

AMT Report 2021/2022



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	6
2	Interview mit Prof. Karl Nienhaus	8
3	Forschungsschwerpunkte und aktuelle Projekte	12
3.1	Prozessautomatisierung	14
3.1.1	NexGen SIMS – Piloten für den klimaneutralen Bergbau	14
3.1.2	ARTUS – Kommunikation autonomer mobiler Maschinen	16
3.1.3	ABR – Automatisierung eines Ankerbohrgerätes	19
3.1.4	PAM4.0 – Intelligentes Abschlacken in der Stahlproduktion	21
3.1.5	Undromeda – Autonome untertägige Inspektion	23
3.2	Inline Gesteinserkennung	26
3.2.1	Walze 4.0 – Materialklassifizierung beim Schneiden	27
3.2.2	ScaleSense – Sensorbasiertes Systems für die Löserdetektion	30
3.3	Mine safety	32
3.3.1	BUSDUCT – Explosionsschutz bei der Elektrifizierung	34
3.3.2	HEET II – Sensorsystem zur Steuerung der Elektrizitätsverteilung	35
3.4	Neue Horizonte für den Bergbau	38
3.4.1	Deep Sea Mining – Rohstoffgewinnung in der Tiefsee	39
3.4.2	Space Mining – Rohstoffgewinnung auf dem Mond	43
4	Lehre – innovativ und praxisnah	45
4.1	MATLAB Mining & Energy Day	47
4.2	MATLAB EXPO	48
4.3	Studierenden Challenges in der Lehre	49
5	Transfer – von der Forschung in die Wirtschaft	50
5.1	Reallabor Nivelstein – Eine reale Produktionsumgebung für industrienaher Forschung	51
5.2	Mine ReWIR – Aufbau eines Innovationsökosystems mit Unternehmen im rheinischen Revier	54
5.3	Exzellenz Start-up Center.NRW – Gestaltung des Fachinkubators Raw Materials	55
5.4	GMG – Globale Leitlinien für die Bergbauindustrie	56
5.5	German Mining Network – Vernetzung mit Unternehmen und Experten weltweit	57
5.6	Junge Köpfe für den Bergbau begeistern	58
6	Konferenzen	60
6.1	Smart Mining Conference (SMC)	61
6.2	High-Performance Mining Conference (HPM)	63
7	Preise und Auszeichnungen	64
7.1	FAMOS für Familie	64
7.2	GDMB Förderpreis	66
7.3	Deutscher Rohstoffeffizienz-Preis	66
8	Promotionen	68
9	Veröffentlichungen	72

Table of Contents

1	Preface.	7
2	Interview with Prof. Karl Nienhaus	9
3	Research focus and current projects	13
3.1	Automation	14
3.1.1	NexGen SIMS – pilots for carbon-free mining	14
3.1.2	ARTUS – communication of autonomous mobile machines.	16
3.1.3	ABR – automation of an anchor drilling rig	19
3.1.4	PAM4.0 – intelligent slag removal in steel production	21
3.1.5	Undromeda – autonomous underground inspection	23
3.2	Inline Rock Detection	26
3.2.1	Walze – material classification during cutting	27
3.2.2	ScaleSense – sensor-based system for the detection of loose rock.	30
3.3	Mine safety	32
3.3.1	Busduct – explosion protection during electrification	34
3.3.2	HEET II – sensor system for control of electricity distribution	35
3.4	New Mining Horizons	38
3.4.1	Deep sea mining – extraction of raw materials in the deep sea	39
3.4.2	Space mining – raw materials on the moon	43
4	Teaching – innovative and industry-oriented	45
4.1	MATLAB Mining & Energy Day	47
4.2	MATLAB EXPO	48
4.3	Student challenges in teaching	49
5	Transfer – from research to industry.	50
5.1	Living Lab Nivelstein – a realworld production environment for industry-related research.	51
5.2	Mine ReWIR – establishment of an innovation ecosystem with companies in the rhenish mining area	54
5.3	Excellence Start-up Center.NRW – design of the raw materials incubator.	55
5.4	GMG – global guidelines for the mining industry	56
5.5	German Mining Network – networking with companies and experts worldwide	57
5.6	Exciting young minds for mining	58
6	Conferences.	60
6.1	Smart Mining Conference (SMC).	61
6.2	High-Performance Mining Conference (HPM)	63
7	Awards	64
7.1	FAMOS for Family	64
7.2	GDMB Förderpreis	66
7.3	German Raw Material Efficiency Award	66
8	Dissertations	68
9	Publications	72



Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Jahre 2020 und 2021 haben uns mehr denn je gezeigt, dass die Welt sich mit atemberaubender Geschwindigkeit verändert und die Zukunft noch weniger vorhersagbar ist, als wir es angenommen hatten. Gerade in der Lehre mussten wir unsere Lehr- und Prüfungsformate unmittelbar und binnen weniger Wochen auf digitale Formate umstellen und bestehende Konzepte neu denken.

Nach 23 Jahren an der RWTH Aachen wurde Prof. Karl Nienhaus mit Wirkung zum 31.12.2020 in den Ruhestand versetzt. Dank der gemeinnützigen Ulrich-Thiele-Stiftung und der damit verbundenen vorzeitigen Berufung, hatten wir die Möglichkeit die letzten drei Jahre lang gemeinsam vertrauensvoll an der Zukunftsausrichtung und Stärkung des Instituts zu arbeiten. Ich freue mich sehr, dass Prof. Nienhaus auch nach seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst sowohl das AMT, als auch seine Partner in der Industrie und in der Forschung weiterhin aktiv unterstützen wird. Lassen Sie uns gemeinsam mit Prof. Nienhaus in seinem Interview auf S. 8 auf die letzten zwei Dekaden zurückschauen.

Die Transformation des Bergbaus gewinnt aus unserer Perspektive weiterhin an Dynamik. Vor dem Hintergrund steigender Erwartungen durch Investoren, Konsumenten und durch politische Regularien steigt der Druck, die Sicherheit zu erhöhen, Umweltauswirkungen in allen Bereichen zu minimieren und gleichzeitig Effizienz und Produktivität zu steigern. Digitalisierung und Automatisierung stellen dabei wichtige Hebel dar, um diese Transformation zu gestalten und den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden. Gleichmaßen wird immer deutlicher, dass die Transformation nur dann gelingen kann, wenn der Mensch bei der Digitalisierung im Zentrum steht; dies war auch ein zentrales Thema unserer digitalen Smart Mining Conference 2021.

Genau hier setzen wir mit unserer angewandten Forschung an und entwickeln zukunftsweisende Technologien für die Automatisierung und Digitalisierung von Bergbaumaschinen und -prozessen, die den rauen und anspruchsvollen Umgebungen des Bergbaus gewachsen sind und die es ermöglichen, den Bergbau der Zukunft zu gestalten. Damit leistet das AMT mit seinem interdisziplinären Team nicht nur einen wichtigen Beitrag dazu, dass der Bergbau sicherer, effizienter und ressourcenschonender wird, sondern auch dazu, dass selbst heute technisch und / oder wirtschaftlich noch nicht gewinnbare Lagerstätten und Rohstoffe zukünftig wirtschaftlich nutzbar gemacht und somit langfristig neue Rohstoffpotentiale erschlossen werden können. Mehr dazu lesen Sie im Abschnitt „Forschungsschwerpunkte und aktuelle Projekte“.

Anwendungsorientiert und industrienah sind wir neben unserer Forschung auch in unserem wachsenden Transferbereich aufgestellt. Wir freuen uns, Ihnen in diesem Bereich spannende Beiträge zu ganz neuen Projekten und Vorhaben vorstellen zu dürfen. Dazu gehört der Aufbau des Fachinkubators und des Reallabors Nivelstein, sowie der Aufbau eines regionalen Innovationsnetzwerks zum Strukturwandel im Rheinischen Revier und unsere vielfältigen Aktivitäten bei der Nachwuchsförderung.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen des AMT Reports 2021/2022.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen
Institutsleiterin, Institute for Advanced Mining Technologies

Preface

Dear Readers,

the years 2020 and 2021 have shown us more than ever that the world is changing at breathtaking speed and that the future is even less predictable than we had assumed. Particularly in teaching, we had to immediately convert our teaching and exams to digital formats and rethink existing concepts within just a few weeks.

After 23 years at RWTH Aachen University, Prof. Karl Nienhaus retired effective Dec. 31, 2020. Thanks to the non-profit Ulrich Thiele Foundation and the early appointment this brought with it, we have had the opportunity to work together for the last three years in a spirit of trust on the future direction and on strengthening the institute. I am very pleased that Prof. Nienhaus will continue to actively support both the AMT and its partners in industry and research after his retirement. Let us look back on the last two decades together with Prof. Nienhaus in his interview on p. 8.

In our view, the transformation of the mining industry continues to gain momentum. Against the backdrop of rising expectations from investors, consumers and political regulations, the pressure to increase safety, minimize environmental impacts in all areas and, at the same time, increase efficiency and productivity, is growing. Digitalization and automation are important levers for shaping this transformation and meeting future demands. Similarly, it is becoming increasingly apparent that the transformation can only succeed if people are at the center of digitalization; this was also a central theme of our digital Smart Mining Conference 2021.

This is precisely where AMT's applied research comes in, developing forward-looking technologies for the automation and digitalization of mining machines and processes that can cope with the harsh and demanding environments of mining and that will enable us to shape future mining. In this way, the AMT and its interdisciplinary team not only make an important contribution to making mining safer, more efficient and more resource-efficient, but also to ensuring that even deposits and raw materials that are not yet technically and / or economically exploitable today become economically viable in the future, thus enabling new resource potential to be tapped in the long term. You can read more about this in the section „Research focus and current projects“.

In addition to our research, we are also application-oriented and close to industry in our growing transfer area. We are pleased to be able to present exciting contributions to completely new projects and ventures in this area. These include the establishment of the technical incubator and the Nivelstein living lab, as well as the development of a regional innovation network concerning structural change in the Rhenish mining area and our diverse activities in the field of fostering young talent.

We hope you enjoy reading the AMT Report 2021/2022

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen
Director, Institute for Advanced Mining Technologies



Interview mit Prof. Karl Nienhaus

Interview with Prof. Karl Nienhaus

Nach 23 Jahren an der RWTH Aachen, zuletzt dem Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), wurde Prof. Karl Nienhaus mit Wirkung zum 31.12.2020 in den Ruhestand versetzt. Prof. Nienhaus studierte an der RWTH Aachen Maschinenbau mit der Fachrichtung Fördertechnik und war anschließend als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bergbaukunde II - eines der Vorgängerinstitute des heutigen AMTs – unter der Leitung von Prof. Dr. mult. Bernhard Sann tätig. Im Jahre 1984 wurde er mit Auszeichnung zum Thema „Ein Beitrag zur Gesteinszerstörung durch stationäre und instationäre Höchstdruckwasserstrahlen“ an der Fakultät 5 promoviert. Zwischen 1984 und 1996 hatte Prof. Nienhaus verschiedene Positionen bei der Gebr. Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH inne, u.a. als Abteilungsleiter Konstruktion, F&E- Leiter, Geschäftsbereichsleiter Antriebstechnik und Windkraftgetriebe sowie als Mitglied der Geschäftsführung mit Zuständigkeit für den Bereich und Vertrieb Technik. Im Januar 1997 trat Professor Nienhaus seinen Dienst als Universitätsprofessor an der RWTH Aachen an und leitete das Institut für Betriebsmittel für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe (BGMR), das 2008 mit dem damaligen Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde (IBH) verschmolz und unter seiner Leitung als Institut für Maschinentechnik in der Rohstoffindustrie (IMR) fortge-

After 23 years at RWTH Aachen University, most recently the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), Prof. Karl Nienhaus has retired effective Dec. 31, 2020. Prof. Nienhaus studied mechanical engineering at RWTH Aachen, specializing in materials handling technology, and then worked as a research assistant at the Institute for Mining Science II - one of the predecessor institutes of today's AMT - under the direction of Prof. Dr. mult. Bernhard Sann. In 1984, he received his doctorate with honors on the topic of „A Contribution to Rock Destruction by Stationary and Non-stationary Ultra High Pressure Water Jets“ from Faculty 5. Between 1984 and 1996, Prof. Nienhaus held various positions at Gebr. Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei GmbH, including head of the design department, R&D manager, business unit manager for drive technology and wind power gearboxes, and member of the management board with responsibility for engineering and sales. In January 1997, Professor Nienhaus began his service as a university professor at RWTH Aachen University and headed the Institute for Mining Resources (BGMR), which merged in 2008 with the then Institute for Mining and Metallurgical Engineering (IBH) and continued under his leadership as the Institute for Mechanical Engineering in the Raw Materials Industry (IMR). The establishment of an endowed professorship funded by the

führt wurde. Durch die Einrichtung einer durch die gemeinnützige Ulrich-Thiele-Stiftung geförderten Stiftungsprofessur konnte die Nachfolge von Prof. Nienhaus vorzeitig erfolgen, sodass Prof. Elisabeth Clausen im März 2018 ihren Dienst antrat und die Leitung des Lehrstuhls für Advanced Mining Technologies übernahm. Bis Ende 2020 waren beide gemeinsam in der Leitung des Instituts tätig und wir freuen uns sehr, dass Prof. Nienhaus auch nach seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst sowohl das AMT, als auch seine Partner in der Industrie und in der Forschung weiterhin aktiv unterstützen wird.

Clausen: Lieber Karl, anlässlich Deiner Verabschiedung in den Ruhestand nach 23 Jahren an der RWTH Aachen möchte ich mit dir gerne über Kontinuität und Wandel und deine ganz persönlichen Lessons Learned sprechen. Anfangen möchte ich mit dem Bereich der Lehre. Wenn du auf deine Zeit und deine Erfahrungen zurückblickst, was würdest du den Studierenden von Morgen unbedingt mit auf den Weg geben wollen?

Nienhaus: Mut zum Scheitern und Mut, Fehler zu machen. Warum? Ich halte eine positive Fehlerkultur für einen wichtigen Teil der Qualifizierung für das Berufsleben, denn irgendwann werden wir mit Niederlagen oder Zurückweisungen fertig werden müssen. Mir scheint, dass das Scheitern, z.B. in Form von einer nichtbestanden Prüfung, heute immer weniger toleriert wird. Auch in der Schule gibt es immer weniger Gelegenheiten eine positive Fehlerkultur zu erlernen, unter anderem, weil Scheitern nach meiner Erfahrung dort immer weniger vorkommt. Aus meiner Sicht wird dadurch aber eine wichtige Art von Lernen und innerer Reifung behindert, insbesondere wenn die Schuld dann bei den Dozenten gesucht wird und nicht reflektiert wird, was man selbst vielleicht auch besser machen kann. Feedback ist ja ein wichtiger Teil des Lernens und das kann nun einmal nicht immer nur positiv sein.

Clausen: Wie kann es gelingen, eine solche positive Fehlerkultur zu ermöglichen?

Nienhaus: Dazu tragen beide Seiten bei, die Lernenden und die Lehrenden. Insbesondere in der Arbeit mit den Doktoranden gab es hier für mich gute Möglichkeiten, so einen Rahmen zu bieten, indem wir eine Arbeitsumgebung schaffen, in der sich junge Menschen weiter entwickeln können. Dazu gehört es, ein Umfeld und eine Atmosphäre zu schaffen, in dem ein Dialog stattfinden kann und Anforderungen so zu stellen, dass sich die jungen Menschen selbst entwickeln und Erfahrungen machen können, Stichwort Eigenverantwortlichkeit. Ich habe meinen Doktoranden immer ein hohes Maß an Verantwortung im Rahmen der von ihnen bearbeiteten Projekten übertragen und habe mich hier nie als jemand

non-profit Ulrich Thiele Foundation enabled Prof. Nienhaus to be succeeded ahead of schedule, with the result that Prof. Elisabeth Clausen took up her post in March 2018 and became Director of the Institute of Advanced Mining Technologies. Until the end of 2020, they both served together in the management of the institute and we are very pleased that Prof. Nienhaus will continue to actively support both the AMT and its partners in industry and research after his retirement.

Clausen: Dear Karl, on the occasion of your retirement after 23 years at RWTH Aachen University, I would like to talk to you about continuity and change and your very personal lessons learned. I would like to start with the area of teaching. When you look back on your time and your experiences, what would you definitely want to pass on to the students of tomorrow?

Nienhaus: Courage to fail and courage to make mistakes. Why? I think a positive culture of making mistakes is an important part of qualifying for professional life, because at some point we will have to deal with defeat or rejection. It seems to me that failure, for example in the form of failing an exam, is less and less tolerated today. There are also fewer and fewer opportunities to learn a positive culture of failure at school, in part because, in my experience, failure happens less and less there. In my view, however, this hinders an important kind of learning and inner maturation, especially when the blame is then placed on the lecturers and there is no reflection on what one could perhaps do better oneself. Feedback is an important part of learning, and it can't always be positive.

Clausen: How can you make such a positive error culture possible?

Nienhaus: Both sides contribute to this, the learners and the teachers. Particularly in my work with doctoral students, there have been good opportunities for me to provide such a framework by creating a working environment in which young people can continue to grow and evolve. This includes creating an environment and atmosphere in which a dialogue can take place and setting requirements in such a way that young people can grow and gain experience themselves, the keyword being personal responsibility. I have always given my doctoral students a high degree of responsibility within the framework of the projects they work on, and I have never seen myself as someone who has the job of „leading“ or „training“ employees here, but rather my job was to create the right working atmosphere. That was always the central element for me. And that also meant that sometimes something didn't go well or failed, and that's something you have to put up with, the experience that your own abilities are finite, but also those of others can sometimes be. I am quite sure that they learned most from these

verstanden, der den Auftrag der „Führung“ oder „Schulung“ von Mitarbeitenden hat, sondern mein Auftrag war es, die richtige Arbeitsatmosphäre zu schaffen. Das war für mich immer das zentrale Element. Und dazu gehörte eben auch, dass mal etwas nicht gut lief oder misslang, das muss man dann auch aushalten, die Erfahrung, dass die eigenen Fähigkeiten endlich sind, aber auch die der anderen es manchmal sein können. Ich bin mir ganz sicher, aus genau diesen Erfahrungen haben sie das meiste gelernt und mitgenommen. Auch wenn viele Doktoranden nachher in die Industrie gehen, halte ich die Zeit der Promotion für sehr hilfreich, sich besser auf das Berufsleben und die Anforderungen vorzubereiten.

Clausen: Welches sind aus deiner Sicht die zentralen Fähigkeiten, die Studierende und Doktoranden heute brauchen, auch vor dem Hintergrund der Digitalisierung und der neuen Generation von jungen Menschen, die heute an die Hochschule kommen?

Nienhaus: Selbstständiges Arbeiten und Problemlösungsfähigkeit. Zwar waren dies schon immer zentrale Elemente der Hochschulausbildung, aber der Rahmen muss sich ändern, um die jungen Menschen dort abzuholen, wo sie heute sind, wenn sie an die Hochschule kommen. Meine Erfahrung ist, dass Eigeninitiative und selbstständiges Arbeiten heute viel weniger selbstverständlich sind unter den Studierenden. Es ist schwer diese Fähigkeiten wirklich erst an der Hochschule zu vermitteln, wenn sie das nicht mitbringen. Aber die Learning Factory bietet hier hoffentlich Möglichkeiten dafür, diese zentralen Kompetenzen zu vermitteln, welche die Studierenden ganz sicher brauchen, um sich aufs Berufsleben vorzubereiten.

Clausen: Jetzt haben wir viel über Lehre gesprochen und die Vorbereitung auf das Berufsleben, was für den Großteil unserer Absolventen ja die Arbeit in der Industrie bedeutet. Unser Institut steht ja schon lange für eine industrienah angewandte Forschung. Wir haben in den vergangenen Jahren einiges getan, um den Bereich Transfer noch weiter auszubauen. Welche Impulse würdest du uns gern für diesen Bereich gern mit auf den Weg geben?

Nienhaus: Ich halte Industriekooperationen für unabdingbar und sehr wichtig. Wir haben schon immer eine, wie ich finde, gesunde Mischung aus Grundlagenforschung und angewandter industrienaher Forschung betrieben und ich denke das sollte auch so bleiben, auch wenn es vielleicht nicht im allgemeinen Trend liegt. Ich veranschauliche das gerne am Beispiel Künstliche Intelligenz (KI). Bei der KI es geht nicht nur um die Entwicklung ganz neuer Algorithmen und Methoden, sondern darum, die KI in neue Anwendungs-

erfahrungen und took them along with them. Even though many doctoral students go into industry afterwards, I think the time of the doctorate is very helpful in better preparing for professional life and the demands.

Clausen: In your view, what are the key skills that students and doctoral candidates need today, also against the backdrop of digitization and the new generation of young people coming to university today?

Nienhaus: Independent work and problem-solving skills. While these have always been central elements of university education, the framework needs to change to meet young people where they are today when they come to university. My experience is that initiative and independent work are much less natural among students today. It's hard to really teach those skills in college first if they don't bring that with them. But hopefully the Learning Factory will provide opportunities to teach these key skills, which students will certainly need to prepare for their careers.

Clausen: Now we've talked a lot about teaching and preparing for professional life, which for the majority of our graduates means working in industry. Our institute has long stood for industry-oriented applied research. In recent years, we have done a lot to expand the area of transfer even further. What impetus would you like to give us in this area?

Nienhaus: I think industrial cooperation is indispensable and very important. We have always had what I consider to be a healthy mix of basic research and applied industry-related research, and I think that should remain the case, even if it is perhaps not the general trend. I like to illustrate this with the example of artificial intelligence (AI). AI is not just about developing completely new algorithms and methods, but about bringing AI into new fields of application. For this, direct industry cooperation is very important, because technical-economic objectives come from the companies. So to ensure that research doesn't just take place in lighthouses detached from industry, we need this direct cooperation with industry, and hopefully it should remain with the AMT in the future.

Clausen: Where do you see the most important achievements in the field of research that you have left your mark on during your time?

Nienhaus: The most important achievements are in the area of simulation, sensor technology and signal processing. In my opinion, we have achieved the greatest contributions in the area of Acoustic Emission, especially with regard to novel and differ-

felder zu bringen. Hierfür ist die unmittelbare Industriekooperation sehr wichtig, denn technisch-ökonomische Zielsetzungen kommen aus den Unternehmen. Damit Forschung nicht nur in Leuchttürmen losgelöst von der Industrie stattfindet, brauchen wir also diese unmittelbare Kooperation mit der Industrie und sie sollte dem AMT hoffentlich auch in Zukunft erhalten bleiben.

Clausen: Wo siehst Du die für dich wichtigsten Errungenschaften im Bereich der Forschung, die Du in Deiner Zeit geprägt hast?

Nienhaus: Die wichtigsten Errungenschaften finden sich im Bereich der Simulation, Sensorik und der Signalverarbeitung. Die größten Beiträge haben wir meines Erachtens im Bereich Acoustic Emission erreicht, insbesondere im Blick auf neuartige und differenzierte Messungen von Zuständen von Maschinen und Prozessen. Aber auch in der Infrarottechnik haben wir nennenswerte Fortschritte erzielt. Wir haben über die Zeit zeigen können, dass man mittels Infrarottechnik sehr gute Analysen von Zuständen und Prozessen machen kann. Das wurde dann nochmals erweitert durch Fortschritte im Bereich der Signalverarbeitung. Hier haben wir nichts gänzlich Neues erfunden, aber die Anwendung verbesserter Verfahren und Methoden auf neue Felder, wie den Bergbau, und eine praxistaugliche und kostengünstige Basis für ihre Anwendung zu schaffen stellt einen relevanten Fortschritt dar.

Clausen: Was würdest du dir, vor dem Hintergrund von Kontinuität und Wandel, für das Institut für die nächsten Jahre oder Jahrzehnte wünschen?

Nienhaus: Dass alle aufmerksam sind. Füreinander, für notwendige Veränderungen, für Chancen und Risiken. Der Rest ergibt sich, wenn die Voraussetzung einer guten Arbeitsatmosphäre gegeben sind.

entiated measurements of the states of machines and processes. But we have also made notable progress in infrared technology. Over time, we have been able to show that very good analyses of conditions and processes can be made using infrared technology. This was then further extended by advances in the field of signal processing. We have not invented anything completely new here, but applying improved processes and methods to new fields, such as mining, and creating a practical and cost-effective basis for their application represents relevant progress.

Clausen: Against the background of continuity and change, what would you wish for the institute in the coming years or decades?
Nienhaus: That everyone is attentive. For each other, for necessary changes, for opportunities and risks. The rest will follow if the prerequisites for a good working atmosphere are met.

Nienhaus: That everyone is attentive. For each other, for necessary changes, for opportunities and risks. The rest will follow if the prerequisites for a good working atmosphere are met.



Forschungsschwerpunkte und aktuelle Projekte

Research focus and current projects

Die Forschungsfelder des AMT- Prozessautomatisierung der Zukunft für den Bergbau von Morgen

Mineralische Rohstoffe sind nicht nur eine wichtige Grundlage für gesellschaftlichen Wohlstand und ökonomisch-technologischen Fortschritt, sondern auch unverzichtbare Bausteine für die Umsetzung der Energiewende. Elektroautos, Windparks, Solaranlagen und smarte Technologien haben eines gemeinsam: Sie alle benötigen eine Vielzahl unterschiedlicher metallischer und mineralischer Rohstoffe, von Kupfer und Nickel über Lithium und Graphit bis hin zu seltenen Erden.

