das Bauwesen. Für die Verwendung in Veredelungsprodukten muss beispielweise der Gipsstein jedoch eine entsprechend hohe Reinheit aufweisen. Beide Rohstoffe kommen bedingt durch die Lagerstättengenese in der Natur oftmals gemeinsam vor und müssen für die gezielte Weiterverarbeitung voneinander unterschieden werden. Allerdings weisen Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) ähnliche optische wie chemische Eigenschaften auf. Chemisch unterscheiden sie sich nur durch das im Gips gebundene Kristallwasser.

Bisher lassen sich in der betrieblichen Praxis Gips und Anhydrit in der Aufbereitung aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften nur durch aufwendige Probenahme und Laboruntersuchung voneinander abgrenzen. Eine derartige Analyse dauert mindestens 15 Minuten und wird nur wenige Male pro Tag durchgeführt. Schwankungen in der Materialzusammensetzung auf dem Förderband lassen sich auf diese Weise nicht oder nicht rechtzeitig erfassen. Somit kann die Zusammensetzung von Materialgemischen während der Produktion/ Gewinnung/ Förderung nur unzureichend bestimmt werden. Eine möglichst genaue Kenntnis der Zusammensetzung der zu verarbeitenden Rohstoffe während des Aufbereitungsprozesses ist jedoch entscheidend für eine direkte Prozesskontrolle und -steuerung und eine zuverlässige Qualitätssicherung des Endprodukts.

The AMT was able to empirically prove that differences in the AE signal can also be detected with different materials. First, different materials such as wood, plastic or metal were tested. The particular challenge here is to extract the relevant events from the high-frequency and transient AE signals and then evaluate them using suitable algorithms and derive relevant information from them. The AMT is therefore working on the development of suitable algorithms to extract information about the material composition from the time signal of the AE sensors. Algorithms and approaches from the field of signal processing, machine learning and deep learning are applied.

OMMA: Online measuring system for material flow characterization

The name of project OMMA reflects its goal: The development of an online measurement system for material flow characterization in mineral processing plants of the gypsum industry. The need for such a system arises from the need for improved quality control of raw materials on conveyor belts.

Gypsum and anhydrite are both part of screed, mortar and finished products like wall- or hardboard. As such, they are essential resources for the construction industry. However, in order to be applied in finished products, the gypsum needs to be of a certain purity. Both gypsum and anhydrite show up together in deposits due to their genesis and need to be separated from each other for further processing. This separation is impeded by the fact that both materials exhibit similar optical and chemical properties. For example, the only chemical difference between gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and anhydrite (CaSO_4) is the crystallized water in the gypsum.

So far, the operational practice for determining the chemical properties is to take samples for laboratory analyses. Such an investigation takes at least 15 minutes and is done only a few times a day. Fluctuations in the material flow cannot be detected in real-time. Thus, the determination of the composition of material flows in production and transportation is insufficient. However, sufficient knowledge about these properties is essential for a direct process control and reliable quality assurance of the final product.

Das Projektzielt deshalb auf die Realisierung eines in den Aufbereitungsprozess integrierten, echtzeitfähigen Messsystems zur Inline-Charakterisierung der Stoffströme, der eine Material-charakterisierung bereits im Transportprozess ermöglicht und wodurch die Zusammensetzung des Haufwerks direkt, automatisiert und kontinuierlich ermittelt werden kann.

Das Messsystem, welches derzeit am AMT entwickelt wird, basiert auf dem Prinzip der Acoustic Emission (AE) Technologie. Diese hat sich bereits in der Vergangenheit am AMT in verschiedenen Anwendungsfällen etabliert und ist auf ihre Eignung zur Stoffstromcharakterisierung von Schüttgütern hin untersucht worden. Hierbei werden hochfrequente Wellen, die bei Transport- und Prallprozessen entstehen, mittels geeigneter Messtechnik als AE Signale aufgezeichnet. Durch die Analyse der AE Signale bekannter Stoffstromzusammensetzungen lassen sich geeignete Parameter und Algorithmen ableiten. Auf Basis dieser soll der Gips- und Anhydritgehalt eines unbekanntes Stoffstroms ermittelt werden.