Der Bedarf an Primärrohstoffen wird trotz steigender Recyclingquoten in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiter steigen. Die Gewinnung dieser Rohstoffe wird jedoch zunehmend anspruchsvoller, denn heute prägen sinkende Erzqualitäten, Gewinnungsstätten in zunehmenden Teufen und entlegenen Gebieten

AMT's research areas – process automation of the future for tomorrow's mining operations

Mineral raw materials are not only an important foundation for social prosperity and economic-technological progress, but also indispensable building blocks for achieving the energy transition. Electric cars, wind farms, solar plants and smart technologies have one thing in common: they all require a variety of different metallic and mineral raw materials, from copper and nickel to lithium, graphite and rare earths.

The demand for primary raw materials will continue to grow in the coming years and decades despite increasing recycling rates. However, the extraction of these raw materials is becoming increasingly challenging, as today the market environment of mining companies is characterized by declining ore grades, extraction sites at increasing depths and in remote areas without

ohne existierende Infrastruktur, sowie strengere Sicherheits- und Umweltauflagen, insbesondere auch im Hinblick auf Co2 Emissionen, und steigende Erwartungen von Investoren und Konsumenten an die Umsetzung umfassender Nachhaltigkeitskriterien das Marktumfeld von Bergbauunternehmen.

Um Rohstoffe auch weiterhin zu wettbewerbsfähigen Kosten gewinnen zu können, müssen Bergbauunternehmen die steigenden Produktionskosten durch eine enorme Steigerung der Produktivität und Effizienz wettmachen und gleichzeitig die Sicherheit und Nachhaltigkeit ihrer Gewinnungsstätten verbessern. Digitalisierung, Automatisierung und Elektrifizierung stellen die zentralen technologischen Trends dar, die den industriellen Bergbau derzeit in profunder Weise transformieren.

Eine wichtige Basis für die Automatisierung, aber auch für die Realisierung eines vernetzten, intelligenten Bergwerks, ist die Sensortechnik. Als Beitrag zu einem sicheren, effizienten und verantwortungsvollen Bergbau entwickelt das AMT deshalb sensorbasierte Systeme und Lösungen für die Automatisierung und Digitalisierung von Bergbaumaschinen und -prozessen. Hierbei geht es, ganz im Sinne von Bergbau 4.0, vor allem um die Nutzbarmachung von Informationen zur Prozess-, Umfeld- und Maschinenüberwachung mit Hilfe von Sensortechnik und moderner Verfahren der Maschinen- und Prozessdatenanalyse.

Im Fokus der Grundlagen- als auch anwendungsorientierten und industrienahen Forschung des AMT stehen somit die Entwicklung und Anwendung von robusten Sensortechnologien die der rauen und herausfordernden Bergbauumgebung gewachsen sind. Die Schwerpunkte liegen dabei auf der Anwendung von Infrarotthermographie, Ultra-Breitband Technologie und dem Einsatz von Körperschall basierten Methoden in den Bereichen der Automatisierung, Objekterkennung, vorausschauenden Wartung, Navigation und Kommunikation von mobilen Maschinen sowie in den Bereichen des Tiefsee-Bergbaus und der Wittertechnik.

Eine Besonderheit des AMT liegt darin, dass das interdisziplinäre Team Entwicklungsarbeit sowohl im Bereich der Hardware- als auch der Softwareentwicklung entlang der gesamten Daten-Informations-Wertschöpfungskette leistet. Dies bedeutet, dass von der Generierung und Erfassung hochwertiger Daten bis hin zu deren Auswertung mithilfe modernster Verfahren der Datenanalytik und Algorithmen, alles „aus einer Hand“ entwickelt wird. Dies ist besonders relevant, da nur hochwertige Daten, die dann intelligent ausgewertet werden, wirklich relevante Informationen hervorbringen, die dann eine Entscheidungsgrundlage für Maschinen oder Menschen bieten und so Optimierungen ermöglichen.

Mit seinen Schwerpunkten in Forschungs- und Entwicklung leistet das AMT somit einen direkten Beitrag zur Realisierung des autonomen, vernetzten und intelligenten Bergwerks der Zukunft.

existing infrastructure, as well as stricter safety and environmental regulations, especially with regard to Co2 emissions, and increasing expectations of investors and consumers to implement comprehensive sustainability criteria.

In order to continue extracting raw materials at competitive costs, mining companies need to offset rising production costs through huge increases in productivity and efficiency, while at the same time improving the safety and sustainability of their operations. Digitalization, automation and electrification represent the key technological trends currently transforming industrial mining operations in fundamental and profound ways.

Sensor technology is an important cornerstone for automation, but also for the implementation of a networked, intelligent mine. As a contribution to safe, efficient and responsible mining, the AMT is therefore developing sensor-based systems and solutions for the automation and digitalization of mining machines and processes. In the spirit of Mining 4.0, the main focus here is 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.

The AMT's fundamental as well as application-oriented and industry-related research thus revolves around the development and application of robust sensor technologies that can cope with the harsh and challenging mining environment. The key focus is on the application of infrared thermography, ultra-wideband technology and the use of acoustic emission in the fields of automation, object recognition, predictive maintenance, navigation and communication of mobile machines as well as in the areas of deep-sea mining and meteorology.

A distinctive feature of the AMT is that the interdisciplinary team performs engineering work in both hardware and software development along the entire data-information value chain. This means that everything is developed „from a single source“, from the generation and acquisition of high-quality data to its evaluation with the aid of state-of-the-art data analytics procedures and algorithms. This is particularly relevant because only high-quality data that is then intelligently evaluated produces truly relevant information, which then provides a basis for decision-making by machines or humans, thus enabling optimization.

With its focus on research and development, the AMT is thus directly contributing to the realization of the autonomous, networked and intelligent mine of the future.



NexGen SIMS – Piloten für den klimaneutralen Bergbau

Das AMT hat ein neues, von der Europäischen Union gefördertes Kooperationsprojekt zusammen mit mehreren Bergbauunternehmen, Ausrüstungs- und Systemherstellern und einer weiteren Universität gestartet. Das dreijährige Projekt mit dem Namen NexGen SIMS wird neue Technologien, Methoden und Prozesse entwickeln, die einen nachhaltigeren und effizienteren, kohlenstoffneutralen und sichereren Bergbaubetrieb ermöglichen.

Ein wesentlicher Aspekt des Projekts ist die Entwicklung von autonomen, kohlenstoffneutralen Bergbauprozessen. Dazu gehören der Einsatz von batterieelektrischer Bergbauausrüstung, die flächendeckende Nutzung von 5G für optimale Konnektivität und Positionierung, der autonome Umgang mit Material, KI-gestützte Verkehrs- und Flottensteuerung sowie die Zusammenarbeit zwischen Maschinen. Das Projekt befasst sich zudem mit zukünftigen Anforderungen und Profil des zukünftigen Bergbaubeschäftigten und mit Fragen der Arbeitssicherheit, zum Beispiel durch die Entwicklung einer autonomen Technologie zur Bergwerksinspektion mittels Drohnen.

Das AMT ist an mehreren Arbeitspaketen des NexGen SIMS Projekts beteiligt. Eine Aufgabe ist die Entwicklung eines Systems zur kurzfristigen Bereitstellung eines Kommunikationsnetzes in Gebieten ohne jegliche Infrastruktur, beispielsweise unmittelbar nach einer Sprengung. Des Weiteren wird ein Sensorsystem zur Überwachung der Luftqualität in Bergwerken entwickelt, welches insbesondere bei der Umstellung auf batteriebetriebene Fahrzeuge immens wichtig ist, um die erreichten Ziele mess- und verifizierbar zu machen. Als Beitrag zum autonomen Fahren und zur Erhöhung der Sicherheit von Arbeitern und Maschinen entwickelt das AMT ein Sensorsystem zur automatischen Haufwerks- und Materialerkennung.

NexGen SIMS – pilots for carbon-free mining

The AMT has launched a new European Union funded collaborative project together with several mining companies, equipment and systems manufacturers, and another university. The three-year project, called NexGen SIMS, will develop new technologies, methods and processes that will enable more sustainable and efficient, carbon neutral and safer mining operations.

A key aspect of the project is the development of autonomous, carbon neutral mining processes. This includes the use of battery electric mining equipment, area wide use of 5G for optimal connectivity and positioning, autonomous material handling, AI assisted traffic and fleet control, and collaboration between machines. The project also focuses on the miner of the future - the „modern miner“ - and safety, for example by developing autonomous mine inspection technology using drones.

The AMT is involved in several work packages of the NexGen SIMS project. One task is the development of a system for the short term supply of a communications network in areas without any infrastructure, for example immediately after a blast. Furthermore, a sensor system is being developed to monitor air quality in mines, which is immensely important, especially during the switch to battery powered vehicles, in order to make the achieved goals measurable and verifiable. As a contribution to autonomous driving and to increasing the safety of workers and machines, the AMT is developing a sensor system for automatic muckpile detection, material recognition and characterization.

NexGen SIMS builds on the successful EU funded H2020 project SIMS, which ran from 2017 to 2020 and had a significant role in advancing sustainable mining, including through the use of battery electric machines and the development of future-oriented sensor

NexGen SIMS baut auf dem erfolgreichen, von der EU geförderten H2020-Projekt SIMS auf, das von 2017 bis 2020 lief und eine wichtige Rolle dabei spielte, den nachhaltigen Bergbau voranzutreiben, unter anderem durch den Einsatz von batterieelektrischen Maschinen und die Entwicklung zukunftsorientierter Sensorik. Über dieses Projekt ist ebenfalls das australische Unternehmen auf das Konsortium aufmerksam geworden.

NEXGEN SIMS, Next Generation Carbon Neutral Pilots for Smart Intelligent Mining Systems, startete am 1. Mai 2021 und wird bis zum 30. April 2024 laufen. Das Gesamtbudget für dieses Projekt beträgt 16 Millionen Euro. Das Projekt wird vom Bergbauausrüster Epiroc koordiniert. Die anderen Projektpartner sind die Bergbauunternehmen Boliden, Agnico Eagle Finland, KGHM Polska, K+S und OZ Minerals; die Dienstleistungs- und Systemlieferanten Ericsson, Mobilaris MCE, AFRY und KGHM Cuprum; der Unternehmensentwickler LTU Business und die Universität Luleå University of Technology- alle mit Sitz in Europa, mit Ausnahme von OZ Minerals, das seinen Sitz in Australien hat.

Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte:
Violetta Storoschewich, vstoroschewich@amt.rwth-aachen.de
Folgen Sie uns auf www.nexgensims.eu bei Twitter und LinkedIn

technology. The Australian company also became aware of the consortium through this project.

NEXGEN SIMS, Next Generation Carbon Neutral Pilots for Smart Intelligent Mining Systems, started on May 1st 2021 and will run until April 30th 2024. The total budget for this project is 16 million euros. The project is coordinated by mining equipment supplier Epiroc. The other project partners are mining companies Boliden, Agnico Eagle Finland, KGHM Polska, K+S and OZ Minerals; service and system suppliers Ericsson, Mobilaris MCE, AFRY and KGHM Cuprum; business developer LTU Business and Luleå University of Technology all based in Europe, with the exception of OZ Minerals, which is based in Australia.

For more information please contact:
Violetta Storoschewich, vstoroschewich@amt.rwth-aachen.de
Follow our journey at www.nexgensims.eu at Twitter and LinkedIn



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Number 101003591.

Der Scooptram ST14 Batterie-Lader von Epiroc gehört zu den Maschinen, die im NEXGEN SIMS-Projekt zum Einsatz kommen werden.

Epiroc's Scooptram ST14 battery loader is among the machines that will be used in the NEXGEN SIMS project.





ARTUS – Kommunikation autonomer mobiler Maschinen

Im Rahmen des Forschungsprojektes ARTUS (Autonomes robustes Transportsystem für hybride umweltschonende Rohstoffgewinnung auf Basis knickgelenkter Sonderfahrzeuge) werden Systeme für eine Sonderfahrzeugflotte zum autonomen Betrieb eines Belade-Entlade-Zyklus entwickelt und integriert. Die Fahrzeugflotte besteht aus mehreren, autonom agierenden Muldenkippern und Fahrladern, die jeweils ihre Umgebung wahrnehmen können. Die Fahrzeuge müssen eigenständig Navigationsentscheidungen treffen und ausführen sowie, zur Koordination untereinander, mit anderen Maschinen und überliegenden Planungssystemen kommunizieren können. Im Hinblick auf eine nachhaltige, sichere und effiziente Gewinnung mineralischer Rohstoffe stellt die Autonomisierung des Belade-Entlade-Zyklus einen Meilenstein im modernen Bergbau dar.

Die bergbauliche Testumgebung des Projektes enthält dabei Elemente eines über- und untertägigen Rohstoffgewinnungsbetriebs und reflektiert damit die besonderen Herausforderungen der Rohstoffindustrie, wie Kommunikationsabbruch, GPS-Ausfall oder Terrainveränderung. So soll der bestmögliche Erkenntnistransfer für den späteren Feldeinsatz gewährleistet werden.

Vor diesem Hintergrund und dieser Problemstellung werden im Forschungsprojekt mehrere Muldenkipper und Fahrlader mit moderner Sensorik, wie LiDar oder Beacon-Tracking, zur Umgebungswahrnehmung und Lokalisierung ausgestattet. Durch eine maschineneigene Navigationsplanung und -regelung können die Fahrzeuge selbstständig durch das Bergwerk manövrieren. Ein übergeordnetes, zentrales Planungssystem erteilt den Einzelfahrzeugen die Arbeitsaufträge und überwacht den Fortschritt dieser in Echtzeit. Begegnen sich die Fahrzeuge im Feld, können diese selbstständig und ohne zentrale Kommunikationsinfrastruktur Informationen austauschen und so ihren Auftrag dezentral ausführen. Aufgrund der Vielfalt dieser Aufgaben,

ARTUS – communication of autonomous mobile machines

In the ARTUS research project (Autonomous, robust transport system for hybrid, environmentally friendly raw material extraction based on articulated special purpose vehicles) technology and systems for a fleet of special purpose vehicles for the autonomous operation of the load-and-haul cycle are being developed and integrated. The vehicle fleet consists of multiple, autonomously operating dump trucks and loaders, each of which can sense its surroundings. Furthermore, the vehicles are also able to make and execute autonomous navigation decisions and to communicate with each other and high-level planning systems for coordination purposes. In terms of a sustainable, safe and efficient way of extracting mineral resources, the autonomous operation of the load-and-haul cycle represents a milestone in modern mining.

The test environment and facility of the project contains elements of a surface and underground resource extraction site and thus reflects the special challenges of the mineral resource industry, such as interrupted communication links, GPS failure and terrain change. This test environment has been selected to ensure the best possible transfer of knowledge and experience gained into real-world field operations and subsequent technology development.

With this in mind, the research project will equip several dump trucks and loading vehicles with advanced sensor technology, such as LiDar or beacon-tracking for environmental awareness and localization. Machine-based navigation planning and control will enable the vehicles to maneuver independently through the mine site. A centralized planning and dispatching system issues work orders to the individual vehicles and monitors their progress in real time. If the vehicles encounter each other in the field, they can exchange information independently and without a

setzt sich das ARTUS-Projektconsortium aus Unternehmen aus dem Bereich Maschinen- und Fahrzeugbau, Automatisierung und Datenanalyse sowie akademischen Partnern zusammen.

Als besondere Herausforderung des ARTUS-Projektes stellt sich dabei der Aufbau einer Kommunikationsinfrastruktur für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) heraus. Da es in Echtweltumgebungen aus (kosten-)technischen Gründen nicht immer strebsam ist, ein gesamtes Bergwerk mit einer zentralen Kommunikationsinfrastruktur zu versorgen, wird im Forschungsprojekt eine Ad-hoc-Kommunikationsinfrastruktur für bergbauliche Sonderfahrzeuge eingesetzt. Die Entwicklung, Evaluation und Integration der Kommunikationshardware und -software wird im ARTUS-Projekt durch das AMT übernommen. Die Kommunikationstechnik basiert auf einem Mesh-Kommunikationsnetzwerk, das eine direkte M2M-Kommunikation ermöglicht, sowie durch multi-hopping auch entfernte Systeme adaptiv anbinden kann. In Abbildung 1 ist stilistisch der Aufbau eines mobilen ad-hoc Mesh-Netzwerks für Fahrzeuge (engl. VANET) im ARTUS-Anwendungsszenario dargestellt.

Aufbauend auf dem Mesh-Kommunikationsnetzwerk (OSI-Layer 2) wird vom AMT mit OPC UA zudem eine herstellerinteroperable und standardisierte Protokollschnittstelle (ab OSI-Layer 5) entwickelt und integriert. Physisch werden die Netzwerkpakete über ein 2,4 GHz WiFi übertragen. Durch eine Adapterbox, die an einen fahrzeugtypischen Spannungskreis von 24 VDC sowie Ethernet-Port an die Fahrzeuge angeschlossen werden kann, wird diese Kommunikationsschnittstelle den Maschinen mit geringem Installationsaufwand bereitgestellt. Im Rahmen des ARTUS-Projektes wird diese Art der Kommunikationsschnittstelle erstmalig für Bergbaumaschinen vom AMT evaluiert und implementiert. Damit

central communication infrastructure, thus executing their job in a decentralized manner. Due to the diversity of these tasks, the ARTUS project consortium consists of companies from the fields of mechanical and automotive engineering, automation technology and data analysis, as well as academic partners.

A particular challenge of the ARTUS project is the development of a communication infrastructure for machine-to-machine (M2M) communication. Since in real-world scenarios it is not always desirable for financial and technical reasons to equip an entire mine site with a central communication infrastructure an ad hoc communication infrastructure for the mining vehicles will be used in the research project. The development, evaluation and integration of the communication hardware and software in the ARTUS project will be carried out by the AMT Institute. The communication technology is based on a mesh communication network that enables direct M2M-communication, as well as adaptive connection to remote systems through multi-hopping. Figure 1 shows the conceptual depiction of the mobile, ad-hoc mesh network for vehicles (VANET) used in the ARTUS application scenario.

Building on top of the mesh communication network (OSI layer 2), the AMT also develops and integrates a manufacturer-interoperable and standardized protocol interface (from OSI layer 5 upwards) using OPC UA. Physically, the network packets are transmitted via a 2.4 GHz WiFi. Using a physical adapter box, which can be connected to a vehicle-typical voltage circuit of 24 VDC as well as to an ethernet switch on the vehicle, this communication technology is being provided to the vehicles with very little installation effort and plug-and-play capabilities. In the



Skizze der Vision von ARTUS. Ohne Kommunikation kann kein Prozess abgewickelt werden.
Sketch of the ARTUS vision. No process can be completed without communication.

ist diese Technik ein führendes Beispiel für zukünftige Kommunikation mobiler Arbeitsmaschinen im Bergbau. Aufbauend darauf kann die von AMT entwickelte Kommunikationsschnittstelle in weiteren Anwendungsszenarien, wie der Vernetzung von Förder- und Aufbereitungsanlagen, der Fahrzeugelektrifizierung oder der Maschinen- und Personenlokalisierung weiterentwickelt und angewandt werden.

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

Projektpartner

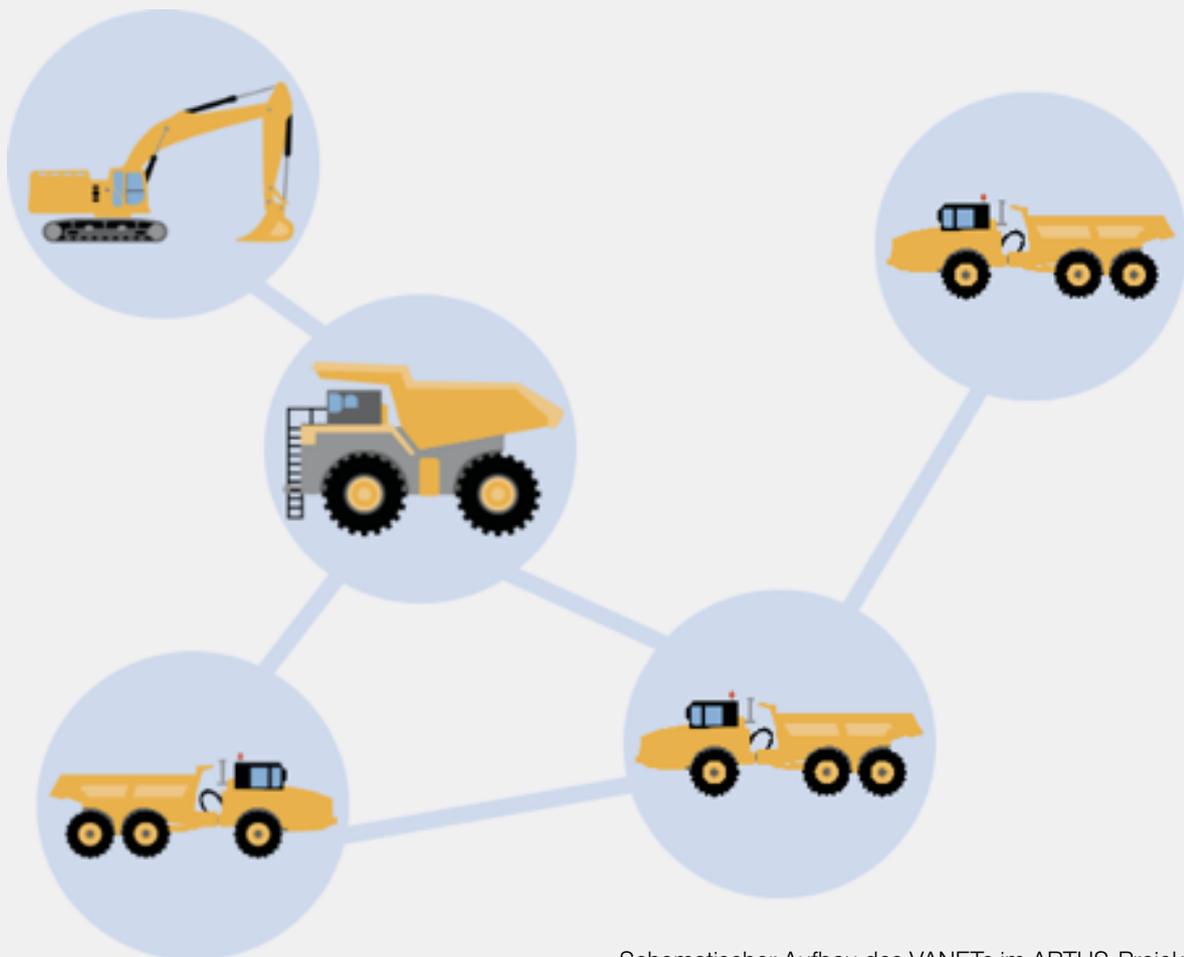
indurad GmbH (Koordinator), talpasolutions GmbH, Fritz Rensmann, Maschinenfabrik Diesellokomotiven Getriebe GmbH & Co. KG, GHH Fahrzeuge GmbH, Fachhochschule Aachen und RWTH Aachen University (AMT, IRT)

context of the ARTUS project, M2M-communication for mining machines using mesh networks and OPC UA is being evaluated and implemented by the AMT for the first time, making this technology a leading example for the future of communication of mobile machines in mining. On the basis of these results the communication interface developed by AMT can be further refined and applied in other application scenarios, such as the interconnection of conveyor and processing systems, vehicle electrification, or machine and person localization.

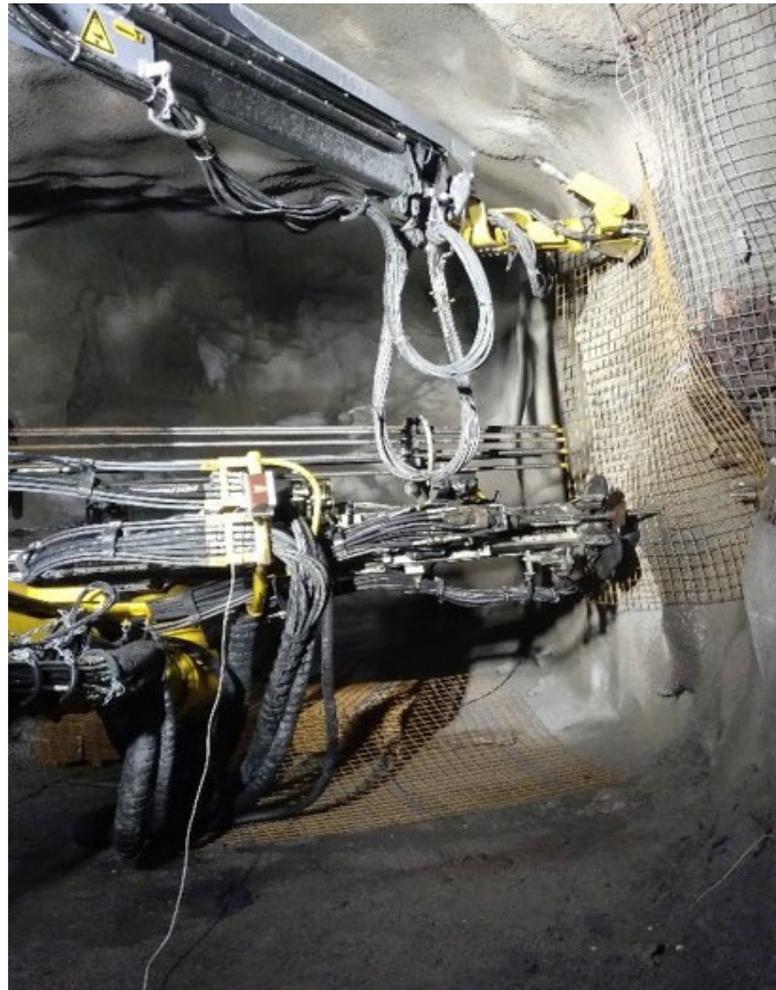
The project is supported by the funding program “IKT 2020 - Research and Innovations” of the Federal Ministry of Education and Research under the Grant Agreement number 033R126DN.

Project Partners

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



Schematischer Aufbau des VANETs im ARTUS-Projekt für eine skalierbare, dynamische und infrastrukturlose Maschinenkommunikation.
Conceptual depiction of the VANET used in the ARTUS project for scalable, dynamic and infrastructure-free machine communication.



Aufnahme von Kameradaten unter kontrollierten Bedingungen zum Kalibrieren und Trainieren.
Recording of camera data under controlled conditions for calibration and training.

ABR – Automatisierung eines Ankerbohrgerätes

Die Gebirgssicherung mit Ankern ist eine sehr komplexe und zeitaufwändige Aufgabe, die häufig den begrenzenden Faktor für die Vortriebsleistung unter Tage bildet. Zeit- und Leistungsdruck können dazu führen, dass die Geräteführer auch im ungesicherten Streckenabschnitt Arbeiten verrichten. Um die erforderliche Effizienz und Arbeitssicherheit zu gewährleisten, ist eine fortschreitende Mechanisierung und Automatisierung der Ankerbohrgeräte notwendig. Dies stellt nicht nur sicher, dass der Geräteführer aus Gefahrenzonen ferngehalten wird, durch eine Fernsteuerung der Ankerbohrgeräte kann zudem eine effizientere Auslastung gewährleistet und damit die Produktivität verbessert werden, was sich positiv auf die Vortriebsleistung auswirkt.

Das Projekt Automated Bolt Reload startete am 1. Januar 2018 mit dem Ziel den manuellen Nachladevorgang des Ankermagazins zu

ABR – automation of a bolting rig

Rock support with bolts is a very complex and time-consuming task which often forms the limiting factor for driving performance in underground mines. Time and performance pressure may even lead the operators to carry out work under unprotected roof. To ensure efficiency and a safe workplace for mineworkers, progressive mechanization and automation of the bolting rigs is necessary. This not only keeps the operator away from danger zones, but remote control of the drilling rigs can also enable more efficient utilisation and thus improve productivity, which has a positive effect on driving performance.

The project Automated Bolt Reload started on January 1st, 2018 with the aim to deliver an automatic solution for reloading bolt magazines and develop a monitoring system that enables remote supervision of the bolting rig. The latter is the task of the AMT. Due

ersetzen und ein Überwachungssystem, welches zur Fernüberwachung des Ankerbohrgerätes beitragen soll, zu entwickeln. Letzteres ist die Aufgabe des AMTs. Aufgrund der rauen Arbeitsumgebung unter Tage wurde ein auf Infrarotthermografie basierendes Überwachungssystem gewählt. Das Infrarotsensorsystem bietet drei wesentliche Vorteile im Vergleich zu anderen visuellen Überwachungslösungen. Erstens werden keine externen Lichtquellen benötigt. Somit kann die Visualisierung des Ankersetzens bei völliger Dunkelheit erfolgen. Zweitens ist das Infrarotkamerasystem unempfindlicher gegenüber kleinen Partikeln in der Luft, wie zum Beispiel Staubpartikeln. Drittens ist es möglich, Informationen zu erfassen, die mit herkömmlichen Überwachungssystemen nicht oder nur schwer zu erkennen sind, wie zum Beispiel auftretende Temperaturunterschiede.

Im Zuge des Automated Bolt Reload Projektes wurde das Infrarotsensorsystem im Labor als auch unter Tage in mehreren Bergwerken erprobt und stetig anhand der gewonnenen Erkenntnisse angepasst. Die Fotos auf Seite 19 zeigen die testweise Anbringung eines Infrarotsensors auf einem Ankerbohrgerät in einem Eisenerzbergwerk dargestellt. Als besondere Herausforderung des Projektes stellten sich dabei die schwierigen Umgebungsbedingungen dar. Neben der Wahl geeigneter Sensoren und Positionen auf den Ankerbohrgerät stand insbesondere die Gehäuseentwicklung im Fokus. Die Evaluation des Einsatzpotentials des Infrarotsensorsystems den Geräteführer bei konkreten Arbeitsschritten zu unterstützen ist ein weiterer wichtiger Aspekt des Projektes.

Ende 2021 wird das Projekt zum Abschluss kommen. Das Projekt schafft Möglichkeiten für eine zunehmende Automatisierung der Ankerbohrgeräte und trägt zur Verbesserung des Arbeitsschutzes bei.

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)

to the harsh working environment in underground mines, a monitoring system based on infrared thermography was chosen. This has three 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 small particles in the air like dust particles. Thirdly, it is possible to capture information that is difficult or impossible to detect with conventional monitoring systems, such as appearing temperature differences.

In the course of the Automated Bolt Reload project, the infrared sensor system was tested in laboratory as well as underground and adapted based on the findings. The pictures on page 19 show the test installation of an infrared sensor on a bolting rig in an iron ore mine. The difficult environmental conditions proved to be a major challenge for the project. Along with the selection of suitable sensors and positions on the bolting rig, housing development was a particular focus. Another important aspect of the project is the evaluation of the infrared sensor system's potential to support the driver in specific work steps.

The project will be completed at the end of 2021. As a result, the project creates opportunities for increasing automation of bolting rigs and provides a safer workplace for mineworkers.

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

Project Partners

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



This activity has received funding from the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, under the Horizon 2020, the EU Framework Programme for Research and Innovation



Messdatenaufnahme von AMT Mitarbeitenden im Stahlwerk.
Measurement data recording by AMT employees at the steel plant.

PAM4.0 – Intelligentes Abschlacken in der Stahlproduktion

Stahl ist einer der vielseitigsten und am häufigsten genutzten Konstruktionswerkstoffe der heutigen Zeit. Bei der Aufbereitung entsteht die sogenannte Schlacke als qualitätsminderndes Nebenprodukt, welches aus der Pfanne mit dem eingeschmolzenen Stahl entfernt werden muss. Dieser Schritt wird aktuell mit einer manuell gesteuerten sogenannten Pfannenabschlackmaschine durchgeführt, wobei das Bedienpersonal sich in einem Bedienstand in unmittelbarer Nähe der rund 1500°C Schmelze befindet. Durch den eingeschränkten Blick auf die Schmelzoberfläche ist das Entfernen der Schlacke dabei im hohen Maße von der Erfahrung, der Konzentration und dem Können des Bedienpersonals abhängig.

In dem Kooperationsprojekt „die intelligente Pfannenabschlackmaschine für heiße Einsatzbedingungen“ – kurz PAM4.0 – des AMTs gemeinsam mit der TML Technik GmbH wird dieser Prozess der Schlackentfernung automatisiert und optimiert. Ziel ist es in den nächsten zwei Jahren eine funktions- und marktfähige, neue

PAM4.0 – intelligent slag removal in steel production

Steel is one of the most widely used and multifunctional construction materials today. During the processing of raw iron or secondary steel, the so-called slag is produced as a quality-reducing side product, that has to be removed from the ladle with the melted steel. This step is currently removed by a machine manually controlled, where the operator is located in control stand in the immediate proximity of the melt, which can reach temperatures of around 1500° C. Due to the limited view of the melt surface, slag removal is highly dependent on the experience, concentration and skill of the operator.

In the cooperation project „intelligent slag removal machine for hot operating conditions “ - short PAM4.0 – of the AMT and TML Technik GmbH this slag removal process is automated and optimized. The aim is to design a functional and marketable new slag removal machine with an automated, improved slag removal function during the next two years. On one hand, TML Technik

Abschlackmaschine zu konstruieren, die den Abschlackprozess automatisiert und verbessert. Dazu werden von der TML Technik GmbH zum einen die Geometrie, Statik, Kinematik und Steuerung der gesamten Maschine, insbesondere des Tragarms und des Abschlackschildes, neu konzipiert. Zum anderen entwickelt das AMT ein für die Stahlwerksumgebung geeignetes, robustes Sensorsystem, das sowohl die aufschwimmende Schlacke auf der Oberfläche der Stahlschmelze, als auch den gesamten Pfannenbereich erkennt. Eine intelligente Algorithmen ermittelt mit Hilfe der Sensordaten die automatisch abzufahrende Abschlackroute, so dass effizient und mit konstant hoher Qualität die Schlacke vollständig entfernt wird. Des Weiteren soll es auch möglich sein, die Abschlackbewegung von einem Teleremote-Stand aus zu beobachten und bei Bedarf einzugreifen, womit der Steuerstand in unmittelbarer Nähe der gefährlich heißen Schmelzpfanne entfällt. In diesem Sinne trägt das Projekt dazu bei die Arbeitssicherheit und den Arbeitskomfort zu erhöhen, die gesamte Effizienz des Abzuschlackprozesses zu steigern und so Stahl ressourcenschonender zu produzieren. Darüber hinaus wird durch die Produktion von weniger verunreinigtem, höherwertigem Stahl auch die Recyclingquote verbessert. Auf diese Weise leistet PAM4.0 einen wertvollen Beitrag im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung gefährlicher und schwieriger Arbeitsprozesse hin zu einer sicheren, effizienten und verantwortungsvollen Rohstoffversorgung der Zukunft.

Gefördert wird das Projekt vom Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter der Fördernummer KK5096501LL0.

Projektpartner

TML Technik GmbH, RWTH Aachen University (AMT)

GmbH is redesigning the geometry, statics, kinematics and control of the entire machine, in particular the support arm and the deslagging shield. On the other hand, the AMT is developing a robust sensor system suitable for the rough steel production environment that detects both the floating slag on the surface of the molten steel and the entire ladle area. An intelligent algorithm uses the sensor data to determine the slag removal route, that is being executed automatically, so that slag is completely removed efficiently at a consistent high quality. Furthermore, it will also be possible to monitor the slag removal from a teleremote stand and operate it manually if necessary, thus eliminating the need for a control stand in close proximity to the dangerously hot melting ladle. So the project helps to increase working comfort and safety, to improve the overall efficiency of the slag removal process and to produce steel in a resources conserves way. In addition, the production of less contaminated, higher-quality steel also enhances the recycling rate. In this way PAM4.0. makes a valuable contribution to the automation and digitalization of dangerous and difficult work processes towards a safe, efficient and responsible supply of raw materials in the future.

The project is funded by the Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) of the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy under grant number KK5096501LL0.

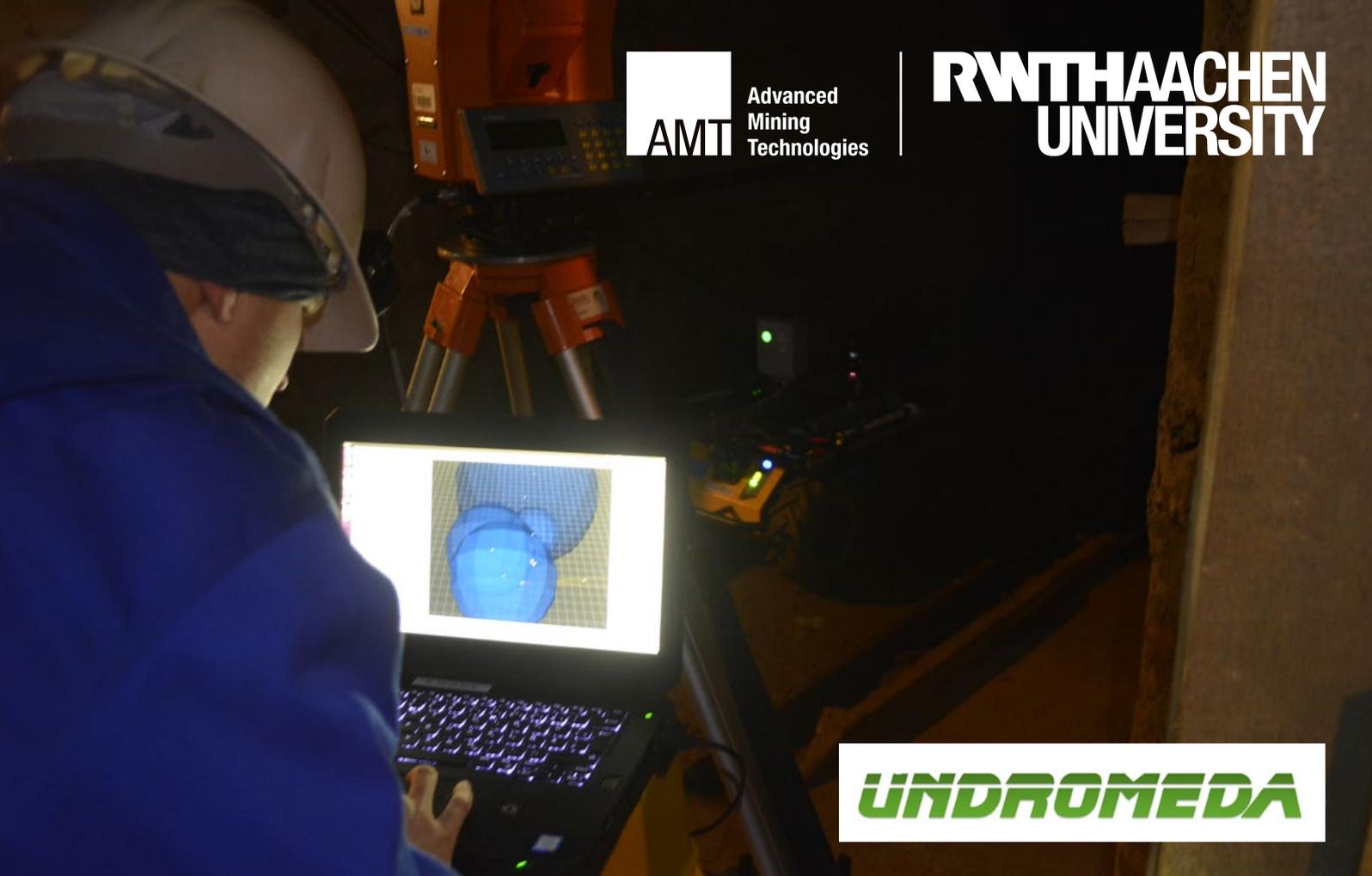
Project Partners

TML Technik GmbH, RWTH Aachen University (AMT)



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**





UNDROMEDA

Mitarbeiter bei der Prüfung der UWB Messdaten während der Testmessung in der Reichen Zeche Freiberg.
Employee checking the UWB measurement data during the test measurement at the Freiberg Rich Colliery.

UNDROMEDA – Autonome untertägige Inspektion

Im Rahmen des UNDROMEDA Projektes wird eine mobile, bodengebundene Sensorplattform (Unmanned Ground Vehicle, UGV) entwickelt, die einen unbemannten Zugang zu untertägigen Gefahrenbereichen zu Inspektions-, Überwachungs- oder Messzwecken ermöglichen soll. Das fertige System wird Inspektions- und Messpersonal aus Gefahrenbereichen in sichere Bereiche verlagern, indem gegenwärtig manuelle Überwachungen und Inspektionen teleoperiert oder autonom durchgeführt werden können. Somit können gleichzeitig Dauer und Kosten der Messungen gesenkt, sowie die personelle Sicherheit und Qualität der gewonnenen Informationen verbessert werden. Das UNDROMEDA-Projekt leistet somit einen direkten Beitrag zur Bewältigung der zukünftigen Anforderungen an einen sicheren, schadstofffreien und autonomen Bergbau.

Der Fokus im UNDROMEDA-Projekt liegt auf der autonomen Navigation in untertägigen Bergwerksumgebungen, sowie der dreidimensionalen Kartierung von Grubenbauten oder anderen untertägigen Hohlräumen. Innerhalb des Projektes wird der Prototyp eines Messsystems entwickelt, der verschiedenste Ansätze aus der Robotik zur Lokalisierung, Navigation und Kartierung kombiniert. Hierfür werden etablierte Sensortechnologien wie Beschleunigungs- und

UNDROMEDA – autonomous underground inspection

The UNDROMEDA project is developing a mobile, ground-based sensor platform (Unmanned Ground Vehicle, UGV) that will provide unmanned access to underground hazardous areas for inspection, monitoring, or measurement purposes. The completed system will move inspection and measurement personnel from hazardous areas to safer areas. Monitoring and inspection tasks, which are currently carried out manually, will then be performed autonomously or by teleoperation. This will simultaneously reduce the duration and cost of measurements and improve personnel safety and the quality of the information obtained. The UNDROMEDA project thus makes a direct contribution to meeting future requirements for safe, pollution-free and autonomous mining.

The focus in the UNDROMEDA project is on autonomous navigation in underground mining environments, as well as three-dimensional mapping of mine workings or other underground cavities. Within the project the prototype of a measurement system is developed, which combines different approaches from robotics for localization, navigation and mapping. For this purpose, established sensor technologies such as acceleration and angular rate sensors, LIDAR, radar and optical cameras are used as input for novel developed SLAM and navigation

Drehratensensoren, LIDAR, Radar und optische Kameras als Input für neuartig entwickelte SLAM- und Navigationsalgorithmen verwendet. Das Team aus erfahrenen Projektpartnern kombiniert mehrere bestehende Teillösungen (TRL 5), zu einem innovativen Gesamtsystem für effiziente Inspektions-, Überwachungs-, Auswertungs- und Erkennungsanwendungen (TRL 7). Der Beitrag des AMT innerhalb des UNDRROMEDA Projektes ist die Entwicklung eines auf Ultrabreitbandfunk (UWB) basierenden Indoor Positioning Systems (IPS), das zur initialen globalen Referenzierung der mobilen Sensorplattform dient. Die eigene Sensorik des Fahrzeugs erlaubt es ihr, die eigene Position relativ zu ihrem Startpunkt nachzuverfolgen und die Umgebung dreidimensional zu kartieren. Die absolute Position in globalen Koordinaten kann in untertägigen Bergwerken jedoch nicht ohne zusätzliche Infrastruktur ermittelt werden. Anhand festinstallierter Basisstationen (Anker), deren absolute Position markenscheiderisch aufgemessen wurde und somit bekannt ist, kann die Position eines mobilen Transceivers (Tag) auf der Sensorplattform mittels UWB bestimmt und in globale Koordinatensysteme übertragen werden. Die Distanz zwischen Tag und den Ankern wird über die gemessene Laufzeit des UWB Signals berechnet, sodass die

algorithms. The team of experienced project partners combines several existing partial solutions (TRL 5), into an innovative overall system for efficient inspection, monitoring, evaluation and detection applications (TRL 7).

AMT's contribution within the UNDRROMEDA project is the development of an ultra-wideband (UWB) radio-based Indoor Positioning System (IPS), which is used for initial global referencing of the mobile sensor platform. The vehicle's own sensor technology allows it to track its own position relative to its starting point and to map the environment in three dimensions. However, the absolute position in global coordinates cannot be determined in underground mines without additional infrastructure. Using permanently installed base stations (anchors), whose absolute position has been surveyed by means of mark surveying and is therefore known, the position of a mobile transceiver (tag) on the sensor platform can be determined by means of UWB and transferred to global coordinate systems. The distance between the tag and the anchors is calculated via the measured propagation time of the UWB signal, so that the position of the tag can be determined via multilateration. The long-standing development work of the AMT in the field of UWB positioning is



Messroboter ausgestattet mit UWB Lokalisierung auf dem Weg in Richtung Ziegenstall. (Reiche Zeche Freiberg).
Measuring robot equipped with UWB localisation on its way towards the „goat shed“. (Reiche Zeche Freiberg)

Position des Tags über Multilateration bestimmt werden kann. Die langjährige Entwicklungsarbeit des AMT im Bereich der UWB Positionierung wird somit im UNDRROMEDA Projekt sowohl in der Software-, als auch in der Hardwareentwicklung weitergeführt. Um den gesteigerten Anforderungen untertägiger Bergwerke zu genügen, wurde die vorhandene UWB-Elektronik überarbeitet und optimiert. Die weiterentwickelte Hardware ermöglicht robustere Ranging-Prozesse, während bergbautaugliche Gehäuse die Eignung des Systems in untertägigen Bergwerken garantieren. Die für UNDRROMEDA entwickelten Positionierungsalgorithmen bieten eine deutlich verbesserte Genauigkeit und Robustheit der Lokalisierung, sowie eine erleichterte Integration des UWB Systems in das UGV.

Um die Realitätstauglichkeit des UWB Systems zu prüfen, wurden umfangreiche Feldmessungen im Testbergwerk „Reiche Zeche“ in Freiberg durchgeführt. Das ehemalige Silberbergwerk zeichnet sich durch besonders enge Strecken aus, was IPS vor besondere Herausforderungen stellt. Das UWB System wurde hier in umfangreichen Feldtests auf seine Eignung für untertägige Bereiche geprüft und konnte selbst in den engen Strecken der Reichen Zeche gute Ergebnisse liefern.

Das Projekt wird gefördert durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) unter 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

thus continued in the UNDRROMEDA project in both software and hardware development. In order to meet the increased requirements of underground mines, the existing UWB electronics were revised and optimized. The enhanced hardware enables more robust ranging processes, while mining-grade housings guarantee the system's suitability in underground mines. The positioning algorithms developed for UNDRROMEDA provide significantly improved localization accuracy and robustness, as well as facilitated integration of the UWB system into the UGV.

In order to test the real-world suitability of the UWB system, extensive field measurements were carried out in the test mine „Reiche Zeche“ in Freiberg. The former silver mine is characterized by particularly narrow roadways, which poses special challenges for IPS. The UWB system was tested here in extensive field tests for its suitability for underground areas and was able to deliver good results even in the narrow drifts of the Reiche Zeche.

The project is funded by the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under grant number 17019.

Project Partners

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

Inline Gesteinserkennung

Inline Rock Detecion

Die Gewinnung von Rohstoffen ist an sich schon ein komplexer Prozess, und die steigende Nachfrage sowohl in Bezug auf die Menge als auch die Vielfalt bringt die Industrie an schwer zugängliche Standorte, wodurch die Kosten für die Gewinnung steigen. Die Materialidentifizierung kann dieses Problem (teilweise) lösen, da sie es ermöglicht, die verfügbaren Ressourcen auf die wertvollen Rohstoffe zu konzentrieren und den Rest beiseite zu lassen.

Durch den Einsatz von Sensoren im Gewinnungsprozess können wir Informationen über den Prozess sammeln. Diese Informationen können in unterschiedlicher Form vorliegen, z. B. visuell, als Infrarot-Thermografie, als akustische Emission (AE) oder sogar in einer Kombination aus mehreren dieser Methoden. Bergbauprozesse sind jedoch sehr anspruchsvolle Umgebungen, so dass es von entscheidender Bedeutung ist, dass die Sensoren sicher gekapselt sind, um den rauen Bedingungen standzuhalten.

Die Sensordaten an sich sind vielleicht nicht sehr aufschlussreich, aber aus ihnen lassen sich viele Merkmale extrahieren. Wenn wir diese Merkmale analysieren, können wir feststellen, welche Merkmale für das jeweilige Material relevant sind.

Diese Informationen werden dann in den Prozess zurückgeführt, entweder an den Bediener oder direkt automatisiert in die Maschine, und damit ist unser Ziel erreicht.

Am AMT ist die Materialidentifikation seit langem einer unserer Forschungsschwerpunkte, welcher aktuell durch Walze 4.0 und ScaleSense repräsentiert wird.

Extracting raw materials is in itself a complex process and the rising demand both in quantity and variety means that mining companies have to access more remote and complex ore deposits, thus increasing the cost of extraction. Material identification can (partly) tackle this problem since it allows to focus the available resources in the valuable raw materials, setting the rest aside.

Applying sensors to the extractive process allows us to collect information from the process. This information can come in different forms, such as visual, infrared thermography, acoustic emission (AE) or even a combination of many of them. Extractive processes are nonetheless very challenging environments, so it is of key importance to ensure that the sensors will be safely encased to withstand the harsh conditions.

The sensor data in itself may not reveal much, but many features can be extracted from it. Analyzing these features, we can then determine which ones are relevant for each material.

This information is then fed back into the process, either to the operator or directly automated into the machine and thus achieving our goal.

At the AMT material Identification has been one of our research areas, that is right now represented through Walze 4.0 and ScaleSense.

Walze 4.0 – Materialklassifizierung beim Schneiden

Im Projekt Walze 4.0 haben wir ein auf akustischen Emissionen basierendes Materialerkennungssystem in einem kontinuierlichen extraktiven Prozess implementiert. Die Fähigkeit, verschiedene Materialien während eines Schneidprozesses zu erkennen, würde die Effizienz des Prozesses erheblich verbessern. Bisher war es die Aufgabe der Maschinenführer, zu erkennen, ob anstelle des Erzes Nebengestein geschnitten wird, und den Schneidprozess entsprechend anzupassen. Sensoren für Schallemissionen und Algorithmen, die diese Informationen erhalten, ermöglichen eine kontrolliertere Umgebung, in der der Bediener in einer sicheren Position steht und auf der Grundlage realer, messbarer Daten eine fundierte Entscheidung über die Steuerung der Schneidemaschine treffen kann, ohne sich auf seine eigene Erfahrung verlassen zu müssen.

Wenn ein Gestein bricht, erzeugt es eine charakteristische elastische Spannungswelle, deren Eigenschaften davon abhängen, wie der Bruch erfolgt ist. Diese elastische Welle propagiert durch das Material und kann mit geeigneten Sensortechnologien gemessen werden. Obwohl es erwiesen ist, dass unterschiedliche Materialien unterschiedliche elastische Wellen erzeugen, besteht unsere Herausforderung darin, diese Veränderungen in den gemessenen Wellen während des eigentlichen Abbauprozesses zu erkennen.