Durch umfangreiche Fallstudien an einem eigens konstruierten Umlaufprüfstand konnten die oben erwähnten Signale bei bekannten Stoffstromzusammensetzungen für den Anwendungsfall Gips und Anhydrit generiert werden. Zudem wurden erste Feldversuche in einem Gipswerk der Firma VG Orth durchgeführt. Dabei wurde das Messsystem in der Praxis getestet und die bisher im Labor erzielten Ergebnisse auf ihre Praxistauglichkeit überprüft. Nach Auswertung der Messdaten konnte eine Machbarkeit der Stoffstromcharakterisierung auch im Feld bestätigt werden. Basierend auf den Erfahrungen aus dieser Messkampagne wird nun das System hinsichtlich der Industrietauglichkeit weiterentwickelt. Die AE Technologie soll so eine schnelle und kontinuierliche Erfassung der Stoffstromzusammensetzung in Echtzeit ermöglichen.

Das IGF-Vorhaben 19534 N / 2 der Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Projektpartner

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (Koordinator),
RWTH Aachen University (AMT und AMR)

It is for these reasons, that the project aims to create a real-time measuring system for inline characterization of the material flows which can be integrated into the mineral processing process and thus allow for a direct, automated and continuous determination of the material flow composition.

The measuring system, which is being developed at the AMT, is based on the principle of acoustic emission (AE) technology. This technology has already been successfully deployed at the AMT in various applications and has been investigated for its suitability for material flow characterization of bulk materials. High-frequency waves generated during transport and impact processes are recorded as AE signals using state-of-the-art measurement technology. By analyzing the AE signals of known material flow compositions, suitable parameters and algorithms can be derived. Based on these, the gypsum and anhydrite content of an unknown material flow is to be determined.

Extensive case studies on a specially constructed circulation test bench enabled the above-mentioned signals to be generated with known material flow compositions for gypsum and anhydrite applications. In addition, first field tests were carried out in a gypsum plant of VG Orth. The measuring system was tested in practice and the results obtained so far in the laboratory were checked for their suitability for practical use. After evaluation of the measurement data, the feasibility of material flow characterization in the field was confirmed. Based on the experience gained from this measurement campaign, the system is now being further developed with regard to industrial suitability. The AE technology should thus enable a fast and continuous recording of the material flow composition in real time.

The IGF project 19534 N / 2 of the Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. is funded by the AiF within the framework of the program for the promotion of joint industrial research (IGF) of the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy on the basis of a resolution of the German Bundestag.

Project Partners

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (Coordinator),
RWTH Aachen University (AMT and AMR)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Walze 4.0: Wie eine Schneidwalze hören und fühlen lernt

Im Rahmen des Walze 4.0 Projekts entwickelt das AMT in enger Kooperation mit der Firma KRUMMENAUER Anlagenbau GmbH und der Firma CAE Software und Systems GmbH eine Schneidwalze mit integriertem Sensorsystem zur Materialerkennung während des Schneidprozesses. Diese Schneidwalze soll im Strebbau, bei der untertägigen Kohle- und Salzgewinnung mit Walzenschrämladern, aber auch unter anderem als Baggeranbaufräse im Straßenbau zum Einsatz kommen.

Das Ziel des Forschungsprojektes Walze 4.0 ist es, der Schneidwalze mithilfe von Acoustic-Emission Technologie notwendige „Sinneseindrücke“ zu verleihen, welche die Schneidwalze in die Lage versetzen, die während des Abbaus erzeugten Schwingungen zu fühlen/hören sowie diese zu interpretieren. Dabei wird ein Sensorsystem in eine neuentwickelte Schneidwalze integriert, welches durch Signalanalyse die aufgezeichneten Signale nach signifikanten Gesteinskennwerten untersucht und diese der Lage im Raum zuordnet.

Bisher steht der Maschinenführer so dicht wie möglich neben der Maschine, um anhand des Klangs des Löseprozesses die Ausleger zu steuern und so zu verhindern, dass zu viel Nebengestein mitgeschnitten wird. Im Rahmen des Projektes wird eine robuste Funkstrecke entwickelt, damit diese Informationen aus der rotierenden Schneidwalze herausgesendet und anschließend eine 3D-Matrix des Strebes erstellt werden kann. Diese Matrix

Shearer Drum 4.0: How a cutting drum learns to hear and feel

In close cooperation with KRUMMENAUER Anlagenbau GmbH and CAE Software und Systems GmbH, AMT is developing a cutting drum with an integrated sensor system for material recognition during the cutting process. This cutting drum is to be used in longwall mining, in underground coal and salt mining with roller shearer loaders, but also as an excavator attachment milling machine in road construction.