Szene kurz vor der Demonstration der AE-Materialerkennung angebracht an einem realen Schneidrad.
Scene shortly before the demonstration of AE material detection attached to a real cutting wheel.

Walze – material classification during rock cutting

In the project Walze 4.0 we implemented an acoustic emission-based material identification system in a continuous extractive process. The ability to detect different materials during a cutting process would greatly improve the efficiency of the process. Up until today, it has been the job of machine operators to gauge if waste rock is being cut instead of the ore and to adjust the cutting process accordingly. Having acoustic emission sensors and algorithms obtaining this information allows for a more controlled environment where the operator can stand at a safe position and is able to make an informed decision on how to steer the cutting machine, based on real, measurable data, and not simply relying his or her own experience.

When a rock breaks it generates a characteristic elastic stress wave whose properties depend upon how the breakage happened. This elastic wave propagates through the material and can be measured using suitable sensor technologies. Although it has been proven that different materials will break producing different elastic waves, our challenge is to be able to detect those changes in the measured waves during the actual mining process.



In diesem Forschungsprojekt hat das AMT die Auswirkungen dieser Welle gemessen, indem ein Schallemissionssensor in eine Walze integriert wurde, die für Schneidprozesse verwendet wird. Anschließend analysierten wir die Schallemissionswelle, die durch einen vereinfachten Schneidprozess erzeugt wurden, wobei wir uns darauf konzentrierten, welche relevanten Merkmale aus einem Schallemissionssignal extrahiert werden können. Unter kontrollierten Laborbedingungen gelang es uns, eine Korrelation zwischen den Eigenschaften der zu schneidenden Materialien und dem gemessenen Schallemissionssignal herzustellen.

Damit diese innovative Technologie in einen Prototyp für den Einsatz unter realen Bedingungen integriert werden kann, haben unsere Partner von CAE ein Gerät entwickelt, das es uns ermöglicht, mit mehreren Sensoren gleichzeitig zu messen, die Schallemissionsmerkmale zu berechnen und sie schließlich drahtlos an einen Empfänger zu senden. Der gesamte Aufbau befindet sich in der neuen Walzentrommel unseres Partners Krummenauer GmbH, einer leistungsfähigeren, robusteren und massiveren Maschine, die näher an der tatsächlichen Anwendung ist. Außerdem werden die vom Schallemissionssensor gesammelten Informationen in den Konstruktionsprozess künftiger Schneidwalzen einfließen.

Die Feldtests haben gezeigt, dass das System erfolgreich akustische Emissionsdaten messen und verarbeiten kann, so dass genügend Daten zur Verfügung stehen, um ein Klassifizierungsmodell zu trainieren, das die zu schneidenden Materialien identifizieren kann. Das Ergebnis war ein stabiler Prototyp, der mit vier Sensoren ausgestattet ist. Ein externer Computer empfängt die verarbeiteten Sensordaten, speist sie in das Klassifizierungsmodell ein und identifiziert mit sehr hoher Genauigkeit das Material, das von der Walze zu jedem Zeitpunkt geschnitten wird.

In this research project, the AMT measured the effects over this wave by integrating an acoustic emission sensor into a shearer drum used for cutting processes. Subsequently, we analyzed the acoustic emission waves generated by a simplified cutting process, focusing on which relevant features that can be extracted from an acoustic emission signal. Under controlled laboratory conditions, we successfully established a correlation between properties of the materials being cut and the measured acoustic emission signal.

In order for this innovative technology to be integrated into a prototype for use under realistic conditions, our partners from CAE developed a device that allows us to measure with several sensors simultaneously, calculate the acoustic emission features and finally send them wirelessly to a receiver. This whole setup sits inside the new shearer drum developed by our partner Krummenauer GmbH, a more powerful, robust and massive machine, that is closer to the actual application. Besides, the information gathered by the acoustic emission sensor will be included in the design process of future cutting drums.

The field tests showed that the system could successfully measure and process acoustic emission data for providing sufficient data to train a classification model that is able to identify the materials being cut. The result was a stable prototype equipped with four sensors. An external computer receives the processed sensor data, feeds them to the classification model and identifies with very high accuracy the material being cut by the shearer drum at each moment.



Schnitt durch einen Betonblock versetzt mit zu detektierenden Kohleeinschlüssen im Walze 4.0 Projekt.
Section through a concrete block offset with coal joints to be detected in the roller 4.0 project.



Installation von integrierter Messtechnik am Schneidmeißel.
Installation of integrated measuring technology on the cutting bit.

Die Online-Materialerkennung in kontinuierlichen Schneidprozessen ist nun einen Schritt näher gerückt. Um dies in der industriellen Praxis zu ermöglichen, gibt es jedoch noch einige Herausforderungen für die Zukunft. Einige dieser Herausforderungen sind die Entwicklung eines Prototyps, der als sicher für den Betrieb unter Tage zertifiziert ist, und das Sammeln ausreichender Daten, um ein allgemeineres Modell zu erstellen.

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über die AiF im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen ZF4010404KO7

Projektpartner

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

Online material identification in continuous cutting processes is one step closer now. However, in order to make it possible in the actual industrial environment there are still some challenges for the future. Some of these challenges are developing a prototype certified as safe to operate underground and gathering sufficient data to create a more general model.

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 and Systems GmbH, RWTH Aachen University (AMT)



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie





ScaleSense – Sensorbasiertes System für die Löserdetektion

Bei der untertägigen Rohstoffgewinnung ist das Berauben ein bedeutender Arbeitsschritt des Bohr- und Sprengzyklus. Das Ziel ist es, loses, aber noch nicht herabgefallenes Gestein, sogenannte Löser, kontrolliert zu lösen. Dadurch soll garantiert werden, dass die Maschinenteknik bei nachfolgenden Arbeiten nicht durch herabfallendes Gestein beschädigt und Personen verletzt oder getötet werden.

Auch heute noch wird das Berauben häufig manuell mit Hilfe einer Beraubestange durchgeführt. Der Einsatz geeigneter Maschinenteknik, sogenannter Scaler, ist ebenfalls möglich.

Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung des Beraubevorgangs ist die vorherige Detektion der Löser. Dieser Vorgang konnte bis heute nicht zufriedenstellend automatisiert werden. Stattdessen wird die Firste zunächst visuell durch einen erfahrenen Mitarbeitenden des Bergwerks untersucht. Beim manuellen Berauben wird mit der Beraubestange gegen das Gestein getippt und anhand des Klangs entschieden, ob an der entsprechenden Stelle ein Löser vorhanden ist. Wird dagegen maschinell beraubt, ist es möglich, anhand der Maschinengeräusche zu erkennen, ob an der

ScaleSense – sensor-based system for the detection of loose rock

In underground mining, scaling is an important task of the drilling and blasting cycle. The aim is to remove loose rock in a controlled manner. This ensures that no machinery is damaged by falling rock during subsequent work and that people are not injured or even killed.

Even today, scaling is often carried out manually by using a scaling bar. The use of suitable machinery, so-called scalers, is also possible.

A prerequisite for successfully performing the scaling process is the previous detection of loose rock. Until today, this process has not been satisfactorily automated. Instead, the miner first performs a visual inspection of the roof. In the case of manual scaling, he taps against the rock with his scaling bar and decides, based on the sound, whether there is loose rock. If scaling is performed mechanically, an experienced miner can detect loose rock based on the sound of the scaler. Thus, a significant and complex process is highly dependent on human decisions. If too much material is removed, this is not desirable from an economic point of view. Furthermore, it can create new areas of weakness in the rock

entsprechenden Stelle ein Löser vorhanden ist. Das führt dazu, dass ein bedeutsamer und zugleich komplexer Prozess in hohem Maße von menschlichen Entscheidungen abhängt. Wird zu viel Material gelöst, ist dies aus wirtschaftlicher Sicht nicht wünschenswert. Des Weiteren können dadurch neue Schwachstellen im Gebirge erzeugt werden. Wird dagegen zu wenig Material gelöst, kann in den nachfolgenden Arbeitsschritten keine ausreichende Sicherheit für Mensch und Maschine gewährleistet werden.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird im Rahmen des Scale Sense Projektes ein sensorbasiertes System für die Detektion von Lösern und die Überwachung des Beraube-Vorgangs entwickelt und in einen Scaler integriert. Dieses System dient der Unterstützung bei der Löserdetektion für die erfolgreiche Durchführung des Beraube-Vorgangs und ist zugleich ein erster Schritt hin zu einer Automatisierung dieses Prozesses.

Im Rahmen des Scale Sense Projektes ist die Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH für die Integration der Sensortechnik in einen Scaler sowie die Entwicklung eines Visualisierungssystems verantwortlich. Die Aufgabe des AMT ist die Entwicklung des Sensorsystems für die Löserdetektion. In diesem System werden eine Kamera, die im langwelligen Infrarotbereich arbeitet, sowie die Acoustic Emission Technologie kombiniert. Die Kombination der Daten verschiedener Sensoren bietet darüber hinaus Vorteile, wie eine höhere Robustheit im Falle von Störungen eines Sensors, eine höhere Verlässlichkeit sowie die vollständigere Erfassung vorhandener Löser.

Im Frühjahr 2022 wird das Projekt zu einem Abschluss kommen. Da es sich beim Berauben um einen sicherheitsrelevanten Vorgang handelt, wird das Ergebnis von großer Relevanz für den Bergbau sein und weiterhin einen Beitrag zur Digitalisierung des Beraube-Vorgangs leisten.

Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter der Fördernummer ZF4010406PO9.

Projektpartner

Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH,
RWTH Aachen University (AMT)

mass. On the other hand, if too little material is removed, it is not possible to ensure sufficient safety during subsequent works.

To meet these challenges, the Scale Sense project aims to develop a sensor-based system for the detection of loose rock and monitoring the scaling process and integrating it into a scaler. This system will support the miner in detecting loose rock for successfully performing the scaling process. Simultaneously, the project is the first step towards the automation of this process.

Within the Scale Sense project, the Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH is responsible for integrating the sensor technology into a scaler and developing a visualization system. The AMT is responsible for developing the sensor system for the loose rock detection. This system combines a long-wave infrared camera and the acoustic emission technology. The combination of data from different sensors offers advantages such as higher robustness in case of failures, higher reliability, and the more complete detection of loose rock.

The project will end in the spring of 2022. As scaling is a safety-relevant process, the project outcome will be relevant for the mining industry and will contribute to the digitization of the scaling process.

The project is funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy under grant number ZF4010406PO9. der Fördernummer ZF4010406PO9.

Project Partner

Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH,
RWTH Aachen University (AMT)



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

Mine Safety: Technologieentwicklung als Beitrag zur Erhöhung der Arbeitssicherheit

Mine Safety: Technology development as a contribution to increasing occupational safety

Der Bergbau hat in den letzten Dekaden große Fortschritte bei der Verringerung der betrieblichen Unfälle erzielt. Ein wichtiger Katalysator für diese Verbesserung war die kontinuierliche Mechanisierung und Automatisierung der Bergbaumaschinen und -prozesse. Dennoch bleibt das Rückgrat der modernen Gesellschaft bis heute eine der gefährlichsten Industrien.

Die Verbesserung der Arbeits- und Sicherheitsbedingungen in Bergwerken ist eine unserer Triebfedern und somit auch eines der Ziele in vielen unserer Forschungsprojekte. Damit möchten wir einen Beitrag leisten, um die Bergleute von heute und morgen zu schützen und den Bergbau attraktiver für zukünftige Talente zu machen.

Im Folgenden werden zwei Projekte vorgestellt, die direkt zur Erhöhung der Arbeitssicherheit im Bergbau beitragen. Andere Forschungsprojekte am AMT leisten hier ebenfalls wichtige Beiträge, da insbesondere die Automatisierung von Maschinen und Prozessen impliziert, dass Menschen aus gefährlichen Bereichen in weniger gefährliche transferiert werden können.

Im Projekt BUSDUCT wird der Prototyp einer über eine Stromschiene mit elektrischer Energie versorgten Einschienenhängebahn (EHB) entwickelt. Diese elektrisch angetriebene EHB wird für den Einsatz im polnischen Steinkohlenbergbau ausgelegt. Das AMT entwirft ein Sensorsystem welches den sicheren Betrieb des Prototyps in explosionsgefährdeten Bereichen sicherstellt.

Mining has made great progress in reducing operational accidents over the last hundred years. A major catalyst for this improvement has been the continued mechanization and automation of mining machines and processes. Yet, to this day, the backbone of modern society remains one of the most dangerous industries.

Improving working and safety conditions in mines is one of our driving forces and therefore also one of the objectives in many of our research projects. In this way we wish to contribute to protecting the miners of today and tomorrow and to making mining more attractive for future talent.

In the following, two projects are presented that contribute directly to increasing occupational safety in mining. Other research projects at AMT also make important contributions here, since the automation of machines and processes in particular implies that people can be transferred from hazardous areas to less hazardous ones.

In the BUSDUCT project, the prototype of a suspended monorail locomotive (SML) supplied with electrical energy via a conductor rail is being developed. This electrically powered EHB will be designed for use in Polish coal mines. The AMT is designing a sensor system that will ensure the safe operation of the prototype in potentially explosive atmospheres.

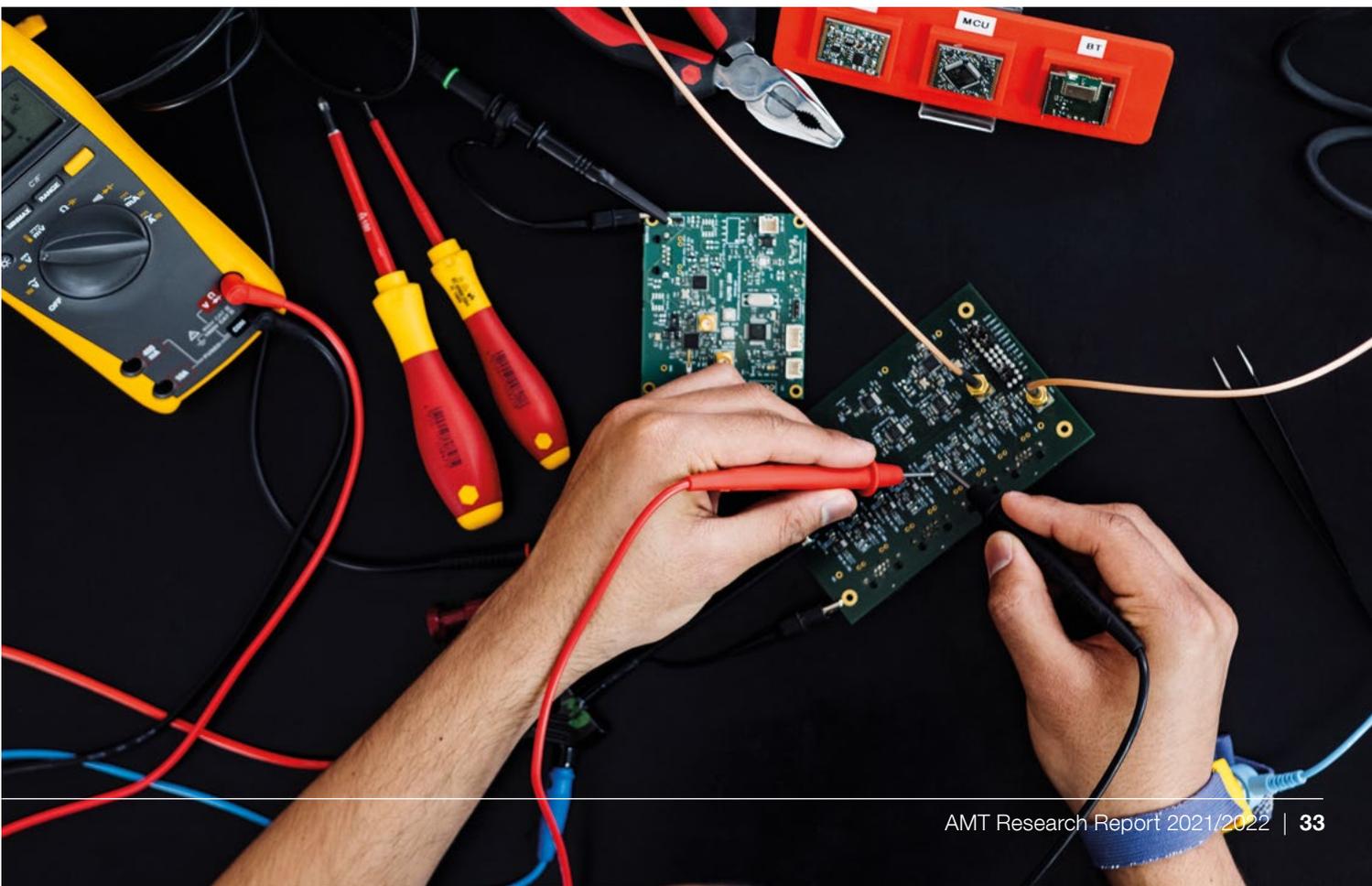
Im Projekt HEET II wird eine Technologie zur Energieübertragung entwickelt die eine batteriebetriebene EHB kontinuierlich auflädt.

Das System basiert auf der Eindrahttechnologie, welche sowohl das Risiko eines Stromschlags, als auch die Explosionsgefahr, im Vergleich zu Systemen mit offenen Stromleitungen, minimiert. Das AMT wird ein Sensorsystem zur Überwachung sicherheitstechnischer Parameter des Eindrahtsystems und der Umgebung implementieren und diese Daten an die Tagesoberfläche senden.

In the HEET II project, a technology for energy transfer is being developed that continuously charges a battery-powered EHB.

The system is based on one-wire technology, which minimizes the risk of electric shocks as well as the risk of explosions compared to systems with open power rails. The AMT will implement a sensor system to monitor safety-related parameters of the one-wire system and the environment and send these data to the surface control room.

Von Automatisierung bis Sicherheit – Hardware Entwicklung am AMT From Automation to Safety - Hardware Development at AMT



BUSDUCT

BUSDUCT – Explosionsschutz bei der Elektrifizierung

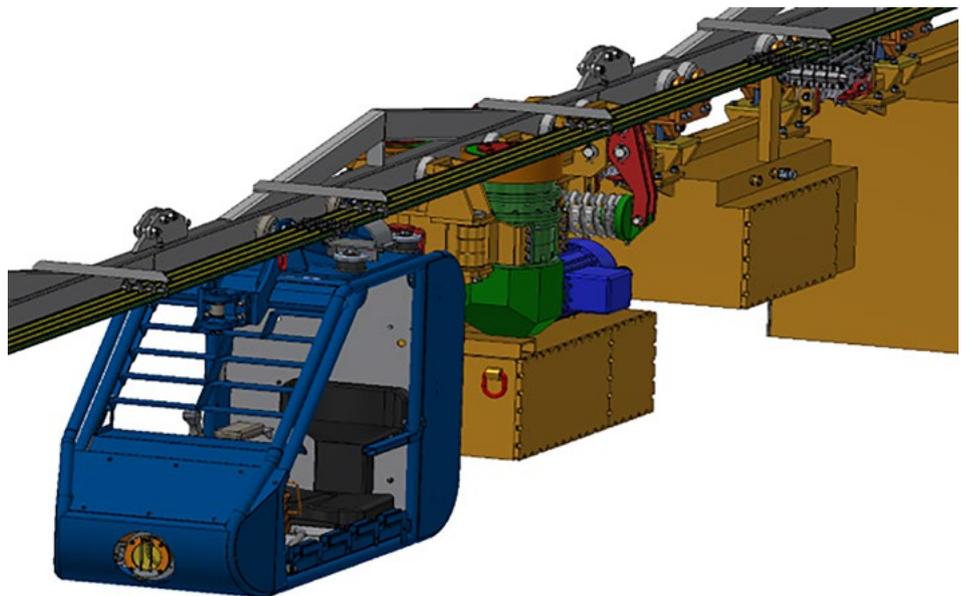
Ziel des Forschungsprojektes BUSDUCT ist die Prototypentwicklung einer über eine Stromschiene mit Energie versorgten Einschienenhängebahn (EHB). Dieser Prototyp wird in einem untertägigen Steinkohlebergwerk des polnischen Bergwerkbetreibers Polska Grupa Górnicza eingesetzt. Der Prototyp soll emissionsfrei betrieben werden, eine Fahrgeschwindigkeit von bis zu 4 m/s erreichen und ca. 30% leichter als vergleichbare batteriebetriebene EHBs sein.

Das AMT hat im Rahmen des Projektes, zusammen mit seinen Partnern, die Auswahl einiger sicherheitsrelevanter Sensoren für den Prototypen vorgenommen. Zur Sicherstellung eines sicheren Betriebes in der potenziell explosionsfähigen Atmosphäre untertägiger Steinkohlenbergwerke wird das Prinzip der Überdruckkapselung an der Stromschiene als Explosionsschutzmaßnahme angewendet. Zur Überwachung der Überdruckkapselung werden Durchfluss- und Drucksensoren eingesetzt. Zur Überprüfung der Methankonzentration in der die EHB umgebenden Luft kommen Methangasmessgeräte zum Einsatz. Die Funktion des mit dem polnischen KOMAG Institute of Mining Technology entwickelten Überdruckkapselungssystems wurde mittels Laborexperimenten und CFD-Simulationen überprüft.

BUSDUCT – explosion protection during electrification

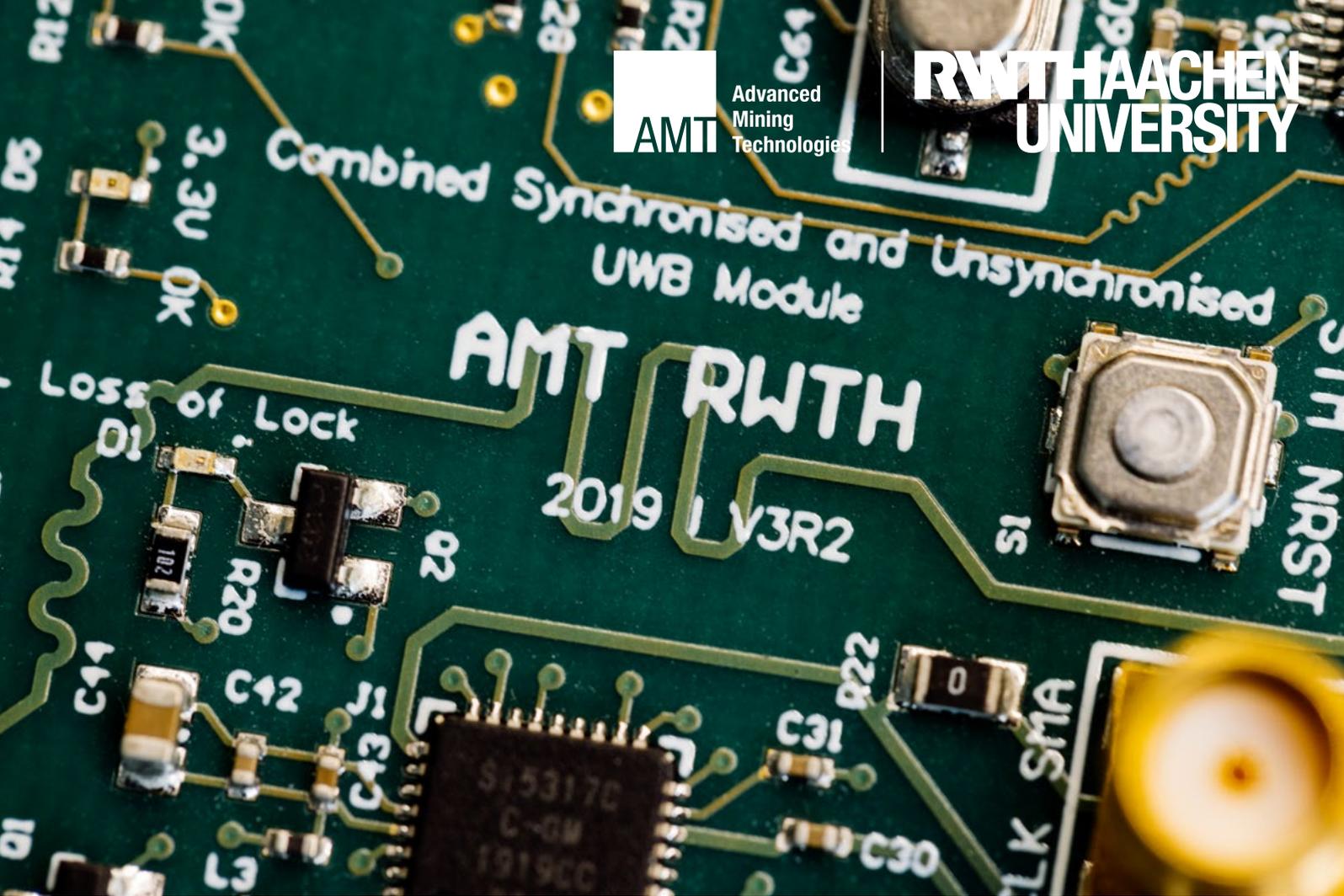
The BUSDUCT project aims to develop a prototype of a suspended monorail locomotive (SML), which is powered with electrical energy via a busduct. This prototype will be utilized in an underground coal mine operated by the Polish mining company Polska Grupa Górnicza. The prototype is to be operated without emissions, achieve a travel speed of up to 4 m/s and be approx. 30% lighter than comparable battery-powered monorails.