The aim of the research project „Shearer Drum 4.0“ is to use acoustic emission (AE) technology to give the cutting drum the necessary „sensory impressions“ that enable it to feel/hear and interpret the vibrations generated during the cutting process. A sensor system is integrated into a newly developed cutting drum, which uses signal analysis to examine the recorded signals for significant rock parameters and assigns them to the position of the rock.

Until now, the machine operator has been standing as close as possible to the machine in order to control the boom by means of the sound of the loosening process and thus to prevent too much surrounding rock from being cut. Within the framework of the project, a robust radio link will be developed so that this information can be sent out of the rotating cutting drum and a 3D matrix of the face can then be created. This matrix makes it possible to

ermöglicht es, ein Flözprofil zu erstellen, womit ein System zur visuellen Unterstützung des Maschinenführers entwickelt werden kann. Anhand der Matrix kann dann eine direkte Steuerung der Ausleger und des Vorschubs im Betrieb vorgenommen werden, sodass die Maschinenparameter automatisch an die Gegebenheiten des Strebens angepasst werden.

Das AMT übernimmt folgende Arbeitspakete im Projekt:

- Analyse von physikalischen Abhängigkeiten zwischen AE Signalen und Schneidprozessen
- Entwicklung eines Algorithmus zur Auswertung des AE Signals zum Rückschluss auf die geologische Formation
- Entwicklung eines Verfahrens zur orts aufgelösten Signalauswertung (3D-Matrix)
- Umsetzung der Signalauswertung innerhalb eines Prototypen und Validierung mittels Feldtests.

Die Nutzung der Acoustic Emission Technologie für diesen speziellen Anwendungsfall soll eine schnelle, kontinuierliche Analyse des Flözes gewährleisten. Das Projekt schafft die Voraussetzung für ein zukünftig höheres Maß an Strebautomation, wodurch der Arbeits- und Gesundheitsschutz der Mitarbeiter deutlich gesteigert werden kann, indem sie von potenziellen Gefahrenquellen ferngehalten werden. Damit leistet dieses Projekt einen wichtigen und innovativen Beitrag zur Verbesserung des Arbeitsumfeldes im Strebbaubau.

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter der Fördernummer ZF4010404KO7

Projektpartner

KRUMMENAUER Anlagenbau GmbH (Koordinator), CAE Software und Systems GmbH, RWTH Aachen University (AMT)

create a seam profile, with which a system can be developed for the visual support of the machine operator. The matrix can then be used to directly control the boom and feed during operation, so that the machine parameters are automatically adapted to the face conditions.

The Institute Advanced Mining Technologies takes over the following work packages in the project:

- Analysis of physical dependencies between AE signals and cutting processes
- Development of an algorithm for the evaluation of the AE signal to draw conclusions about the geological formation
- Development of a method for spatially resolved signal evaluation (3D matrix)
- Implementation of signal evaluation within a prototype and validation by means of field tests.

The use of acoustic emission (AE) technology for this special application should ensure a fast, continuous analysis of the seam. The project creates the prerequisites for a higher degree of strewing automation in the future, whereby the occupational health and safety of the employees can be significantly increased by keeping them away from potential sources of danger. This project thus makes an important and innovative contribution to improving the working environment in longwall mining.

The project is funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy through the AiF as part of the Central Innovation Program for SMEs (ZIM) on the basis of a resolution of the German Bundestag under the Grant Agreement Number ZF4010404KO7

Project Partners

KRUMMENAUER Anlagenbau GmbH (Coordinator), CAE Software und Systems GmbH, RWTH Aachen University (AMT)



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Predictive Maintenance

Predictive Maintenance, d.h. die vorausschauende Instandhaltung von Maschinen und Anlagen, ist an sich kein neues Forschungsfeld. Bereits seit 1997 wird der Begriff in Veröffentlichungen verwendet, allerdings erfuhr er seit 2014 einen gewissen Hype mit einem Anstieg von Veröffentlichungen zwischen 2014 und 2018 um 93%. Wichtig ist es vor diesem Hintergrund, in der aktuellen, oft verallgemeinerten Diskussion, vier Reifegrade von Predictive Maintenance zu unterscheiden. Eine Umfrage unter 280 europäischen Unternehmen von 2017 hat ergeben, dass nur 11% der Unternehmen sich mit Predictive Maintenance auf Level 4 (Big Data Analytics & Machine Learning) beschäftigen, und nur 23% mit Level 3 (Echtzeit Zustandsüberwachung). Tatsächlich betreiben noch heute 63% der befragten Unternehmen ihre Instandhaltung mithilfe visueller (Level 1) oder instrumentell gestützter (Level 2) Inspektion.

Für die Forschung, und die nachfolgende Anwendung in der Industrie, besteht aktuell die größte Herausforderung darin, den Übergang von Echtzeit-Überwachung (Online Condition Monitoring) hin zu vorausschauender Instandhaltung unter Anwendung von Big Data Analytics und Machine Learning zu realisieren. Die Kombination von Datenanalyse und maschinellem Lernen macht es möglich, auf Basis von historischen Daten auf die Zukunft zu schließen und Voraussagen zu treffen.

Unsere Ambition am AMT besteht mittelfristig darin, das Wissen über Machine Learning in die Bergbaupraxis zu bringen, d.h. Algorithmen aus dem Bereich des Machine Learning auf Anwendungsfälle im Bergbau zu übertragen. Diese Entwicklung steckt derzeit noch in den Anfängen aufgrund der hohen Komplexität nicht nur des maschinellen Lernens selbst, sondern der zusätzlich sehr komplexen Umfeldbedingungen im Bergbau, die zudem von hoher Variabilität gekennzeichnet sind.

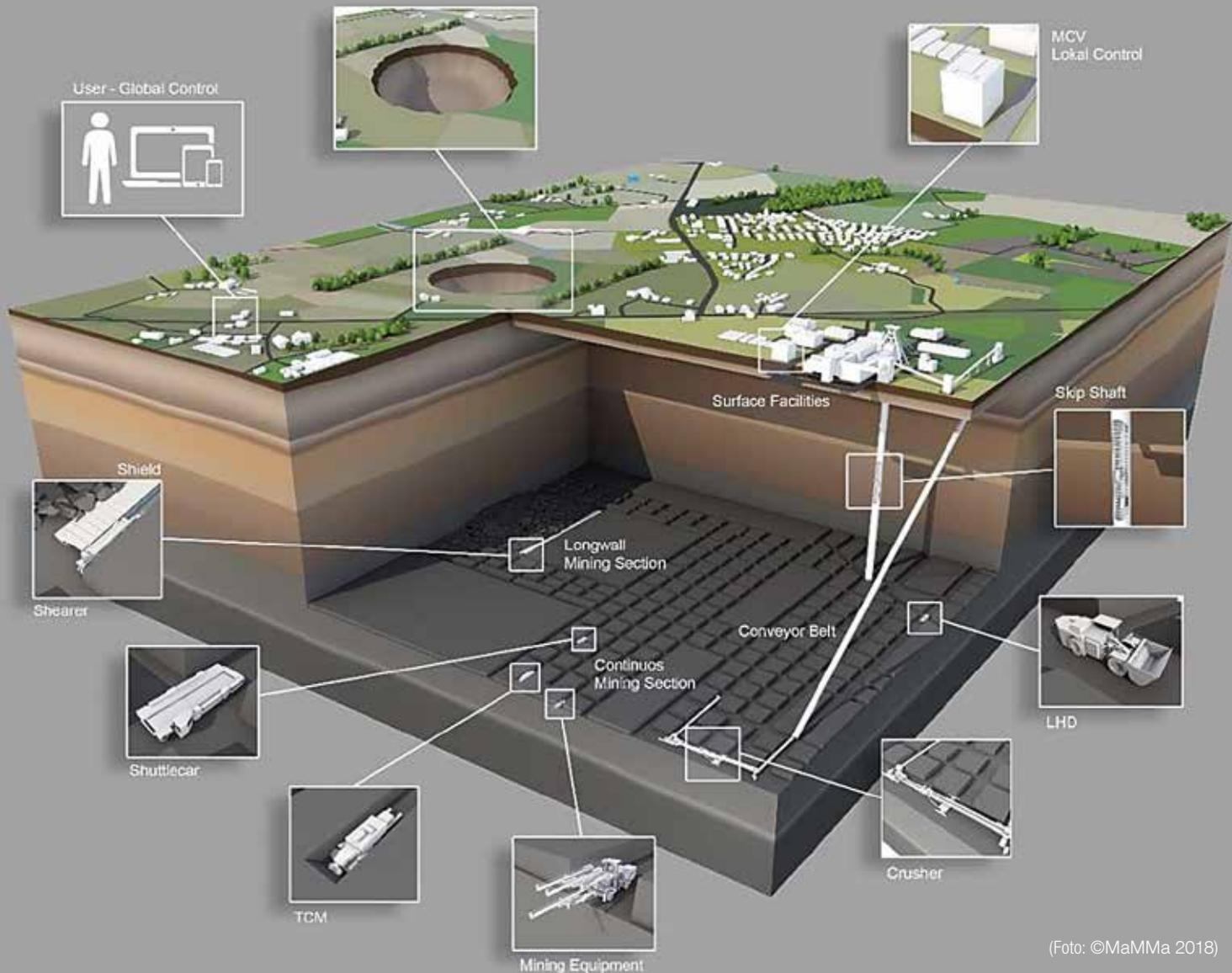
Derzeit ist das AMT im Rahmen des Projekts MaMMa daran beteiligt, eine schnittstellenneutrale Datenplattform zu realisieren, die eine integrierte Online Überwachung des gesamten Prozesses ermöglicht.