As part of the project, the AMT, together with its partners, has made the selection of some safety-related sensors for the prototype. To ensure safe operation in the potentially explosive atmosphere of underground coal mines, the principle of pressurized enclosure on the busduct is used as an explosion protection measure. Flow- and pressure sensors are used to monitor the pressurized enclosure. Methane gas detectors are used to monitor the methane concentration in the air surrounding the SML. The function of the pressurized enclosure system developed with the polish KOMAG Institute of Mining Technology was verified by means of laboratory experiments and CFD simulations on the part of the AMT and KOMAG.



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

Bild: ©KOMAG Institute of Mining Technology



Aktuell wird bei der Firma Becker-Warkop in Polen der Prototyp der EHB zusammengebaut und es werden erste Tests an einem Versuchsstand durchgeführt. In naher Zukunft soll eine ATEX-Zertifizierung erreicht werden, sodass der Testeinsatz in einem untertägigen Steinkohlebergwerk beginnen kann.

Das Projekt wird unter der Fördernummer 847253 durch den Research Fund for Coal and Steel (RFCS) der Europäischen Union gefördert.

Projektpartner

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

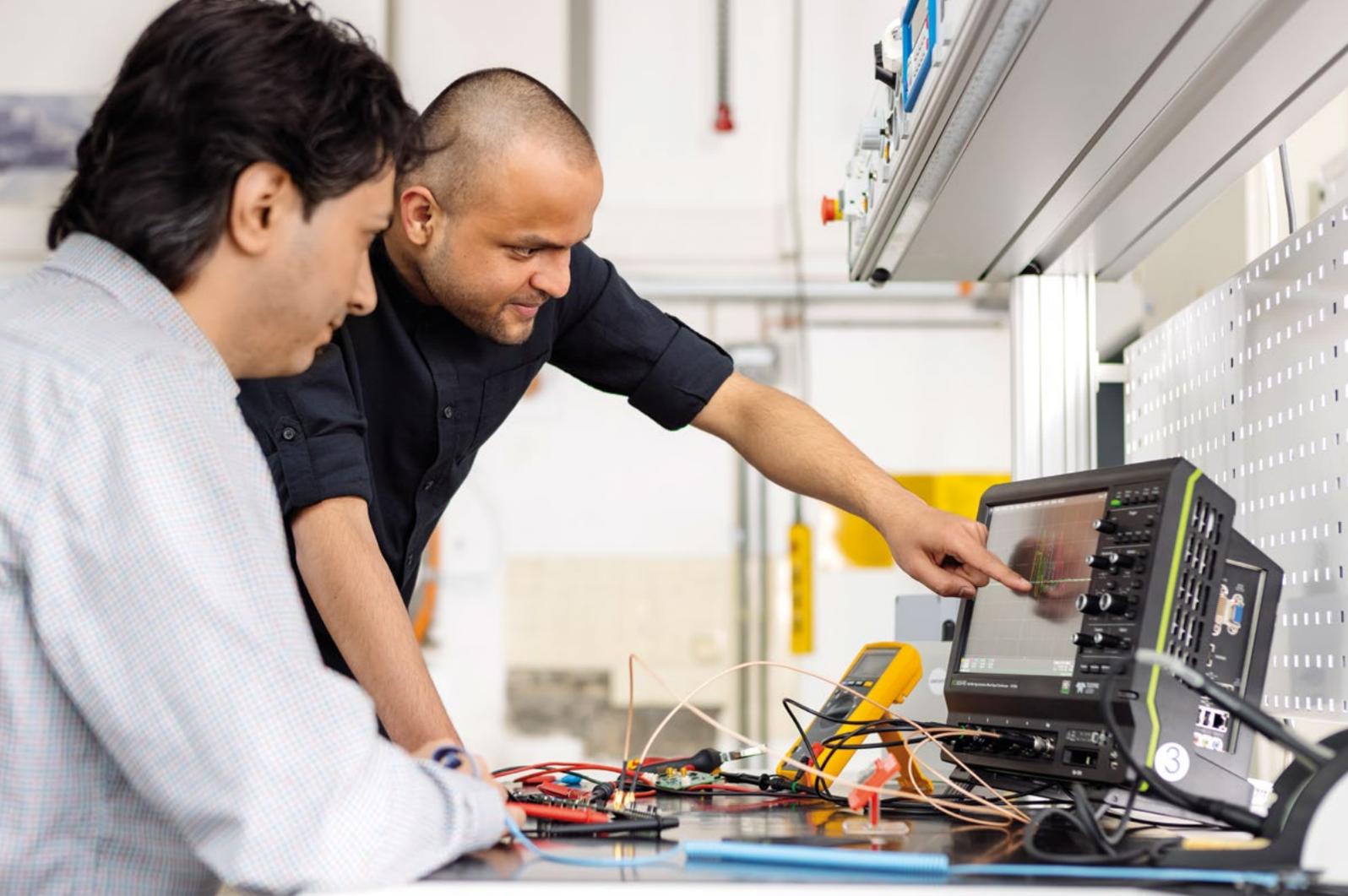
Currently, the prototype of the SML is being assembled at Becker-Warkop in Poland and initial tests are being carried out. ATEX certification is to be achieved soon so that testing can begin in an underground coal mine.

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

Project partners

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





HEET II – Sensorsystem zur Steuerung der Elektrizitätsverteilung

Im untertägigen Bergbau werden oft batteriebetriebene, elektrische Einschienenhängebahn zum Transport von Personen und Technik eingesetzt. Ein Problem stellt hierbei das wiederaufladen der Batterien dar, da Untertage potentiell eine explosive Atmosphäre herrschen kann. Diese Atmosphäre verlangt nach einer besonderen Sicherheitsbedingung der verwendeten elektrischen Anschlüsse. Innerhalb des Heet II Projektes wird deshalb zur Erhöhung der Arbeitssicherheit im untertägigen Bergbau durch das AMT in Zusammenarbeit mit dem KOMAG Institute of Mining Technology in Polen und weiteren Projektpartnern, aus Polen und Rumänien, an einer Weiterentwicklung der Einschienenhängebahn gearbeitet.

Zur Stromversorgung entlang der Schienenstrecke soll eine innovative Einleiter-Technologie eingesetzt werden. Die Technologie ermöglicht es auf den sonst notwendigen Rückleiter zu verzichten, wodurch das Risiko eines Stromschlags, als auch die Explosionsgefahr reduziert wird. Die Schiene der Hängebahn, die üblicherweise aus Stahl gefertigt wird, wird innerhalb des Projektes durch eine Schiene aus Verbundwerkstoffen ersetzt, sodass die Schiene leichter und weniger anfällig für Verbiegungen wird. Dies ermöglicht es an der Schiene die Sendeseite für eine drahtlose Energieübertragung zur Hängebahn, mittels kapazitiver Kopplung, anzubringen.

Zusätzlich wird entlang der Strecke und innerhalb der Hängebahn

HEET II – sensor system for control of electricity distribution

Battery powered electrical suspended monorails are a common mode of transport for people and technology in underground mines. However, since some underground mines have to deal with potentially explosive atmospheres, recharging the batteries poses a potential hazard and requires special safety precautions for all electrical connections. In the EU funded HEET II project the AMT in collaboration with the KOMAG Institute of Mining Technologies in Poland, and other project partners from Poland and Romania, is working on an enhancement of the suspended monorail to increase worker safety.

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

ein Überwachungs- und Steuerungssystem angebracht. Hierfür entwickelt das AMT eine Sensorplattform die gleichzeitig sowohl die Stromversorgung, als auch die Gaskonzentration verschiedener schädlicher Gase, wie z.B. Kohlenstoffmonoxid oder Methan, und andere Parameter, wie Feuchtigkeit und Temperatur, überwacht und diese Daten dann zur weiteren Verarbeitung überträgt. Anhand der gewonnenen Informationen kann so auf potentielle Gefahrensituation durch erhöhte Gaskonzentrationen schneller reagiert und die Verteilung der Elektrizität besser gesteuert werden, was wiederum die Energieeffizienz des Grubennetzes erhöht.

Angestrebt wird die Integration aller Teilsysteme zu einem vollständigen Prototyp, der in einem Versuchsbergwerk getestet werden kann. Ein besonderer Fokus wird dabei auf die Explosionssicherheit gelegt, in dessen Rahmen eine ATEX Zertifizierung angestrebt wird.

Das Projekt wird vom Research Fund for Coal & Steel der Europäischen Union unter der Fördernummer 899469 finanziert.

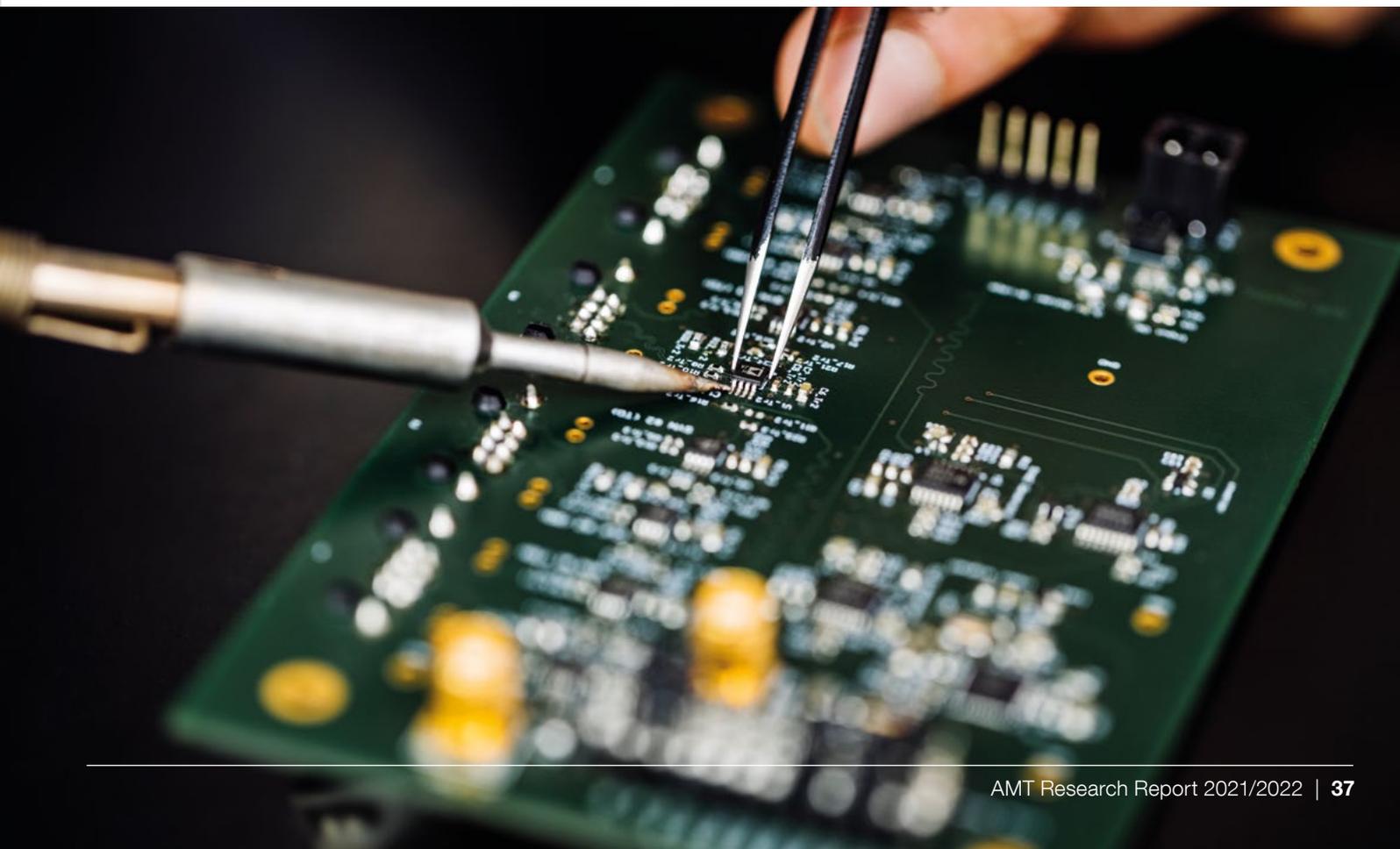
Projektpartner:

Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Główny Instytut Górnictwa Silesian University of Technology, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, SWE (Sun Wind Energy - Stońce Wiatr Energia), RWTH Aachen University (AMT)

Additionally, an environmental monitoring system will be placed alongside the suspended monorail. The AMT is developing a sensor module that will monitor the electrical power system, the gas concentration of various dangerous gases such as carbon monoxide or methane, environmental parameters such as humidity and temperature, and transmit the data to surface headquarters for further processing. Using this data, headquarters can faster react to potential hazardous situations such as a buildup of explosive gases and optimize the electrical transmission, improving the efficiency of the power grid.

The goal is to integrate all subsystems into a prototype which will be tested in an experimental underground mine. A special focus is placed on explosion safety, aiming to a fully ATEX certified system.

The project receives funding from the Research Fund for Coal & Steel of the European Union under Grant Agreement No. 899469



Neue Horizonte für den Bergbau

New Mining Horizons

Der weltweit steigende Rohstoffbedarf und die fortwährende Suche nach neuen Rohstoffquellen sind unter anderem zwei Treiber, um auch unkonventionelle alternative Rohstoffquellen immer wieder für die primäre Rohstoffgewinnung der Zukunft in Betracht zu ziehen. Hierzu gehört sowohl die terrestrische und extra terrestrische Rohstoffgewinnung (Space Mining), als auch der Tiefseebergbau in Wassertiefen von bis zu 6000 m zur Gewinnung von polymetallischen Rohstoffen. Zur Erschließung dieser außergewöhnlichen Rohstoffquellen bedarf es der Entwicklung vollständig neuer Konzepte und Technologien. Aber nicht nur die technische Umsetzung stellt die Forscher/innen vor ein umfangreiches neues Arbeitsfeld, sondern auch die damit einhergehende gesellschaftliche Verantwortung, um im Sinne der Nachhaltigkeit die Zukunft positiv zu beeinflussen. Hier gestaltet das AMT die Entwicklung über den „traditionellen“ Bergbau hinaus mit.

The worldwide increasing demand for raw materials and the continuous search for new raw material sources are among others two drivers to consider also unconventional alternative raw material sources again and again for the primary raw material extraction of the future. This includes terrestrial and extraterrestrial raw material extraction (space mining), as well as deep sea mining in water depths of up to 6000 m for the extraction of polymetallic raw materials. The development of these extraordinary raw material sources requires the development of completely new concepts and technologies. However, it is not only the technical implementation that confronts the researchers with an extensive new field of work, but also the social responsibility that goes along with it, in order to positively influence the future in terms of sustainability. Here, the AMT is helping to shape developments beyond „traditional“ mining.



Konzeptioneller Ablauf der Gewinnung auf dem Mond und die kooperierenden Partner der RWTH Aachen im Bereich Space Mining. Conceptual process of mining on the moon and the cooperating partners of RWTH Aachen University in the field of space mining.

“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 – Rohstoffgewinnung in der Tiefsee

Im Zuge des steigenden Rohstoffbedarfs der modernen Gesellschaft ist die kommerzielle Rohstoffgewinnung in der Tiefsee immer wieder in den Blickpunkt des globalen und europäischen Interesses gerückt. Bereits in den 1970er Jahren wurden die ersten Manganknollen aus der Tiefsee gewonnen, die neben Mangan auch andere Rohstoffe wie Kupfer, Kobalt, Lithium und Nickel enthalten, welche für die Elektromobilität und die damit einhergehende Energiewende wichtig sind. Hinzu kommt, dass diese Rohstoffe in terrestrischen Lagerstätten perspektivisch geringfügiger zu Verfügung stehen werden. Aber auch andere Lagerstätten, wie Kobaltkrusten und Massivsulfidlagerstätten, sind aufgrund des hohen Gehalts an verwertbaren Metallen von wirtschaftlichem Interesse.

Aufgrund immer wieder auftauchender technologischer Hürden und der noch teilweise ungeklärten Auswirkungen von Eingriffen in die Tiefseeökologie wurden Tiefseebergbauprojekte jedoch wiederholt verschoben. Mit dem kürzlich vergangenen EU-Rahmenprogramm Horizon2020 ist der Tiefseebergbau wieder in den Fokus gerückt. Die EU hat ein strategisches Interesse daran, sich durch den Meeresbergbau den Zugang zu wichtigen Rohstoffen zu sichern und damit unabhängiger von Importen zu werden. Um das strategische und wirtschaftliche Potenzial zu realisieren, müssen jedoch die technologischen Herausforderungen gemeistert und die Umweltauswirkungen ausreichend bewertet werden.

Deep sea mining – extraction of raw materials in the deep sea

In the context of modern society’s increasing demand for raw materials, the commercial extraction of raw materials in the deep sea has repeatedly become in focus of global and European interest. In the 1970s, the first manganese nodules were extracted from the deep sea. In addition to manganese, these nodules also contain other raw materials such as copper, cobalt, lithium and nickel, which are important for electromobility and the associated energy revolution. Additionally, these raw materials will be less available in terrestrial deposits in the future. But other deposits, such as cobalt crusts and massive sulphide deposits, are also of economic interest due to their high content of usable metals.

However, deep-sea mining projects have been repeatedly postponed due to recurring technological hurdles and the still partly unresolved effects of interventions in the deep-sea ecology. With the recently passed EU Horizon2020 framework programme, deep-sea mining has come back into focus. The EU has a strategic interest in securing access to important raw materials through marine mining and thus becoming less dependent on imports. However, in order to realise the strategic and economic potential, the technological challenges must be mastered and the environmental impacts must be sufficiently assessed.

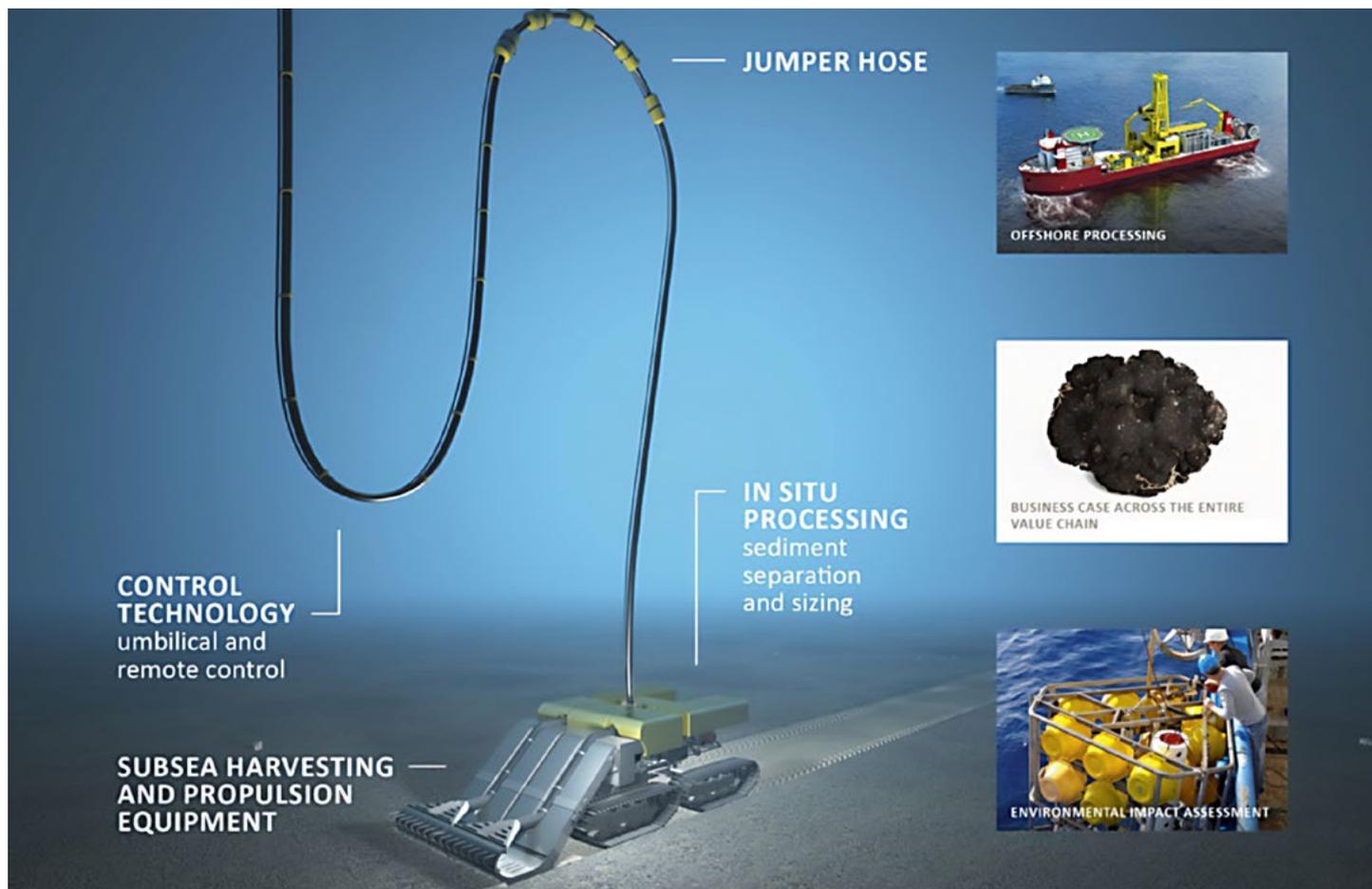
Daraus ergibt sich für die RWTH Aachen, insbesondere für die Fakultät Georessourcen und Werkstofftechnik, ein neues Forschungsfeld. Das AMT war in den letzten Jahren an zwei Großprojekten (Blue Mining und Blue Nodules) beteiligt, die im Rahmen des europäischen Förderprogramms Horizon 2020 gefördert wurden. Ziel beider Projekte war die Entwicklung eines Konzepts für den umweltfreundlichen Abbau von Manganknollen und eines Prototyps für einen hydraulischen Harvester (Sammler) zur Aufnahme der Knollen. Mit den beiden Projekten steigt das AMT in den Tiefseebergbau ein. Aktuell ist das AMT in einem dritten europäischen Großprojekt (Blue Harvesting) aktiv.

Die Kompetenz des AMTs liegt in der Charakterisierung von Materialflüssen mit Hilfe der Acoustic Emission Technologie, die nun auf die Unterwasserwelt übertragen werden soll. Zum anderen strebt das AMT an, sein Know-how in der kontinuierlichen Gewinnungstechnik und Maschinendiagnose künftig auch auf den Bereich des Tiefseebergbaus zu übertragen. Insbesondere die Automatisierung der schneidenden Gewinnung im Bergbau kann eine wichtige Rolle bei der Realisierung des Abbaus von Massivsulfidlagerstätten oder Kobaltkrusten spielen.

This results in a new field of research for RWTH Aachen University, especially for Department 5 (Georesources and Materials Engineering). In recent years, the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) has been involved in two major projects (Blue Mining and Blue Nodules) funded under the European Horizon 2020 funding programme. The aim of both projects is to develop a concept for the environmentally friendly mining of manganese nodules and a prototype for a hydraulic harvester (collector) to pick up the nodules. With these two projects, AMT is entering the field of deep-sea mining. The AMT is currently working on a third major European project (Blue Harvesting).

The AMT's expertise lies in the characterisation of material flows with the help of high-frequency acoustic emission technology, which is now to be transferred to the underwater world. On the other hand, the AMT is striving to transfer its know-how in continuous extraction technology and machine diagnostics 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 realisation of the mining of massive sulphide deposits or cobalt crusts.

Hydraulischer Kollektor, wie er als Konzept für den Einsatz in der Tiefsee erprobt wird.
Hydraulic collector as tested concept for use in the deep sea.





This activity has received funding from the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, under the Horizon 2020, the EU Framework Programme for Research and Innovation

Blue Harvesting

Das vom EIT Raw Materials geförderte Projekt Blue Harvesting hat am 1. April 2019 seine Arbeit aufgenommen, um einen weiteren Schritt in Richtung des kommerziellen Tiefseebergbaus zu gehen und gleichzeitig die Umweltauswirkungen auf ein geringst mögliches Maß zu minimieren. Das Forschungskonsortium, bestehend aus neun europäischen Partnern, hat sich zum Ziel gesetzt, einen hydraulischen Kollektor für die Aufnahme von polymetallischen Knollen zu entwerfen, zu bauen und in einer Betriebsumgebung zu testen. Dabei sollen auch die Umweltauswirkungen minimiert werden, was unter anderem in einem Testareal im Nordostatlantik überprüft werden soll.

Vorgelagerte Untersuchungen haben ergeben, dass Unterwasser-Kollektoren für den Abbau von polymetallischen Knollen große Wolken von Schwebstoffen erzeugen, die das Leben am Meeresboden in den Gebieten um die Abbaustandorte herum und möglicherweise einige Kilometer entfernt schwer beeinträchtigen. Im Rahmen dieses Projekts werden die meisten Anstrengungen darauf verwendet, die durch den hydraulischen Knollenfänger verursachte Sedimentwolkenbildung und -ausbreitung zu verringern.

Derzeitig ist die bevorzugte Technologie für den Abbau der polymetallischen Knollen die hydraulische Trennung der Knollen vom Sediment. Das Blue Harvesting Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung eines verbesserten Kollektors der eine reduzierte Umweltbelastung bei hoher Produktionsrate und Effizienz sicherstellt. Ein Ausgangs-

Blue Harvesting

The EIT Raw Materials-funded Blue Harvesting project began work on April 1, 2019, to take another step toward commercial deep-sea mining while minimizing environmental impacts. The research consortium, consisting of nine European partners, aims to design, build and test in an operational environment a hydraulic collector to hold polymetallic nodules. The project also aims to minimize the environmental impact, which will be verified in a test area in the northeast Atlantic.