Predictive maintenance is not a new field of research in itself. The term has been used in publications since 1997, but since 2014 it has experienced a certain hype with a 93% increase in publications between 2014 and 2018. Against this background, it is important to distinguish four levels of maturity in the current, often generalized discussion of predictive maintenance. A survey of 280 European companies in 2017 showed that only 11% of companies deal with predictive maintenance at level 4 (Big Data Analytics & Machine Learning) and only 23% with level 3 (real-time condition monitoring). In fact, 63% of the companies surveyed still perform their maintenance using visual (Level 1) or instrument-supported (Level 2) inspection.

For research, and its subsequent application in industry, the biggest challenge today therefore is to make the transition from online condition monitoring to predictive maintenance using big data analytics and machine learning. The combination of data analysis and machine learning makes it possible to draw conclusions about the future and make predictions based on historical data.

Our ambition at AMT in the near term is to transfer machine learning knowledge to mining practice, i.e. to transfer machine-learning algorithms to mining applications. This development is currently still in its infancy due to the high complexity not only of machine learning itself, but also of the very complex environmental conditions in mining, which are also characterized by high variability.

Within the framework of the MaMMa project, AMT is currently involved in implementing an interface-neutral data platform that enables integrated online-monitoring of the entire process.



Komponenten eines Bergwerks, die in einer Datenplattform integriert werden sollen
 Components of a mine to be integrated into a data platform

MAMMA

Maintained Mine and Machine

MaMMa: Entwicklung eines ganzheitlichen Maintenance-Systems

Das Ziel von MaMMa (Maintained Mine & Machine) ist es, die Verfügbarkeit, Effizienz und Sicherheit von Maschinen und Bergwerken durch den Einsatz eines intelligenten, integrierten und ganzheitlichen Maintenance-Systems zu verbessern. Aufbauend auf vorangegangenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten besteht das Ziel vom Projekt MaMMa darin, bisher entwickelte Einzelsysteme und Technologien so zu erweitern und weiter zu entwickeln, dass im Rahmen des Projekts ein TRL (Technology Readiness Level) von 6-7 erreicht werden kann.

Das Gesamtergebnis soll ein Planungstool zur Wartung, ein Verschleißerkennungstool und ein Ereigniserkennungstool beinhalten. Über einen definierten Use-Case wird ein Prototyp erarbeitet, der zu einem marktfähigen Produkt weiterentwickelt wird. Das Endprodukt soll endnutzerorientierte Dienste wie Systemkonfiguration, Anpassung, Schulung und Datenanalyse ermöglichen.

MaMMa: Development of a holistic maintenance system

The goal of MaMMa (Maintained Mine & Machine) is to improve the availability, efficiency and safety of machines and mines using an intelligent, integrated and holistic maintenance system. Building on previous research and development work, the aim of the MaMMa project is to extend and further develop individual systems and technologies developed to date in such a way that a TRL (Technology Readiness Level) of 6-7 can be achieved within the scope of the project.

The overall result will include a mine maintenance planning tool, a wear detection tool and an incident detection tool. Using a defined use case, a prototype will be developed, which will be further developed into a marketable product. The final product should enable end-user-oriented services such as system configuration, adaptation, training and data analysis.

Unerwartete und ungeplante Störungen bei Maschinen und Infrastrukturen sind die Hauptursache für kostspielige Betriebsstörungen unter Tage und sollen durch das im Rahmen des MaMMA Projekts erarbeitete Software-System minimiert werden. Die Überwachung soll über optimierte Wartungspläne dazu beitragen, potentiellen Stillständen, Produktionsausfällen, Förderproblemen oder Schäden an Maschinen vorzubeugen und so einen reibungs-freien Arbeitsablauf zu gewährleisten. Gleichzeitig ermöglicht das System Mitarbeitern und Beratern eine bessere, effizientere Planung von Wartungsarbeiten basierend auf Echtzeitdaten zum Zustand der Maschinen und Anlagen unter Tage.

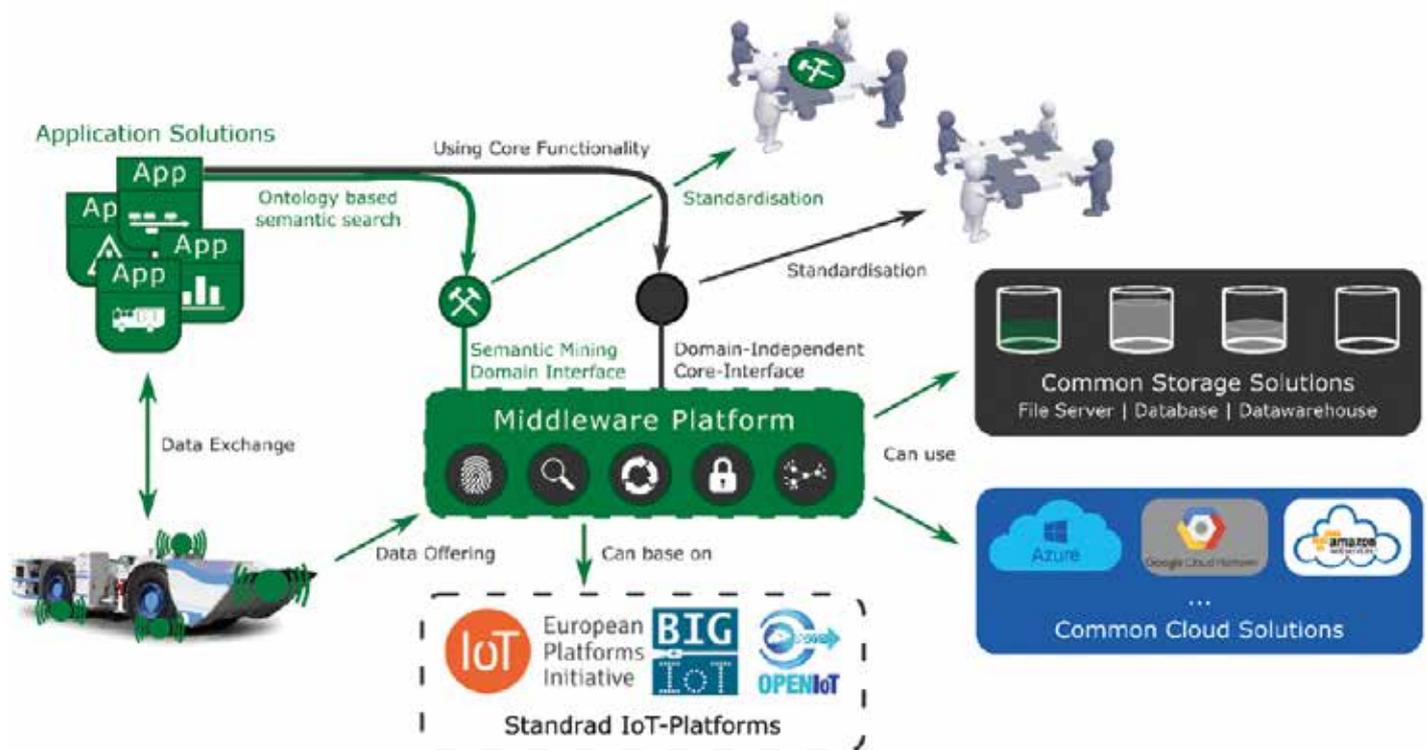
Die geplante Kombination von bestehenden Instandhaltungsplanungssystemen und neuen Möglichkeiten von Softwareprodukten ermöglicht es, diese Systeme zu intelligenten, automatisierten und ganzheitlichen Instandhaltungssystemen zu entwickeln, die skalierbar und einfach zu optimieren sind. MaMMA soll den Grundstein für zukünftige Projekte in der Digitalisierung im Bergbau legen.

Das AMT erarbeitet in Kooperation mit der Technischen Universität Clausthal (TUC) im Rahmen des Projekts eine schnittstellen-neutrale Datenplattform. Bei der Überwachung und Automatisierung von Maschinendaten wird aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Sensorinformationen eine zentrale Datensammel- und Auswerteschnittstelle benötigt. Diese Schnittstelle wird auch als Middleware-Plattform bezeichnet und soll durch ein auf einer Cloud basierendes Speichersystem erweitert werden. Hier werden

Unexpected and unplanned machine and infrastructure failures are the main cause of costly underground failures and should be minimized by the software system developed in the MaMMA project. The aim of monitoring is to help prevent potential downtime, production stoppages, conveying problems or damage to machinery through optimized maintenance schedules, thus ensuring a smooth workflow. At the same time, the system enables employees and consultants to plan maintenance work better and more efficiently based on real-time data on the condition of underground machinery and equipment.