Prior research has shown that underwater collectors for polymetallic nodule mining generate large clouds of suspended sediment that severely impact seafloor life in areas around the mining sites and potentially several kilometers away. Under this project, most efforts will be devoted to reducing sediment cloud formation and spreading caused by hydraulic nodule trapping.

Currently, the preferred technology for polymetallic nodule mining is hydraulic separation of the nodules from the sediment. The Blue Harvesting project focuses on the development of an improved collector that ensures reduced environmental impact at high production rates and efficiency. A starting point is to reduce the amount of process water required and optimize the conditions under which the sediment is released from the collector. Subsea machinery experts and mining specialists are helping to design a novel collector and separation system to reduce water consumption and sediment spread. The AMT is responsible for monitoring and characterizing the material

punkt ist die Verringerung der benötigten Prozesswassermenge und die Optimierung der Bedingungen unter denen das Sediment aus dem Kollektor freigesetzt wird. Experten für Unterwassermaschinen und Bergbauspezialisten tragen dazu bei, ein neuartiges Kollektor- und Trennsystem zu entwerfen, um den Wasserverbrauch und die Sedimentausbreitung zu verringern.

Das AMT übernimmt hierbei mittels der Acoustic Emission Technologie die Überwachung und Charakterisierung der Stoffströme im hydraulischen Kollektor. Somit ist eine Hauptaufgabe die Entwicklung einer sensortechnischen Anwendung, die in dieser neuen und besonderen Arbeitsatmosphäre eingesetzt werden kann. Dabei wird das sensortechnische Equipment nicht nur durch die Umgebungsbedingungen beeinflusst, sondern auch vor softwaretechnischen Herausforderungen gestellt. Mittels der Materialstromcharakterisierung soll der sedimentabscheidende Aufbereitungsschritt unter anderem überwacht werden. Dabei soll sichergestellt werden, dass keine überflüssigen Materialien in das Transportsegment zur Oberfläche gelangen und somit die mit geförderten Sedimenten frühzeitig aus dem Fördersystem abgetrennt und bodennah dem Meeresgrund wieder zugeführt werden. Die frühzeitige vollständige Abtrennung der Sedimente und ihre Rückführung ist ein limitierender Faktor für die Umsetzung des Tiefseebergbaus. Durch die bodennahe Rückführung der Sedimente sollen weitere Sedimentwolken verhindert werden und so eine prozessbasierende Umweltbelastung zu verhindern.

Im Weiteren wird durch die Materialstromcharakterisierung versucht ein digitales Abbild der Materialströme im Kollektor zu erzeugen. Da der Abbau nur über einen ferngesteuerten oder vollständig automatisierten Kollektor realisiert werden kann, ist jeder Datenpunkt, der ein genaueres Bild der während des Abbaus vorhandenen Prozessparameter ermöglicht, ein wichtiger Bestandteil für die übergeordnete Prozesssteuerung und stellt eine Möglichkeit der Teilanalytik der gewonnenen Materialien dar. Über die Quantifizierung der geförderten Materialien kann ein Einfluss auf die Fahrzeuggeschwindigkeit, Eindringung der Materialaufnahme in den Meeresboden oder die Prozesswassergeschwindigkeit ermöglicht werden. So soll durch die vom AMT abgezielte Charakterisierung die Prozesssicherheit und -optimierung des beschriebenen, im Kollektor stattfindenden Förderung gewährleistet werden. So soll ein Beitrag zum Erreichen der technischen Effizienz und des Umweltschutzes geleistet werden.

Gefördert durch das European Institute of Innovation & Technology (EIT) mit der Fördernummer 18138

Projektpartner

Delft University of Technology (Koordinator), Aarhus Universitet, 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

flows in the hydraulic collector by means of the Acoustic Emission Technology. Thus, one of the main tasks is the development of a sensor technology application that can be used in this new and special working atmosphere. In this context, the sensor technology equipment is not only influenced by the environmental conditions, but also faces software challenges. By means of material flow characterization, the sediment-separating processing step is to be monitored, among other things. The aim is to ensure that no superfluous material enters the transport segment to the surface and thus that the sediments conveyed with it are separated from the conveyor system at an early stage and returned to the seabed near the bottom. The early complete separation of sediments and their return is a limiting factor for the implementation of deep-sea mining. By returning the sediments close to the bottom, further sediment clouds should be prevented and thus a process-based environmental pollution should be avoided.

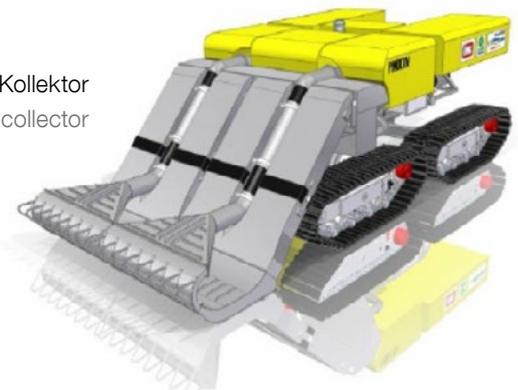
Further, material flow characterization will attempt to create a digital image of the material flows in the collector. Since degradation can only be realized via a remotely controlled or fully automated collector, any data point that provides a more accurate picture of the process parameters present during degradation is an important component for higher-level process control and represents an opportunity for partial analysis of the recovered materials. Quantification of the extracted materials can be used to enable an influence on vehicle velocity, penetration of the material uptake into the seafloor, or process water velocity. Thus, the characterization aimed by the AMT is to ensure the process reliability and optimization of the described conveying taking place in the collector. Thus, a contribution to the achievement of technical efficiency and environmental protection is to be made.

Funded by the European Institute of Innovation & Technology (EIT) under the grand Fördernummer 18138

Project Partners

Delft University of Technology (Coordinator), Aarhus Universitet, 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

Hydraulischer Kollektor
Hydraulic collector





Space Mining – Rohstoffgewinnung auf dem Mond

Die Erkundung des Weltraums fasziniert die Menschheit seit Jahrzehnten. Der Aufbau von Kolonien auf dem Mond oder Mars gewinnt zunehmend an Interesse. Diesem stehen jedoch die enormen Kosten der Raumfahrt sowie Begrenzungen möglicher Nutzlasten entgegen. Deshalb wird die Nutzung extraterrestrischer Rohstoffe - die In-Situ-Resource-Utilization (ISRU) - in den nächsten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen. Im Fokus steht unter anderem Regolith, ein staubartiger Rohstoff, der die gesamte Mondoberfläche bedeckt. Dieser könnte als Baustoff genutzt werden, enthält aber auch Sauerstoff in gebundener Form sowie verschiedenste Metalle.

Um Regolith nutzbar zu machen, steht, wie auch in terrestrischen Anwendungen, die Rohstoffgewinnung am Anfang der Prozesskette. Diese wird durch die auf der Mondoberfläche vorherrschenden Bedingungen erschwert. Außerdem ist eine nachhaltige Rohstoffgewinnung nicht nur auf der Erde, sondern auch im Weltraum ein Muss. Deshalb müssen innovative und hochgradig autonome Prozesse für eine effiziente und verantwortungsvolle Rohstoffgewinnung im Weltraum entwickelt werden. Das erfordert die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams. Hier möchte das AMT seine Erfahrungen im Bereich des terrestrischen Bergbaus einbringen. So können nicht nur innovative Konzepte für den extraterrestrischen Bergbau entwickelt werden, sondern die Erkenntnisse können in Zukunft auch – entsprechend dem Motto From Earth to Space and back to Earth – zu Fortschritten im terrestrischen Bergbau beitragen.

Space mining – raw materials on the moon

The exploration of space has fascinated mankind for decades. In recent years, the idea of establishing colonies on the Moon or Mars is gaining more and more traction. However, it is challenged by the enormous costs and payload limitations of space transport. Therefore, the use of extraterrestrial raw materials - the In-Situ-Resource-Utilization (ISRU) - will become essential in the near future. Among others, the regolith, a dust-like raw material that covers the entire lunar surface, is of great interest. It could be used as construction material, but also contains chemically bounded oxygen and a wide variety of metals.

This is complicated by challenging conditions on the lunar surface. Moreover, sustainable raw materials excavation is a must, not only on Earth but also in space. Therefore, innovative and highly autonomous processes must be developed for efficient and responsible raw materials excavation in space. This requires collaboration in interdisciplinary teams. The AMT is keen to contribute its experience in terrestrial mining. Thus, it will not only be possible to develop innovative concepts for extraterrestrial mining, but – according to the motto From Earth to Space and back to Earth – the insights gained will also improve terrestrial mining in future.

Aktivitäten des AMT im Bereich ISRU

Bei allen Aktivitäten im Bereich ISRU verfolgt das AMT die Philosophie eines ganzheitlichen Ansatzes. Nur wenn Experten aller Bereiche entlang der Prozesskette kommunizieren und zusammenarbeiten, kann ein bestmögliches Ergebnis erreicht werden. Deshalb ist das AMT in verschiedenen Netzwerken aktiv.

Im Aachen Space Forum (ASF) kommen Vertreter aus Industrie und Wissenschaft in und um Aachen zusammen, um sich über raumfahrtbezogene Aktivitäten auszutauschen und diese zu koordinieren. Aus dem ASF bildete sich gemeinsam mit dem Institut für Strukturmechanik und Leichtbau und dem Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen eine Arbeitsgruppe, die die gesamte Prozesskette von der Gewinnung bis zur Faserherstellung aus Regolith untersuchte. Das Sustainable Offworld Network (SoNet) bringt Vertreter aus Industrie und Wissenschaft zusammen. Im Fokus steht die nachhaltige Entwicklung von Siedlungen auf dem Mond und dem Mars. Darüber hinaus ist das AMT in der Kommission Planetary Rock Mechanics der International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM) aktiv.

Neben der aktiven Teilnahme an verschiedenen Netzwerken steht das AMT in engem Kontakt mit weiteren Partnern aus Forschung und Industrie, wie Airbus, die mit ihrem ROXY-Verfahren Sauerstoff aus Regolith gewinnen wollen. Außerdem ist das AMT am Großforschungs-Konzept des European Research Institute for Space Resources (ERIS) beteiligt. Dieses hat im Rahmen der Ausschreibung des BMBF für den Aufbau zweier Großforschungszentren in der sächsischen Lausitz und dem mitteldeutschen Revier die erste Förderphase erreicht. Neben all diesen Aktivitäten unterstützt das AMT aktiv Studierende bei der Ideenentwicklung im Bereich ISRU. Im Frühjahr 2020 hat ein Team Studierender, unterstützt von Herrn Professor Nienhaus, an der RASSOR Bucket Drum Design Challenge der NASA teilgenommen. Ziel war es, ein Konzept für die Optimierung des Regolith Surface Systems Operations Robot (RASSOR) zu entwickeln. In der Veranstaltung Maschinentechnische Planung von Betriebspunkten (MTPlan) haben Studierende im Wintersemester 2020/21 sogar ein eigenes Konzept für die Gewinnung von lunarem Regolith entwickelt.

Bei all seinen Aktivitäten bringt sich das AMT insbesondere mit zwei Forschungsschwerpunkten ein, die Charakterisierung von Regolith im Rahmen des Gewinnungsprozesses – insbesondere unter Berücksichtigung der folgenden Prozesse – und die Entwicklung eines Gerätes für die selektive Gewinnung von Regolith. Diese Idee wurde im April 2021 auf der Space Resources Week in einer gemeinsamen Präsentation mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe und dem IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling der RWTH Aachen zum Thema „From lunar regolith to oxygen and structural materials – RWTH Aachen's integrated conceptual design“ vorgestellt. In Zukunft wird das AMT weitere Untersuchungen in den Schwerpunktbereichen durchführen, um seine Konzepte weiterentwickeln.

AMT's activities in the field of ISRU

In all its ISRU activities, the AMT follows the philosophy of a holistic approach. Only if experts from all areas along the process chain communicate and collaborate, the best possible result can be achieved. Therefore, the AMT is active in various networks.

In the Aachen Space Forum (ASF), representatives from industry and science in and around Aachen come together to discuss and coordinate their space-related activities. From the ASF, a working group with the Institute for Structural Mechanics and Lightweight Construction and the Institute for Textile Technology at RWTH Aachen University to investigate the entire process chain from the excavation to fiber production from regolith. The Sustainable Offworld Network (SoNet) brings together representatives from industry and science. The focus is the sustainable development of settlements on Moon and Mars. In addition, the AMT is active in the Planetary Rock Mechanics Commission of the International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM).

Furthermore, the AMT is in close contact with further partners from research and industry, such as Airbus, that aims to extract oxygen from regolith with its ROXY process. The AMT is also involved in the large-scale research concept of the European Research Institute for Space Resources (ERIS), which has reached the first funding phase in the BMBF's call for the establishment of two large-scale research centers in Lusatia in Saxony and the Central German mining region. In addition to this, the AMT actively supports students in developing ideas in the field of ISRU. In spring 2020, a team of students, supported by Professor Nienhaus, participated in NASA's RASSOR Bucket Drum Design Challenge. The goal was to develop a concept for the optimization of the Regolith Surface Systems Operations Robot (RASSOR). In the winter semester 2020/21 within the course Maschinentechnische Planung von Betriebspunkten (MTPlan), students developed their own concept for excavating regolith.

In all its activities, the AMT especially engages in two research areas, the characterization of regolith within the excavation process – especially considering subsequent processes – and the development of a machine for selectively excavating the regolith. This idea was presented at the Space Resources Week in April 2021 together with the Department of Mineral Processing and the IME Metallurgical Process Engineering and Metal Recycling of RWTH Aachen University on the topic "From lunar regolith to oxygen and structural materials – RWTH Aachen's integrated conceptual design". In future, the AMT will conduct further research to continue developing its concepts.



Lehre: Ausbildung junger Ingenieurinnen und Ingenieure

Teaching: Training of young Engineers

Wie in den Bereichen Forschung und Transfer nimmt eine sichere und effiziente Rohstoffversorgung durch die Automatisierung und Digitalisierung von Bergbaumaschinen und -prozessen in der Lehre des AMT eine wichtige Rolle ein. Das Ziel ist es, junge Ingenieurinnen und Ingenieure auszubilden und sie beim Erwerb der Kompetenzen zu unterstützen, die sie benötigen, um den Bergbau der Zukunft mitgestalten zu können. Diese jungen Ingenieurinnen und Ingenieure stehen im Fokus der Lehre des AMT. Ihnen soll ein strukturierter Rahmen gegeben werden, der es ermöglicht, dass sie sich bestmöglich qualifizieren und so für ihre zukünftigen Aufgaben befähigt werden. Der Lehrende ist nicht nur für Informationspräsentation und Wissensvermittlung verantwortlich, sondern ist auch ein Coach und Lernbegleiter. Im Sinne einer konstruktivistischen Sicht auf das Lernen sollen dabei selbstgesteuerte, situative, individuelle und soziale Lernprozesse unterstützt werden. Die Studierenden werden so in die Lage versetzt, neben dem Aufbau der Fachkompetenz integriert ihre Selbst-, Sozial- und Methodenkompetenz bestmöglich auf- und auszubauen. Aus diesem Anspruch heraus verfolgt das AMT in der Lehre einen ganzheitlichen Ansatz im Sinne des Paradigmenwechsels „shift from teaching to learning“.

Like in research and transfer, the safe and efficient supply of raw materials through the automation and digitalization of mining machines and processes plays an important role in teaching at the AMT. The aim is to train young engineers and support them in acquiring the skills they need to help shape the future of mining. These young engineers are the focus of AMT's teaching. A structured framework is offered to enable them to acquire the best possible qualifications and thus be empowered for future tasks. The teacher is not only responsible for information presentation and knowledge transfer but is also a coach and mentor. In the sense of a constructivist view of learning, self-directed, situational, individual, and social learning processes are supported. In this way, the students can develop and expand their self-competence, social competence, and methodological competence in an integrated manner, in addition to building up their professional competence. For this reason, the AMT follows a holistic approach in teaching in the sense of the paradigm shift from teaching to learning.



So interdisziplinär wie das AMT gestaltet sich auch die Lehre des Instituts. Im Rahmen von Vorlesungen, Übungen, Praktika, Laboren oder Seminaren ist das Institut an 24 Lehrveranstaltungen der RWTH Aachen University beteiligt. Diese reichen von den Grundlagenfächern zu Beginn des Studiums, wie beispielsweise der Mechanik oder Elektrotechnik, bis hin zu fachvertiefenden Lehrveranstaltungen am Ende des Studiums. Diese werden durch Veranstaltungen, wie Einführung in Matlab oder Data Analytics for Heavy Duty Machinery ergänzt, in denen die Studierenden das Handwerk erlernen, Daten zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten. Darüber hinaus wird den Studierenden bereits zu Beginn des Studiums die Möglichkeit gegeben, durch Exkursionen und Gastvorträge Einblicke in die Praxis zu erhalten, um ein tiefgehendes Verständnis für die Komplexität des Bergbaus zu entwickeln. So sind sie am Ende Ihres Studiums in der Lage, innovative Lösungskonzepte für die Herausforderungen des Bergbaus zu entwickeln.

Wie auch an anderen Hochschulen, musste das AMT im Sommersemester 2020 den gesamten Lehrbetrieb, der bis dato überwiegend in Präsenz stattgefunden hat, auf digitale Formate umstellen. Um den Herausforderungen, die die Vielzahl und Diversität der Lehrveranstaltungen, an denen das AMT beteiligt ist, mit sich bringt, gerecht zu werden, wurde am Institut kein einheitliches Konzept der digitalen Lehre für alle Lehrveranstaltungen entwickelt. Stattdessen wurden individuelle Konzepte entwickelt, die auf die jeweilige Lehrveranstaltung, ihre Ziele sowie die Studierenden angepasst sind. So können die Studierenden auch in diesen Zeiten bestmöglich in ihrer Ausbildung unterstützt werden.

Teaching at the AMT is as interdisciplinary as the AMT itself. Within the framework of lectures, exercises, workshops, labs or seminars, the institute is involved in 24 courses at RWTH Aachen University. The courses cover a wide range of fields, from fundamental courses at the beginning of the studies, such as mechanics or electrical engineering, to advanced courses at the end of the studies. In addition to these, courses such as Introduction to Matlab or Data Analytics for Heavy Duty Machinery, to teach the students how to acquire, analyze and evaluate data, are offered. Already at the beginning of their studies, the students are given the opportunity to gain practical insights through field trips and guest lectures to develop a comprehensive understanding of the complexities of mining. Thus, at the end of their studies, they are able to develop innovative solutions for the challenges of future mining.

Just as at other universities, the AMT had to convert all its courses, which had previously been predominantly face-to-face, to digital formats in the summer semester of 2020. To meet the challenges posed by the large number and diversity of courses in which the AMT is involved, the institute did not develop a uniform concept of digital teaching for all courses. Instead, individual concepts were developed that are tailored to the respective course, its objectives, and the students. In this way, the students can be supported in their education in the best possible way, even in these times.

MATLAB Mining & Energy Day

Ingenieurwissenschaftliche Studiengänge widmen sich seit Beginn an der Aufgabe, die Lücke zwischen notwendigen technischen Grundlagen und aktuellen weltweiten Fragestellungen und Problemen einer sicheren und nachhaltigen Rohstoff- und Energieversorgung zu schließen. Derzeitig steht die Rohstoffindustrie vor den komplexen Herausforderungen der vierten industriellen Revolution, und somit ist eine integrierte und kompetenzorientierte Lehre mit konkreten praxisorientierten Beispielen daher heute wichtiger denn je. Aus unserer Sicht müssen angehende Ingenieure immer mehr für die Relevanz von Daten innerhalb von Prozessen und Produkten sensibilisiert werden und lernen darin selbstständig die Potentiale zu erkennen. Aufbauend auf diesen zu erlernenden Kompetenzen soll bereits im Studium die Möglichkeit geschaffen werden, eigene Ideen praktisch zu softwarebasierten Lösungen von Problemen zu entwickeln

Zu diesem Zweck hat das AMT in Zusammenarbeit mit der MathWorks Academia Group an der RWTH Aachen am 19. Mai 2021 erstmals den MATLAB Mining & Energy Day veranstaltet. Das dreistündige, interaktive Online-Event umfasste fünf Kurzvorträge aus Industrie, Forschung und Lehre. Die Vorträge reichten von der Datenerfassung & Visualisierung, über die Simulation von Optimierungsprozessen im Bergbau bis hin zur Analyse von Energiedaten sowie Ansätzen der Sensordatenfusion zur Materialcharakterisierung und die Vorstellung eines neuartigen Pumpspeicherwerks als Leitbeispiel im Studium der Nachhaltigen Rohstoff- und Energieversorgung. Mit ca. 40 Teilnehmenden, aus unterschiedlichen Semestern und Studiengängen, konnten zudem in thematischen Break Out Sessions und einer abschließenden Diskussionsrunde wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung neuartiger Lehr- und Lernkonzepte gewonnen und wichtige Impulse gesetzt werden.

MATLAB Mining & Energy Day

From the very beginning, engineering courses have been dedicated to closing the gap between necessary technical fundamentals and current global issues and problems of a secure and sustainable raw material and energy supply. Currently, the raw materials industry is facing the complex challenges of the fourth industrial revolution, and thus integrated and competence-oriented teaching with concrete practice-oriented examples is now more important than ever. From our point of view, prospective engineers need to be increasingly sensitized to the relevance of data within processes and products and learn to recognize them independently. Building on these competencies to be learned, the opportunity to develop one's own ideas practically into software-based solutions to problems should already be created during the studies.

To this end, the AMT, in collaboration with the MathWorks Academia Group at RWTH Aachen University, has organized the first MATLAB Mining & Energy Day on May 19, 2021. The three-hour interactive online event included five short talks from industry, research, and academia. The presentations ranged from data acquisition & visualization, to simulation of optimization processes in mining, to analysis of energy data, as well as approaches to sensor data fusion for material characterization, and the presentation of a novel pumped storage plant as a leading example in the study of sustainable resource and energy supply. With about 40 participants, from different semesters and study courses, valuable insights for the development of novel teaching and learning concepts could be gained and important impulses could be set in thematic break-out sessions and a concluding discussion round.



MATLAB EXPO

Am 04.05.2021 fand die MATLAB EXPO statt. Aufgrund der Pandemie wurde die Veranstaltung in diesem Jahr erstmals digital, dafür aber weltweit, abgehalten. Ingenieure aus verschiedensten Disziplinen kommen auf dieser Veranstaltung zusammen und tauschen sich in Vorträgen und Diskussionen über technische Herausforderungen und softwarebasierte Lösungen aus.

Das AMT hat dieses Jahr den ganzheitlichen Lehr- und Lernansatz mit Hilfe ersten Prüfstand der zukünftigen Learning Factory Bergbau 4.0 auf der MATLAB EXPO im Vortrag „Holistic Learning by the Integration of a Test Rig into Engineering Teaching“ einem Publikum von über 100 live Zuhörern vorgestellt. An der Nachbildung eines Pumpspeicherkraftwerks sollen in Zukunft Studierende aus allen Semestern die theoretischen Grundlagen des Studiums vertiefen und anwenden. Vom „Hands-On-Approach“ der Verkabelung bis hin zur Automatisierung durch eine eigenes entwickelte MATLAB Programmbibliothek können Studierende unterschiedlichster Lernstände an diesem Prüfstand arbeiten und experimentieren. Durch die Demonstration technischer Grundlagen an einem für die Studierenden relevanten Beispiel erlangen die Studierenden nicht nur das notwendige Wissen, sie eignen sich darüber hinaus auch wertvolle Fähigkeiten an und bleiben über den gesamten Lernprozess hinweg motiviert. So lässt sich ein ganzheitlicher Lehransatz verfolgen, bei dem nicht nur die Inhalte einzelner Fächer vermittelt, sondern zudem die Zusammenhänge mehrerer Ingenieursdisziplinen deutlich und zugänglich gemacht werden. Beispielsweise lernen die Studierenden in den ersten Semestern die elektrotechnischen und mechanischen Grundlagen, die für das Verständnis der Prozesse eines Pumpspeicherkraftwerks erforderlich sind. Durch Experimente am Prüfstand kann dieses Wissen gefestigt werden, während Fehlannahmen auffallen und beseitigt werden. Im späteren Verlauf erlangen die Studierenden dann neben Kenntnissen der Regelungstechnik ebenfalls Programmierfähigkeiten. Mit diesen Kenntnissen sind sie schlussendlich in der Lage, theoretische Grundlagen mit dem Anwendungsfall zu verknüpfen und dessen Relevanz zu erkennen sowie darauf aufbauend den Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerks am Modell zu verstehen und selbständig zu implementieren.

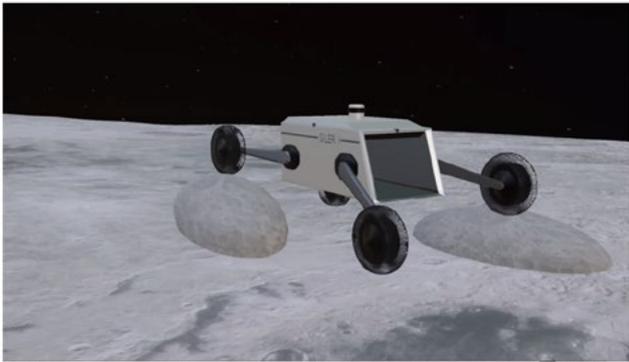
MATLAB EXPO

On 04.05.2021 the MATLAB EXPO took place. Due to the pandemic, this year's event was held online for the first time, but worldwide. Engineers from a wide range of disciplines come together at this event to share technical challenges and software-based solutions through presentations and discussions.