The planned combination of existing maintenance planning systems and new software product capabilities will enable these systems to be developed into intelligent, automated and holistic maintenance systems that are scalable and easy to optimize. MaMMA will lay the foundation for future digitization projects in mining.

The AMT, in cooperation with the Technical University Clausthal (TUC), is developing an interface-neutral data platform as part of the project. For the monitoring and automation of machine data, a central data collection and evaluation interface is required due to the multitude of different sensor information. This interface is also called a middleware platform and is to be extended by a cloud based storage system. Real-time machine and sensor measurement data in the mining environment are recorded here. The Internet of Things (IoT) techniques together with cloud services and a data



(Foto: ©MaMMA 2018)

Echtzeitmaschinen- und Sensormessdaten in der bergbaulichen Umgebung erfasst. Die Internet of Things-Techniken (IoT) zusammen mit Cloud-Diensten und einem für mehrkanalige Echtzeit-Sensor- und Aktorendaten optimierten Datenerfassungsprozess ermöglichen einen Zugriff auf Online- und historische Daten des überwachten Bergwerks und der zugehörigen Systeme. Diese breite Datenerhebung soll zusätzliche Analysemethoden (second use of data) und damit maßgeschneiderte Anwendungen für eine Prozessüberwachung (Condition Monitoring) ermöglichen. Mit diesem Konzept werden die Leistung und der Mehrwert derzeitiger Wartungsmethoden gesteigert und das Potential prozessorientierter Wartungsstrategien neu definiert.

Das Projekt wird durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) von der EU gefördert unter der Fördernummer 17031.

Projektpartner:

DMT GmbH & Co. KG (Koordinator), KGHM Cuprum R&D Centre, KGHM Polska Miedz, LTU Business AB, Montan Universität, RISE Research Institutes of Sweden AB, Technische Universität Clausthal, RWTH Aachen University (AMT), Wroclaw University of Science and Technology

acquisition process optimized for multi-channel real-time sensor and actuator data enable access to online and historical data of the monitored mine and its associated systems. This broad data collection should enable additional analyses (second use of data) and thus tailor-made applications for process monitoring (condition monitoring). This concept increases the performance and added value of current maintenance methods and redefines the potential of process-oriented maintenance strategies.

The project receives funding from the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under Grant Agreement Number 17031.

Project Partners

DMT GmbH & Co. KG (Coordinator), KGHM Cuprum R&D Centre, KGHM Polska Miedz, LTU Business AB, Montan Universität, RISE Research Institutes of Sweden AB, Technische Universität Clausthal, RWTH Aachen University (AMT), Wroclaw University of Science and Technology



Preise und Auszeichnungen

Prizes & Awards

Das Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) gratuliert an dieser Stelle zwei aktuellen sowie einem ehemaligen Mitarbeiter, die mit bekannten deutschen Auszeichnungen für ihre herausragenden Leistungen geehrt wurden.

The Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) would like to take this opportunity to congratulate three employees and alumni who have been honored with well-known German awards for their outstanding achievements.

Violetta Storoschewich: Auszeichnung mit dem Berliner Barbarapreis der GDMB

Violetta Storoschewich wurde am 11. Oktober 2018 in Goslar mit dem Berliner Barbarapreis ausgezeichnet. Der mit 3.000 € dotierte Preis wird für hervorragende Abschlussarbeiten in den Bereichen Bergbau, Rohstoffe, Tunnelbau und Geowissenschaften vergeben. Ausgezeichnet werden KandidatInnen, die ein überdurchschnittliches Engagement bei der Anfertigung ihrer Arbeiten geleistet haben.

Frau Storoschewich wurde für ihre Masterarbeit ausgezeichnet, in der sie sich mit dem Einsatz von Infrarotthermographie für die Automatisierung von Eimerkettenbaggern beschäftigt hat.

Violetta Storoschewich: Awarded the Berlin Barbara Prize of the GDMB

Violetta Storoschewich was awarded the Berlin Barbara Prize on 11 October 2018 in Goslar. The prize, endowed with €3,000, is awarded for outstanding theses in the fields of mining, raw materials, tunneling and geosciences. The prize is awarded to candidates who have shown above-average commitment in the preparation of their work.

Ms. Storoschewich was honored for her master's thesis in which she examined the use of infrared thermography for the automation of bucket chain excavators.

Violetta Storoschewich bei der Preisverleihung in Goslar
Violetta Storoschewich at the award ceremony in Goslar



Tobias Vraetz: Auszeichnung mit dem GDMB Förderpreis

Dr.-Ing. Tobias Vraetz erhielt im Rahmen der Mitgliederversammlung in Goslar im Oktober 2018 den mit 3.000 € dotierten GDMB-Förderpreis für seine am AMT der RWTH Aachen angefertigte Dissertation mit dem Titel: „Entwicklung und Anwendung eines innovativen Konzepts zur Inline-Charakterisierung von Stoffgemischen in kontinuierlichen Massenströmen mittels der Acoustic Emission Technologie“. Tobias Vraetz war von September 2013 bis März 2018 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am AMT beschäftigt.

Mit dem Preis werden herausragende Arbeiten von Jungingenieuren, bzw. jungen Wissenschaftlern ausgezeichnet, die einen konstruktiven Beitrag für zukünftige Entwicklungen in allen Fachbereichen der GDMB liefern.

Tobias Vraetz: Awarded the GDMB Promotion Prize

Dr.-Ing. Tobias Vraetz received the GDMB Award, endowed with 3,000 €, at the general meeting in Goslar in October 2018 for his dissertation titled: „Development and application of an innovative concept for the inline characterization of substance mixtures in continuous mass flows by means of Acoustic Emission Technology“, which was written at the AMT of RWTH Aachen University. Tobias Vraetz was a research associate at AMT from September 2013 to March 2018.

The prize honours outstanding work by young engineers and young scientists who make a constructive contribution to future developments in all GDMB field of expertise.



Mitgliederversammlung 2018, GDMB
General Meeting 2018, GDMB

Maximilian Getz: Auszeichnung mit dem Helmuth-Burckhardt-Preis 2019

Der Helmuth-Burckhardt-Preis der Vereinigung Rohstoffe und Bergbau (VRB) wurde 2019 an Maximilian Getz, wissenschaftlicher Mitarbeiter am AMT, vergeben.

Der Burckhardt-Preis wird seit dem Jahr 1971 jährlich für hervorragende Examensleistungen im Rahmen der Masterprüfung in der Studienrichtung Bergbau und Rohstoffingenieurwesen oder der Großen Staatsprüfung verliehen. Die mit 5.000 € dotierte Auszeichnung soll es dem Preisträger ermöglichen, im Rahmen einer Studienreise weitere Einblicke in den Auslandsbergbau zu gewinnen.

Maximilian Getz: Awarded the Helmuth Burckhardt Prize 2019

The Helmuth Burckhardt Prize of the Vereinigung Rohstoffe und Bergbau (VRB) 2019 will be awarded to Maximilian Getz, a scientific research assistant at AMT.

Since 1971, the Burckhardt Prize has been awarded annually for outstanding achievements in the Master's Degree in Mining and Raw Materials Engineering or "Große Staatsprüfung". The award, endowed with €5,000, is intended to enable the prizewinner to gain further insights into international mining during a study trip.



Max Getz (2. von rechts) bei der Preisverleihung
Max Getz (2nd from right) at the award ceremony

Impressum

AMT Research Report 2019/2020

Herausgegeben durch das

Institut for Advanced Mining Technolgies
RWTH Aachen University
Wüllnerstr. 2
52062 Aachen
Deutschland

Kontakt

Tel.: +49 241 80 95680

E-Mail: info@amt.rwth-aachen.de

Webseite: www.amt.rwth-aachen.de

Verantwortlich

Dr.-Ing. Ralph Baltes

Redaktion

Aarti Sörensen

Umschlagbilder

Peter Winandy

Druck

Druckservice Zillikens Stolberg

52224 Stolberg

Imprint

AMT Research Report 2019/2020

Published by

Institut for Advanced Mining Technolgies
RWTH Aachen University
Wüllnerstr. 2
52062 Aachen
Germany

Contact

Tel.: +49 241 80 95680

E-Mail: info@amt.rwth-aachen.de

Website: www.amt.rwth-aachen.de

Responsible

Dr.-Ing. Ralph Baltes

Editor

Aarti Sörensen

Cover Images

Peter Winandy

Print

Druckservice Zillikens Stolberg

52224 Stolberg