This year, the AMT presented the holistic teaching and learning approach with the help of the first test rig of the future Learning Factory Mining 4.0 at the MATLAB EXPO in the presentation „Holistic Learning by the Integration of a Test Rig into Engineering Teaching“ to an audience of over 100 live listeners. In future, students from all semesters will use the replica of a pumped storage power plant to deepen and apply the theoretical foundations of their studies. From the „hands-on approach“ of wiring to automation through an in-house developed MATLAB program library, students from a wide range of learning levels will be able to work and experiment on this test bed. By demonstrating technical fundamentals on an example relevant to the students, students not only gain the necessary knowledge, they also acquire valuable skills and remain motivated throughout the learning process. In this way, a holistic approach to teaching can be taken, in which not only the content of individual subjects is taught, but in addition the interrelationships of several engineering disciplines are made clear and accessible. For example, in the first semesters, students learn the electrical and mechanical fundamentals required to understand the processes of a pumped storage power plant. Experiments on the test stand allow this knowledge to be consolidated, while misconceptions are noticed and eliminated. Later in the course, students also acquire programming skills in addition to knowledge of control engineering. With this knowledge, they are ultimately able to link theoretical principles with the application and to recognize its relevance, as well as to understand and independently implement the operation of a pumped storage power plant on the model.

Durch Scannen des QR Codes
gelangen Sie zur Webseite mit den
Aufzeichnungen des Vortrags
By scanning the QR code you will
get to the website with the recordings of the lecture





09.02.2021 Regolith Mining - Project 2020/2021 SILER 10



Präsentation der Ergebnisse der MT-Plan Challenge zum Space Mining vor einem internationalen Expertengremium.
Presentation of the results of the MT-Plan Challenge on Space Mining to an international panel of experts.

Studierenden Challenges in der Lehre

Über Studierenden-Challenges geben wir unseren Studierenden schon im Studium die Gelegenheit selbständig Herausforderungen in einem Team zu lösen und damit aktiv den Bergbau der Zukunft zu gestalten. Innerhalb eines strukturierten Rahmens können die Studierenden in Teams die im Studium erworbenen Kompetenzen an realen Fragestellungen anwenden und ausbauen. Nachfolgend werden einige ausgewählte Challenges vorgestellt.

Im Rahmen der Veranstaltung „Maschinentechnische Planung von Betriebspunkten“ (MT-Plan) richtete das AMT im Wintersemester 2019-2020 gemeinsam mit der Eickhoff Bergbautechnik GmbH eine Challenge aus. Titel der Challenge war „Der Walzenlader der Zukunft“. In einem Design-Thinking Ansatz wählten die Studierenden die additive Fertigung als Schlüsseltechnologie für eine nutzerorientierte und flexible Ersatzteilerfertigung aus und stellten einen Business Case vor.

Im Jahr darauf entwarfen die Studierenden in MTPLan eine Bergbaumaschine zur Regolith-Gewinnung auf dem Mond. Der konzeptionierte S_craper _I_nspired _L_unar _E_xcavation _R_over (SILER) basiert auf einem einfachen, modularen und robusten Aufbau mit hoher Mobilität und wenigen beweglichen Teilen. Das entwickelte Konzept wurde auf der Poster Ausstellung der Space Ressources Week 2021 in Luxemburg vorgestellt.

Im Rahmen der Veranstaltung „Betriebsmittel für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe 2“ (BTM 2) im Sommersemester 2020 führte das AMT gemeinsam mit der K+S AG den Studierendenwettbewerb „The Sustainable Mine“ durch. Die teilnehmenden Studierenden untersuchten das Potenzial von batterieelektrischen Ladern im Vergleich zu Dieselladern anhand von realen Fallbeispielen in zwei Salzbergwerken in Deutschland.

Student challenges in teaching

Through student challenges, we give our students the opportunity to solve challenges independently in a team during their studies and thus actively shape the mining of the future. Within a structured framework, students can work in teams to apply and expand their skills to real-world problems. Some selected challenges are presented below.

As part of the course Maschinentechnische Planung von Betriebspunkten (MT-Plan) the AMT organized a challenge in the winter semester 2019-2020 together with Eickhoff Bergbautechnik GmbH. The title of the Challenge was „The shearer loader of the future.“ In a design-thinking approach, students selected additive manufacturing as a key technology for user-oriented and flexible spare parts production and presented a business case.

The following year, students designed, a mining machine for regolith extraction on the moon. The developed S_craper _I_nspired _L_unar _E_xcavation _R_over (SILER) is based on a simple, modular and robust concept with high mobility and few moving parts. The developed concept was presented at the Space Ressources Week 2021 in Luxembourg poster exhibition.

As part of the course „Betriebsmittel für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe 2“ (BTM 2) in the summer semester 2020, the AMT conducted the student competition „The Sustainable Mine“ together with K+S AG. The participating students were challenged to implement and evaluate the potential of battery-electric loaders compared to diesel loaders based on real case scenarios in two operating salt mines in Germany.



Transfer

Transfer

Auf dem Weg zum digital vernetzten, autonomen Bergwerk steht die Industrie vor einer Vielzahl von technischen Herausforderungen, sei es beispielsweise die Entwicklung robuster, bergbautauglicher Sensortechnik, die Nutzung moderner Verfahren der Datenverarbeitung und -visualisierung, die Steuerung und Regelung von Maschinen und Anlagen, u.a. über geeignete Mensch-Maschine- oder Maschine-Maschine-Schnittstellen, oder die Kommunikationstechnik.

Die Weiterentwicklung von „Advanced Mining Technologies“ im Sinne von Bergbau 4.0 mit der Vision eines digital vernetzten autonomen Bergwerks werden dazu beitragen, dass zukünftig heute technisch und / oder wirtschaftlich noch nicht gewinnbare Lagerstätten und Rohstoffe sicher, umweltschonend und wirtschaftlich nutzbar gemacht werden und somit langfristig neue Rohstoffpotentiale erschlossen werden können.

On the way to a digitally connected, autonomous mine, the industry faces a variety of technical challenges, such as, the development of robust sensor technology suitable for mining, the use of modern data processing and visualization methods, the control and regulation of machines and systems, including via suitable man-machine or machine-machine interfaces, or communication technology.

The further development of „Advanced Mining Technologies“ in the sense of Mining 4.0 with the vision of a digitally connected autonomous mine will contribute to making deposits and raw materials that are not yet technically and / or economically recoverable today safe, environmentally friendly and economically viable in the future, thus enabling new raw material potential to be tapped in the long term.

Genau hier leistet das Institute for Advanced Mining Technologies mit seinem interdisziplinären Team aus den Bereichen Bergbau, Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik in den Bereichen Forschung, Lehre und insbesondere auch im Bereich Transfer einen Beitrag zur Lösung der gesellschaftlichen Herausforderung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung.

Im Bereich Transfer strukturieren sich die Aktivitäten des AMT entlang von sechs Aktionsfeldern: 1) Schaffung von Innovationsräumen, 2) Förderung unternehmerischen Denkens und Handelns, 3) Unterstützung bei Existenzgründungen, 4) Unterstützung des Prinzips des lebenslangen Lernens, 5) Wirken in Gesellschaft, Kultur und Politik, und 6) Vernetzung und Kooperation.

Im Folgenden werden beispielhafte Aktivitäten und Projekte vorgestellt.

Reallabor Nivelstein – Eine reale Produktionsumgebung für industrienaher Forschung.

Um auch in Zukunft eine bedarfsgerechte Rohstoffförderung bei gleichzeitiger Ressourcenschonung hiesiger Lagerstätten mit Aspekten wie nachhaltigem Flächen-, Wasser- und Energiemanagement sowie einer Qualitätsoptimierung der geförderten und aufbereiteten Produkte vereinbaren zu können, bedarf es neuartiger Technologien und Lösungsansätze. Durch die Bündelung und Kooperation von Akteuren aus den Bereichen Bildung, Forschung und Industrie, können technologische Innovationen entstehen und langfristige Potentiale erreicht werden. Vor dem Hintergrund der regionalen Entwicklung des Rheinlandes wird hierdurch perspektivisch ein wichtiger Beitrag geleistet. Hinzu kommt, dass aufgrund einer nur geringen Anzahl an Mitarbeitern in Forschung und Entwicklung insbesondere kleine und mittelständische Rohstoffförderbetriebe die notwendige Entwicklungsarbeit nicht oder nur eingeschränkt leisten können. Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen hingegen fehlt zumeist der Zugang zu Betrieben im unmittelbaren Umfeld und zu aktiven Produktionsprozessen, um Technologien und Lösungsansätze unter relevanten Bedingungen zu entwickeln und zu evaluieren. Als Gründe hierfür sind sowohl der unterschiedliche Maßstab von Labor- und Realprozessen als auch die herausfordernden rauen Umgebungsbedingungen im Umfeld der Rohstoffgewinnung anzuführen.

Die Errichtung und Erprobung einer Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur in einem aktiven Rohstoffgewinnungsbetrieb ermöglicht damit potenziell vielfältige Möglichkeiten für die Erweiterung wissenschaftlicher Erkenntnisse und die Entwicklung von Innovationen der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, welche wiederum einen positiven Effekt in der gesamten nachfolgenden (lokalen) Wertschöpfungskette mit sich bringen.

It is precisely here that the Institute for Advanced Mining Technologies, with its interdisciplinary team from the fields of mining, mechanical engineering, electrical engineering and computer science, contributes to solving the societal challenge of a sustainable supply of raw materials in the areas of research, teaching and, in particular, in the area of transfer.

In the area of transfer, the activities of the AMT are structured along six fields of action: 1) creation of innovation spaces, 2) promotion of entrepreneurial thinking and action, 3) support for start-ups, 4) support for the principle of lifelong learning, 5) impact on society, culture and politics, and 6) networking and cooperation.

Exemplary activities and projects are presented below.

Living Lab Nivelstein – A realworld production environment for industry- related research.

In order to be able to reconcile demand-oriented raw material extraction with simultaneous resource conservation of local deposits with aspects such as sustainable land, water and energy management as well as quality optimization of the extracted and processed products in the future, novel technologies and solution approaches are required. Through the bundling and cooperation of actors from the fields of education, research and industry, technological innovations can emerge and long-term potentials can be achieved. Against the background of the regional development of the Rhineland, this will make an important contribution in perspective. In addition, due to only a small number of employees in research and development, small and medium-sized raw material extraction companies in particular are unable to carry out the necessary development work, or can do so only to a limited extent. Universities and other research institutions, on the other hand, usually lack access to companies in the immediate vicinity and to active production processes in order to develop and evaluate technologies and solution approaches under relevant conditions. The reasons for this are both the different scale of laboratory and real processes and the challenging harsh environmental conditions in the raw material extraction environment.

The establishment and testing of a research and development infrastructure in an active raw material extraction operation thus potentially enables a wide range of opportunities for the expansion of scientific knowledge and the development of innovations in raw material extraction and processing, which in turn bring a positive effect throughout the entire subsequent (local) value chain.



Blick aus der Forschungshalle des Reallabors Nivelstein in Richtung der größten PV- Anlage in NRW.
View from research hall of the Nivelstein sandbox towards the largest PV plant in NRW.

Das Ziel der Kooperation zwischen der RWTH Aachen University und der Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH, ist die erstmalige Errichtung einer Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur als Reallabor in einem aktiven Rohstoffgewinnungsbetrieb. Im Reallabor wird die Erforschung und Entwicklung von neuartigen Prozessen und Produkten für eine nachhaltige Rohstoffversorgung fokussiert. Physisch umfasst das Reallabor eine Forschungshalle sowie die Nutzung der Infrastruktur des realen Gewinnungsbetriebes. Ziel ist es,

- Forschung und Praxis eng miteinander zu verbinden,
- gemeinsam Forschungsvorhaben durchzuführen,
- eine kompetenzorientierte Hochschullehre sowie die
- Verbindung von theoretischen Inhalten mit praktischer Relevanz in der Lehre zu schaffen, sowie
- den Technologie- und Wissenstransfer zu unterstützen.

Auf Basis der Kooperation stellen die Nivelsteiner Sandwerke die Forschungshalle auf ihrem Betriebsgelände zur Verfügung, welche durch die RWTH Institute durch Mittel der RWTH internen Prep-Fund Förderung (PFKA0010) ausgestattet werden konnten. Die Halle verfügt über einen Technikumsbereich und einen angrenzenden Co-Working Space im Obergeschoss. Im Technikum können modulare Pilotanlagen mit aus Prozessgliedern der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung errichtet werden. Der Co-Working Space

The aim of the cooperation between RWTH Aachen University and Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH, is the first establishment of a research and development infrastructure as a living lab in an active open pit mine. In the living lab, the research and development of novel processes and products for a sustainable raw material supply is focused. Physically, the real laboratory comprises a research hall and the use of the infrastructure of the real extraction operation. The aim is to,

- to closely link research and practice
- to carry out joint research projects
- to create a competence-oriented university teaching
- as well as the connection of theoretical contents with practical relevance in teaching, as well as
- to support the transfer of technology and knowledge.

Based on the cooperation, the Nivelsteiner Sandwerke provide the research hall on their premises, which could be equipped by the RWTH institutes through funds of the RWTH internal Prep-Fund funding (PFKA0010). The hall has a pilot plant area and an adjacent co-working space on the upper floor. In the pilot plant, modular pilot plants can be set up with from process elements of raw material extraction and preparation. The co-working space, with its six open workstations, a break area and a meeting area, provides a space for regular research activities as well as workshops and

bietet mit seinen sechs offenen Arbeitsplätzen, einem Pausenbereich und einen Besprechungsbereich sowohl regelmäßigen Forschungstätigkeiten als auch Workshops und Lehrveranstaltungen einen Raum. In den vergangenen Monaten konnte ebenfalls eine moderne IT-Infrastruktur sowie die Basisausstattung für das Büro, den Werkstatt- sowie Laborbereich beschafft werden, sodass das Reallabor Nivelstein nahezu arbeitsfähig ist.

Inhaltlich und thematisch bieten sich am Standort Nivelstein ideale Möglichkeiten, um grundlegende Forschungsansätze für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Rohstoffgewinnung zu erforschen und weiterzuentwickeln. Hierbei handelt es sich um die Forschung und Entwicklung von

- autonomen Systemen für die Gewinnung von primären Rohstoffen,
- ressourcen- und energieeffizienten Systemen
- sowie klimaneutraler Systeme, Produkte und Dienstleistungen.

Ausgehend von Fragen der Datengewinnung in den einzelnen Prozessschritten ergeben sich vielfältige Forschungsfragen, die im Zusammenhang mit der Vernetzung von Maschinen und Prozessen, der Kommunikation von Maschinen untereinander und der Übertragung von Daten unter rauen Umgebungsbedingungen, also einigen Kernelementen der Digitalisierung, stehen.

Von einer sensorgestützten selektiven Gewinnung eines autonom agierenden Saugbaggers bis hin zu einer bedarfsgerecht gesteuerten und aus PV-Eigenleistung gespeisten Sandtrocknung, sind bereits zahlreiche konkrete Forschungsfragen der Kooperationspartner sowie weiterer potenziellen Partner gemeinsam identifiziert worden. Neben den Potentialen, die sich aus einer Vernetzung der Prozesse ergeben, bestehen vielfältige Möglichkeiten für die Optimierung der Prozesskette. Gewonnene Erkenntnisse lassen sich auf vielfältige Rohstoffgewinnungsbetriebe übertragen und auch außerhalb der Rohstoffindustrie anwenden. Für die Integration von erneuerbaren Energien in Bergbauunternehmungen sind die Partner aktuell in das sich in der Begutachtungsphase befindliche Projekt „Energiepark Herzogenrath – Aufbau der ersten CO₂-freien Energieversorgung einer mittelgroßen Stadt bis 2030“, das im Rahmen des Sofortprogramms PLUS bereits als sog. tragfähiges Vorhaben ausgezeichnet wurde, mit dem Teilprojekt „CO₂-neutrales Bergwerk“ involviert.

teaching events. In the past months, a modern IT infrastructure as well as the basic equipment for the office, the workshop and the laboratory area could be procured, so that the Reallabor (Living Lab) Nivelstein is almost ready for work.

In terms of content and topics, the Nivelstein site offers ideal opportunities for researching and developing fundamental research approaches for sustainable and responsible raw material extraction. These are:

- the development of autonomous systems for the extraction of primary raw materials,
- the development of resource- and energy-efficient systems,
- the development of climate-neutral systems, products and services.

Based on questions of data acquisition in the individual process steps, a wide range of research questions arise in connection with the networking of machines and processes, the communication of machines with each other and the transmission of data under harsh environmental conditions, i.e. some core elements of digitalization.

From a sensor-supported selective extraction of an autonomously acting suction dredger to a demand-controlled sand drying system fed by PV own power, numerous concrete research questions have already been jointly identified by the cooperation partners as well as other potential partners. In addition to the potentials arising from networking the processes, there are many opportunities for optimizing the process chain. Insights gained can be transferred to a wide range of raw material extraction operations and also applied outside the raw material industry. For the integration of renewable energies in mining operations, the partners are currently involved in the project „Energiepark Herzogenrath - Aufbau der ersten CO₂-freie Energieversorgung einer mittelgroßen Stadt bis 2030“ (Herzogenrath Energy Park - Establishment of the first CO₂-free energy supply for a medium-sized city by 2030), which has already been recognized as a viable project under the Immediate Action Program PLUS, with the sub-project „CO₂-neutral mine“.



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Mine ReWIR – Innovationsnetzwerk für Zulieferer und Dienstleister der rheinischen Braunkohlenindustrie

Das AMT ist Mitinitiator und Koordinator des Bündnisses „Mine ReWIR“, einem regionalen Innovationsbündnis für und mit direkt betroffenen Zulieferern und Dienstleistern der rheinischen Braunkohlenindustrie. Mine ReWIR hat das Ziel, diese Unternehmen mithilfe eines strukturierten Innovationsprozesses und durch die Bereitstellung unterschiedlicher Vernetzungsangebote von der Tradition in die Innovation zu begleiten und neue Partnerschaften zu ermöglichen. Hierbei spielt auch die Vernetzung mit Forschungspartnern und Hochschulen eine wichtige Rolle. Mine ReWIR kann die Hemmschwelle für Kooperationen mit neuen Partnern, wie es Hochschulen für diese KMUs zumeist sind, senken und Zugänge erleichtern. So können vorhandene Kompetenzen und Geschäftsmodelle weiterentwickelt werden und zugleich einen Beitrag leisten zur Realisierung der Zukunftsvision der Region als Modellregion für Klimaneutralität und neue Mobilität. Um dies zu erreichen, bietet das Mine ReWIR-Innovationsökosystem eine einmalige Plattform mit unternehmensnahen und maßgeschneiderten Angeboten zur Vernetzung, strategischen Begleitung sowie Entwicklung und Umsetzung von Innovationsprojekten. Das Bündnisteam hat bisher 378 direkt betroffene Unternehmen, fast ausschließlich KMUs, gemeinsam mit RWE Power AG identifiziert und es haben sich bereits mehr als 50 Partner im Netzwerk zusammengeschlossen, darunter direkt betroffene Unternehmen, RWE Power AG, Intermediäre, Forschungspartner und komplementäre Unternehmen zur Entwicklung neuer Geschäftsfelder, -modelle und -partnerschaften. Gemeinsam mit der Zukunftagentur Rheinisches Revier finden regelmäßige Netzwerkveranstaltungen in der Region statt. Das Netzwerk ist offen für weitere Partner. Mehr Informationen finden sich unter www.mine-rewir.de

Das Projekt wird unter dem Förderkennzeichen O3WIR6401A durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Projektpartner

AMT der RWTH Aachen (Koordinator), HumTec der RWTH Aachen, RWE Power AG, IHK Aachen, Fraunhofer INT, VDMA Mining, Fachverband Auslandsbergbau (FAB), Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH, WIN.DN GmbH, Roskopf GmbH, Nerospec SK, Vulkan Gruppe

Mine ReWIR - innovation network for suppliers and service providers to the rhenish lignite industry

The AMT is co-initiator and coordinator of the alliance „Mine ReWIR“, a regional innovation alliance for and with directly affected suppliers and service providers of the Rhenish lignite industry. Mine ReWIR aims to accompany these companies from tradition to innovation with the help of a structured innovation process and by providing various networking opportunities, and to facilitate new partnerships. Networking with research partners and universities also plays an important role here. Mine ReWIR can lower the threshold for cooperations with new partners, as universities mostly are for these SMEs, and facilitate access. In this way, existing competencies and business models can be further developed and at the same time contribute to the realization of the region's future vision as a model region for climate neutrality and new mobility. To achieve this, the Mine ReWIR-Innovation Ecosystem offers a unique platform with business-oriented and customized offers for networking, strategic support as well as development and implementation of innovation projects. The alliance team has so far identified 378 directly affected companies, almost exclusively SMEs, together with RWE Power and more than 50 partners have already joined the network, including directly affected companies, RWE Power, intermediaries, research partners and complementary companies to develop new business areas, models and partnerships. Regular network events are held in the region together with the „Zukunftagentur Rheinisches Revier“. The network is open to further partners. More information can be found at www.mine-rewir.de.

The project is funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) under the grant number O3WIR6401A.

Project partners

AMT of RWTH Aachen University (coordinator), HumTec of RWTH Aachen University, RWE Power AG, IHK Aachen, Fraunhofer INT, VDMA Mining, Fachverband Auslandsbergbau (FAB), Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH, WIN.DN GmbH, Roskopf GmbH, Nerospec SK, Vulkan Group

Exzellenz Start-up Center.NRW – Gestaltung des Fachinkubators Raw Materials

Im Rahmen der „Exzellenz Start-up Center.NRW“-Initiative werden im Umfeld der RWTH derzeit eine Reihe von Maßnahmen vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert, um den Technologietransfer über die Ausgründung von Start-Ups gezielt voranzutreiben. Erklärtes Ziel ist es, einen europaweit führenden Tech-Inkubator aufzubauen.

Dies beinhaltet nicht nur den physischen Aufbau des „Collective Incubator“ mit Büroräumen, Co-Workingspaces, Maker-Areas und Werkstätten, sondern darüber hinaus einen Aufbau von Angeboten durch die Professionalisierung der Gründungsberatung, die Erweiterung der individuellen Unterstützung für Gründer sowie die Vernetzung mit externen Unterstützern aus der Wirtschaft, wie z. B. Business Angels, Wagniskapital-Fonds, Start-ups, Unternehmen, Akzeleratoren, sowie Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Technologiezentren.

Ein Kernbereich des Exzellenz Start-up Center.NRW ist der Aufbau von fachspezifischen Verticals durch die RWTH Innovation in Kooperation mit RWTH Instituten aus den verschiedenen Fachbereichen. Dazu gehört auch das AMT für den Bereich Raw Materials. Diese Verticals haben das Ziel, die Lücke des technologischen Transfers zwischen Hochschulinstituten und Gründungsprogrammen mit einem themenspezifischen und gründungsstatusunabhängigen Angebot in verschiedenen Bereichen zu schließen und somit junge Unternehmen zu unterstützen. Diese sich im jeweiligen fachspezifischen Kontext im Aufbau befindlichen Verticals sehen eine enge Institutsanbindung mit Infrastruktur, Unterstützung in fachlichen Themen (z.B. Trends, Regulatorik, QM, etc.), Zugang zu fachspezifischer Finanzierung, ein eigenes Netzwerk zur Wachstumsförderung, Austausch mit Experten zu themenspezifischen Fragen, sowie ein fachspezifisches Netzwerk aller Beteiligten Akteure im Vertical vor. Diese Angebote werden für den Vertical „Raw Materials“ gemeinsam mit Partnern von der RWTH Innovation federführend vom AMT ausgestaltet.

Excellence Start-up Center.NRW - design of the raw materials incubator

As part of the „Excellence Start-up Center.NRW“ initiative, several measures are currently being funded in the vicinity of RWTH by the Ministry of Economic Affairs, Innovation, Digitalization and Energy (MWIDE) of the state of North Rhine-Westphalia to specifically promote technology transfer via the spin-off of start-ups. The declared goal is to establish a leading European tech incubator.

This includes not only the physical construction of the „Collective Incubator“ with office space, co-working spaces, maker areas and workshops, but also the development of services through the professionalization of start-up consulting, the expansion of individual support for founders, and networking with external supporters from the business community, such as business angels, venture capital funds, start-ups, companies, accelerators, as well as universities, research institutions and technology centers.

A core area of the Excellence Start-up Center.NRW is the development of subject-specific verticals by RWTH Innovation in cooperation with RWTH institutes from the various faculties. This also includes the AMT for the field of Raw Materials. These verticals aim to close the gap of technological transfer between university institutes and start-up programs with a topic-specific and start-up status-independent offer in various fields and thus support young companies. These verticals, which are currently being established in the respective subject-specific context, provide for a close connection with the institute's infrastructure, support in subject-specific topics (e.g. trends, regulation, QM, etc.), access to subject-specific financing, a dedicated network for promotion, exchange with experts on subject-specific issues, as well as a subject-specific network of all stakeholders in the vertical. AMT is in charge for designing these offers for the vertical „Raw Materials“ together with partners from the RWTH Innovation.



EXZELLENZ
**START-UP
CENTER**
NORDRHEIN-WESTFALEN



GMG – Globale Leitlinien für die Bergbauindustrie

Vor dem Hintergrund steigender Komplexität bergbaulicher Prozessintegration und Maschinenteknik, gewinnen die Aspekte Systeminteroperabilität, Industrievernetzung und -zusammenarbeit an Bedeutung. Als erste Forschungseinrichtung weltweit trat das AMT deshalb der Global Mining Guidelines-Initiative (GMG) bei und integriert dabei neue wissenschaftliche Erkenntnisse in die Arbeiten der GMG. Die GMG hat zum Ziel, technische Leitlinien zu aufkommenden Herausforderungen im Bergbau, wie die Elektrifizierung und Autonomisierung von Bergwerken, kollaborativ und integrativ zu entwickeln und dabei als offene Plattform für Industrie, Behörden und Forschung zu dienen. Die mittlerweile über hundert Mitglieder der GMG können dabei an verschiedenen Arbeitsgruppen, mit jeweils eigenem Themenschwerpunkt, teilnehmen und erarbeiten dort Ideen, Empfehlungen und Vorgaben für Industrieleitlinien, die auch Best-Practices für die Implementierung und Adaption neuer Technologien enthalten können. In der Folge werden die Leitlinien vom GMG offen einsehbar publiziert und bereitgestellt.

Auch das AMT nimmt an einer Reihe von Arbeitsgruppen teil, u.a. an der Autonomous Mine-Arbeitsgruppe und der Interoperability-Arbeitsgruppe. Der Austausch mit Industrie- und Forschungspartnern in diesen erweist sich stets als gewinnbringend. So kann das AMT dabei Erfahrungen aus Forschung und Wissenschaft einbringen und gleichzeitig Erkenntnisse hinsichtlich industrierelevanter Fragestellungen gewinnen. Das Ergebnis der Interoperability-Arbeitsgruppe, ein industrieeinheitliches Klassifikationsmodell für Maschinenzustände, findet überdies in einem Industrieprojekt gemeinsam mit dem VDMA Anwendung. Ziel des Projektes ist die Erstellung und Implementierung einer semantischen Kommunikationsschnittstellen für den Bergbau. Das AMT plant auch in Zukunft, sich weiterhin aktiv an den Arbeitsgruppen der GMG zu beteiligen.

GMG – global guidelines for the mining industry

Given the circumstances of an increasing complexity of mining process integration and machine technology, the aspects of system interoperability, industry networking and collaboration are becoming more and more important. Therefore, the AMT, as the first research institution worldwide, has joined the Global Mining Guidelines initiative (GMG), particularly to integrate the newest scientific insights into the work of the GMG. The GMG aims to develop technical guidelines for emerging challenges in mining, such as mine electrification and autonomization, in a collaborative and inclusive manner, thereby serving as an open platform for industry, government and research. The more than one hundred members of the GMG can participate in various working groups, each with its own thematic focus, to develop ideas, recommendations and specifications for industry guidelines, which can also include best practices for the implementation and adaptation of new technologies. Subsequently, the guidelines are published and made available for open access by the GMG.

The AMT also participates in a number of working groups, including the Autonomous Mine Working Group and the Interoperability Working Group. The exchange with industry and research partners in these groups has always proven to be productive, as the AMT can contribute innovative insights from research projects and, at the same time, attain knowledge of problems relevant to the mining industry. Moreover, the result of the Interoperability Working Group, an industry standard classification model for machine states is being applied and implemented in an industrial project together with the VMDA. The goal of the project is the creation and implementation of a semantic communication interface for the mining industry. The AMT also plans to actively participate in the GMG working groups in the future.



GERMAN MINING NETWORK

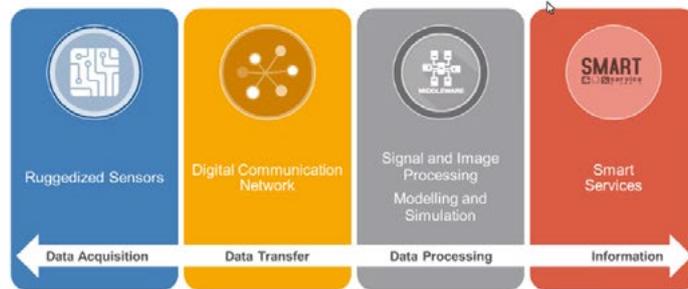
German Competence in Mining & Resources

German Mining Network – Vernetzung mit Unternehmen und Experten weltweit.

Das AMT koordiniert gemeinsam mit der AHK Chile das internationale German Mining Network und ist insbesondere für die Koordination der deutschen Partner zuständig. Das Netzwerk besteht aus acht internationalen Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe der Auslandshandelskammern (AHKs) in Australien, Brasilien, Chile, Ghana, Kanada, Kasachstan, Peru, Südlichem Afrika und China, sowie dem Deutsch-Mongolischen Unternehmensverband, der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) und Germany Trade and Invest (GTAI). Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt und flankiert die Aktivitäten des Netzwerks. Der Deutsche Industrie- und Handelskammertag (DIHK) hat eine koordinierende Rolle. Zudem gehören alle Verbände und Hochschulen mit Rohstoffbezug zu den erweiterten Partnern. Ziel des German Mining Networks ist es, deutschen Zulieferern der Bergbauindustrie und deutschen Unternehmen der Rohstoffverarbeitung eine zentrale Plattform bereitzustellen, über die innerhalb kurzer Zeit Marktinformationen und direkte Kontakte in allen relevanten Rohstoffländern bezogen werden können. Darüber hinaus bietet das German Mining Network Unternehmen Unterstützung beim Markteintritt oder bei der Suche nach Projekten oder Geschäftspartnern, sowie bei der Vermittlung von Forschungspartnern an und fördert die operative und strategische Zusammenarbeit zwischen Verbänden, Forschungseinrichtungen und weiteren Intermediären und Stakeholdern, die im Rohstoffsektor in Deutschland und international aktiv sind.

German mining network – networking with companies and experts worldwide.

Together with the AHK Chile, the AMT coordinates the international German Mining Network and is responsible in particular for coordinating the German partners. The network consists of eight international competence centers for mining and raw materials of the Chambers of Commerce Abroad (AHKs) in Australia, Brazil, Canada, Chile, Ghana, Kazakhstan, Peru, Southern Africa and China, as well as the German-Mongolian Business Association, the German Mineral Resources Agency (DERA) and Germany Trade and Invest (GTAI). The German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) supports and flanks the network's activities. The Association of German Chambers of Industry and Commerce (DIHK) has a coordinating role. In addition, all associations and universities related to raw materials are among the extended partners. The aim of the German Mining Network is to provide German suppliers to the mining industry and German companies involved in raw materials processing with a central platform through which market information and direct contacts in all relevant raw materials countries can be obtained within a short time. In addition, the German Mining Network offers companies support in entering the market or in finding projects or business partners, as well as in finding research partners, and promotes operational and strategic cooperation between associations, research institutions and other intermediaries and stakeholders active in the raw materials sector in Germany and internationally.



Vorstellung von Technologien im Bergbau bei MINT Schüler*innen.
Introducing mining technologies to STEM students.

Junge Köpfe für den Bergbau begeistern

Das AMT sieht es als eine wichtige Aufgabe an, junge Menschen für die nachhaltige Rohstoffgewinnung zu begeistern. Wir beteiligen uns mit großer Freude an vielen der durch die RWTH Aachen University organisierten Aktivitäten für Nachwuchswissenschaftler. Zu diesen Aktivitäten zählen die Kinderuni, das MINT-EC-Camp und die Schüleruni.

MINT-EC Camp

Das MINT-EC ist ein nationales Excellence-Netzwerk von Schulen der Sekundarstufen II mit einem mathematisch-naturwissenschaftlichen Schulprofil. Innerhalb dieses Netzwerkes sollen Schüler*innen mittels eines erstklassigen Angebots in ihrer Entwicklung gefördert und begleitet werden. Im Programm werden sogenannte MINT-EC Camps angeboten. Im Zuge dessen bietet auch die RWTH die Möglichkeit, an viertägigen Camps zu den MINT-Fächern teilzunehmen. Innerhalb der Camps wird ein Einblick in das Lehren, Forschen und Arbeiten an der Universität gegeben. Der Schwerpunkt lag 2021 auf dem Rohstoffkreislauf – von der Aufsuchung einer Lagerstätte, über die Gewinnung und Aufbereitung, bis hin zur Produktion und dem anschließenden Recycling. Das AMT gewährte innerhalb des MINT-EC Camps Sustainability in Resource Engineering Einblicke in die aktuellen Forschungsarbeit und die Thematiken am Institut. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Notwendigkeit und der Umsetzung des Bergbaus 4.0 sowie den technischen innovativen Lösungen von morgen. Dabei entstanden interessante Diskussionen über die technischen Möglichkeiten der Zukunft und die gesellschaftliche Verantwortung der primären Rohstoffgewinnung.

Exciting young minds for mining

The AMT considers it an important task to inspire young people for sustainable raw material extraction. We take great pleasure in participating in many the activities for young scientists organized by RWTH Aachen University. These activities include the Kids University, the MINT-EC Camp and the Pupil University.

MINT-EC Camp

MINT-EC is a national excellence network of upper secondary schools with a mathematics and science profile. Within this network, students are supported and accompanied in their development by means of a first-class program. The program offers so-called MINT-EC camps. In the course of this, RWTH also offers the opportunity to participate in four-day camps on the MINT subjects. Within these camps, an insight into teaching, research and working at the university is given. In 2021, the focus was on the raw materials cycle - from the exploration of a deposit, to extraction and processing, to production and subsequent recycling. Within the MINT-EC Camp Sustainability in Resource Engineering, the AMT provided insights into the current research work and topics at the institute. The focus was on implementing Mining 4.0 and technological innovations of tomorrow. Interesting discussions arose about the technical possibilities of the future and the social responsibility of primary resource extraction.

Schüleruni

Jährlich laden die Fachgruppen Rohstoffe und Entsorgungstechnik, und Materialwissenschaft und Werkstofftechnik der RWTH Aachen alle interessierten Schülerinnen und Schüler zu spannenden Tagen rund um den Bereich nachhaltiges Gewinnen, Verarbeiten und Recyceln von Rohstoffen ein. Innerhalb dieses Programms bot das AMT 2021 mit dem Rahmenthema „Der Einsatz von smarten Technologien in der primären Rohstoffgewinnung“ einen Einblick in die Ausrichtung der angebotenen Lehrfächer des Studienfaches „Nachhaltige Rohstoff und Energieversorgung“ und den Forschungsschwerpunkten des Instituts. Hierbei sollte nicht nur die nationale und internationale Relevanz der Rohstoffgewinnung, sondern auch eine Vision für die Rohstoffgewinnung der Zukunft aufgezeigt werden.

Kinderuni

In der Kinderuni erklären Professorinnen und Professoren der RWTH kindgerecht Themen aus Wissenschaft und Forschung. Wir haben in den Jahren 2020 und 2021 einen Beitrag für die Kinderuni gestaltet. Im Jahr 2020 haben wir eine virtuelle Karte (<https://bit.ly/3IYjAY0>) und ein Video erstellt, mit denen es den teilnehmenden Kindern möglich war, die Bedeutsamkeit der Region Aachen für die Gewinnung von Rohstoffen nachzuvollziehen. Im Jahr 2021 haben sich die Kinder in einem Video gemeinsam mit Professorin Clausen auf die Spuren einiger Rohstoffe begeben, die ihnen in ihrem Alltag begegnen.

Pupils University

Every year, the Divisions of Mineral Resources and Raw Materials Engineering, and Materials Science and Engineering of RWTH Aachen invite all interested pupils to participate in exciting days on the topic of sustainable extraction, processing and recycling of raw materials. Within this program, the AMT participated in 2021 with the topic “the use of smart technologies in primary raw material extraction” an insight into the orientation of the offered subjects of the study subject Sustainable Raw Material and Energy Supply and the research focus of the institute. The aim was not only to show the national and international relevance of raw material extraction, but also a vision for the raw material extraction of the future.

Kids University

At the Kids University, RWTH professors explain topics from science and research in a way that is suitable for children. We designed one of the contributions for the Kids University in 2020 and 2021. In 2020, we created a virtual map (<https://bit.ly/3IYjAY0>) and a video that enabled the participating children to understand the importance of the Aachen region for the extraction of raw materials. In 2021, the children, together with Professor Clausen, went on the trail of some of the raw materials they encounter in their everyday lives in a video.



Industrienah und International: AMT Fachkonferenzen

Industry-oriented and International: AMT Conferences

Das AMT veranstaltet jährlich eine industrienaher Fachkonferenz, um praxisnah aktuelle Fragestellungen des modernen Bergbaus zu thematisieren, und um durch internationale Praxisberichte Beispiele dafür aufzuzeigen, wie das Bergwerk der Zukunft als digital integriert und vernetzt, autonom, produktiv und rentabel, sicher und gesellschaftlich akzeptiert mit minimalen Umweltauswirkungen konkret realisiert werden kann. Dabei wechseln sich zwei Formate ab, die Smart Mining Conference (SMC) und die International Conference on High Performance Mining (HPM).

Die SMC thematisiert zentrale Herausforderungen und Lösungen für die Digitalisierung und Automatisierung in der modernen Bergbauindustrie mit Schwerpunkt auf technologischen Anwendungen. Sie präsentiert erprobte Lösungen und neue Anwendungen für „Smart Mining“ heute.

Die HPM bietet eine internationale Plattform zum Austausch über zentrale Zukunftsthemen eines zukunftsfähigen modernen Hochleistungsbergbaus in den Aspekten Automatisierung und Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Soziales. Präsentationen fokussieren auf Case Studies von Betreibern oder erfolgreichen Transformationsprojekten, die von Betreibern gemeinsam mit Technologieanbietern vorgestellt werden.

Sowohl die HPM als auch die SMC bieten eine Plattform für den Austausch über aktuelle Trends und zukunftsweise Anwendungen und Strategien im internationalen Bergbau, wo sich Bergbauunternehmen und Technologieanbieter mit Forschungseinrichtungen und Verbänden über Herausforderungen, Lösungen und Erfolgsfaktoren austauschen können. Jedes Jahr nehmen Delegationen aus verschiedenen Bergbaunationen der Welt, wie z.B. Chile, Peru, Afrika, Australien oder Kanada an der SMC oder HPM teil.

The AMT organizes an annual industry-oriented conference to address current issues in modern mining in a practical way and to show examples through international practical reports of how the mine of the future can be realized in concrete terms as digitally integrated and connected, autonomous, productive and profitable, safe and socially accepted with minimal environmental impact. Two formats alternate, the Smart Mining Conference (SMC) and the International Conference on High Performance Mining (HPM).

The SMC addresses key challenges and solutions for digitalization and automation in the modern mining industry with a focus on technological applications. It presents proven solutions and new applications for „smart mining“ today.

HPM provides an international platform for exchange on key future topics of a sustainable modern high-performance mining industry in the aspects of automation and digitization, sustainability and social issues. Presentations focus on case studies of operators or successful transformation projects presented by operators together with technology providers.

Both HPM and SMC provide a platform for exchange on current trends and future-oriented applications and strategies in international mining, where mining companies and technology providers can exchange ideas with research institutions and associations on challenges, solutions and success factors. Every year, delegations from different mining nations around the world, such as Chile, Peru, Africa, Australia or Canada participate in the SMC or HPM.



Advanced Mining Technologies

RWTH AACHEN UNIVERSITY



Smart Mining Conference (SMC)

Im Jahr 2021 fand die SMC am 17.-18.11.2021 als digitale Konferenz statt. Die SMC2021 hat eine Standortbestimmung des internationalen Bergbaus vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie und aktuelle Entwicklungen und Ansätze für das intelligente Bergwerk der Zukunft aufgezeigt. Dieses Bergwerk, das hat uns die Pandemie noch einmal verdeutlicht, kann nicht nur auf technologischen Fortschritt setzen, sondern muss auch die Bereiche intelligente Arbeitsstrategien, Dekarbonisierung, Nachhaltigkeit, Vertrauen und Zusammenarbeit stärker denn je berücksichtigen. Zur ersten SMC 2019 kamen etwa 200 nationale und internationale Teilnehmer und eine Delegation aus Kanada nach Aachen. Die kanadische Delegation präsentierte während dem Canada-Day am ersten Konferenztag unterschiedliche Anwendungsbeispiele für Smarte Technologien.

Der Schwerpunkt der Smart Mining Conference (SMC) liegt auf Best-Practice Beispielen, anhand derer unterschiedliche Ansätze zur Digitalisierung und Automatisierung von Bergwerksprozessen, im Schwerpunkt aus Sicht von Technologieanbietern, beleuchtet werden. Dadurch wird praxisnah dargestellt, mit welchen Prioritäten und langfristigen Visionen internationale Bergbauunternehmen, Maschi-

Smart Mining Conference (SMC)

In 2021, SMC was held as a digital conference on Nov. 17-18, 2021. SMC2021 took stock of the state of international mining against the backdrop of the Corona pandemic and highlighted current developments and approaches for the smart mine of the future. This mine, as the pandemic has made clear to us once again, cannot only rely on technological progress, but must also take into account the areas of smart working strategies, decarbonization, sustainability, trust and collaboration more than ever before. The first SMC 2019 was attended by about 200 national and international participants and a delegation from Canada to Aachen. The Canadian delegation presented different application examples for smart technologies during the Canada Day on the first day of the conference.

The focus of the Smart Mining Conference (SMC) is on best practice examples, which will be used to highlight different approaches to the digitization and automation of mining processes, primarily from the perspective of technology providers. This provides a practical illustration of the priorities and long-term visions with which international mining companies, machine manufacturers and IT companies are meeting the challenges and opportunities of digitization and auto-

nenhersteller und IT-Unternehmen den Herausforderungen und Chancen der Digitalisierung und Automatisierung im Bergbau begegnen. Smart Mining beinhaltet in diesem Zusammenhang jedoch 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 Digitalisierung und Automatisierung von Bergwerksprozessen langfristige und nachhaltige Wertschöpfung schaffen können. 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? Welche weiteren Einflussfaktoren für eine erfolgreiche Transformation müssen in Zukunft noch stärker als bisher berücksichtigt werden?

Die SMC findet jedes zweite Jahr statt. Die nächste SMC wird 2023 stattfinden.

mation in mining. In this context, however, smart mining includes not only the interaction of data generation, data evaluation and data use in mines, but also the interaction of technology, process, people and environment. This also includes the question of how digitization and automation of mining processes can create long-term and sustainable value. Important guiding questions of the conference are therefore: What challenges and opportunities does digitization present for the mining industry? What impact are digitization and automation having on mine operations? What will the mine of the future look like? Where is the mining industry on the path to Mining 4.0? What other influencing factors for a successful transformation will have to be considered even more strongly than before?

The SMC takes place every second year. The next SMC will take place in 2023.



High-Performance Mining Conference (HPM)

Der Schwerpunkt der High-Performance Mining Conference (HPM) liegt auf internationalen Praxisberichten zu erfolgreichen Transformationsprojekten, die zeigen, wie Digitalisierung und Automatisierung unter Berücksichtigung sozialer und ökologischer Gesichtspunkte gelingen und ein zukunftsfähiger Bergbau realisiert werden kann. Neben aktuellen internationalen Trends werden konkrete Projekte von internationalen Bergbaubetreibern, ggf. gemeinsam mit Technologieanbietern, vorgestellt.

Auch die HPM zeigt praxisnah auf, mit welchen Prioritäten und langfristigen Visionen internationale Bergbauunternehmen, Maschinenhersteller und IT-Unternehmen den Herausforderungen und Chancen eines zukunfts- und wettbewerbsfähigen Bergbaus begegnen. High-Performance Mining beinhaltet in diesem Zusammenhang nicht nur die Steigerung von Effizienz und Produktivität durch die Optimierung von bestehenden Prozessen und die Reduktion von Kosten, sondern die Meisterung des Zusammenspiels von Technologie, Prozess, Mensch und Umwelt und die Betrachtung von erfolgreichen oder zukunftsweisenden Ansätzen und Möglichkeiten, einen sozial- und umweltverträglichen und zugleich profitablen Bergbau zu realisieren.

Wichtige Leitfragen der Konferenz sind daher: Wie kann die Vision eines zukunftsfähigen Bergbaus konkret realisiert werden? Von welchen internationalen Benchmark Projekten können wir lernen? Welche Hindernisse müssen überwunden werden und wie können Herausforderungen für erfolgreiche Transformationen gemeistert werden? Wie können Technologie, Umwelt und Soziales erfolgreich zusammenwirken, um den internationalen Bergbau langfristig wettbewerbsfähig zu halten?

Im Jahr 2020 fand die HPM vom 16.-19.11. erstmals digital statt mit etwa 180 nationalen und internationalen Teilnehmenden. Als Länderschwerpunkt präsentierte der South-America Day eine Reihe spannender Projekte aus Peru und Chile. Die weiteren Konferenztage präsentierten aktuelle Entwicklungen in den zentralen Bereichen des Bergwerks der Zukunft, Technologie, Umwelt und Soziales unter den Session Titeln: The Autonomous Mine, The Green Mine, and the People's Mine. Zur ersten HPM 2018 waren gut 200 Teilnehmer aus etwa 20 Ländern nach Aachen gekommen, um den Auftakt dieses neuartigen Konferenzformats mitzuerleben.

High-Performance Mining Conference (HPM)

The focus of the High-Performance Mining Conference (HPM) is on international practical reports on successful transformation projects that show how digitization and automation can succeed while taking social and ecological aspects into account and how sustainable mining can be realized. In addition to current international trends, concrete projects from international mining operators, possibly together with technology providers, will be presented.

HPM will also provide a practical demonstration of the priorities and long-term visions with which international mining companies, machine manufacturers and IT companies are meeting the challenges and opportunities of future-proof and competitive mining. In this context, high-performance mining does not only include increasing efficiency and productivity by optimizing existing processes and reducing costs, but also mastering the interplay of technology, process, people and environment and looking at successful or forward-looking approaches and possibilities to realize a socially and environmentally compatible and at the same time profitable mining.

Important guiding questions of the conference are therefore: How can the vision of a sustainable mining industry be realized in concrete terms? From which international benchmark projects can we learn? Which obstacles must be overcome and how can challenges for successful transformations be mastered? How can technology, environment and social issues successfully interact to keep international mining competitive in the long term?

In 2020, HPM was held digitally for the first time from Nov. 16-19 with about 180 national and international participants. As a country focus, the South-America Day presented a number of exciting projects from Peru and Chile. The other conference days presented current developments in the key areas of the mine of the future, technology, environment and social issues under the session titles: The Autonomous Mine, The Green Mine, and the People's Mine. A good 200 participants from around 20 countries came to Aachen for the first HPM 2018 to witness the launch of this novel conference format.

Preise und Auszeichnungen

Awards

FAMOS für Familie

Jedes Jahr werden an der RWTH Aachen Führungskräfte mit dem Preis „FAMOS für Familie“ ausgezeichnet, welche sich durch ihren Führungsstil besonders für die Vereinbarkeit von Beruf und Familie einsetzen.

Dabei ist die erste Hürde bereits die Nominierung. Damit eine Führungskraft für den Preis überhaupt in Betracht gezogen wird muss diese von den Mitarbeitenden bei der Jury des Familienservice der Hochschule vorgeschlagen werden. Teil dieses Vorschlags ist zudem eine Begründung, warum gerade diese Führungskraft den Preis verdient hat. So wird auch wirklich nur bei der Preisvergabe berücksichtigt, wer die volle Unterstützung seiner Mitarbeitenden hat.

“FAMOS” for Family

Every year, RWTH Aachen University awards the “FAMOS for Family” award to professors and other executive directors whose leadership style makes a particular contribution to the compatibility of work and family.

The first hurdle is already the nomination. In order for a manager to be considered for the award, he or she must be proposed by the employees to the jury of the university's family service. Part of this proposal is also a justification of why this particular manager deserves the award. In this way, only those who have the full support of their employees will really be considered for the award.





Das AMT Team feiert die „Famos für Familie“ Preisverleihung beim geselligen Grillnachmittag.
The AMT team celebrates the „Famos for Family“ award ceremony at a social barbecue afternoon.

Diese Unterstützung hat Prof. Clausen. Viele Mitarbeitende des Institute for Advanced Mining Technologies sind junge oder werdende Eltern und sind überzeugt davon, dass Prof. Clausen stets ein offenes Ohr für ihre familiären Belange hat und besonders auch im Alltag pragmatische Lösungen findet, die Dinge möglich und vereinbar machen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass aus den Reihen der AMT Mitarbeitenden nicht nur eine, sondern gleich drei Nominierungsschreiben bei der Jury des Familienservice eingegangen sind.

Am Ende waren nicht nur ihre Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen von ihrem familienfreundlichen Führungsstil überzeugt. Die Jury hat Prof. Clausen, zusammen mit fünf anderen Führungskräften, den Preis „FAMOS für Familie“ verliehen. Die Preisverleihung am 21.06.2021 erfolgte pandemiekonform im digitalen Rahmen. Als Dank für das ihr entgegengebrachte Vertrauen hat sich Prof. Clausen dazu entschlossen, das Preisgeld in ein Sommerfest für ihre Mitarbeitenden und deren Angehörige zu investieren.

Prof. Clausen has this support. Many employees of the Institute for Advanced Mining Technologies are young or expectant parents and are convinced that Prof. Clausen always has an ear for their family concerns and, especially in everyday life, finds pragmatic solutions. It is therefore not surprising that not just one, but three letters of nomination were received by the Family Service jury from the ranks of AMT employees.

In the end, it was not only her employees who were convinced of her family-friendly management style. The jury awarded Prof. Clausen, along with five other managers, the “FAMOS for Family” prize. The award ceremony on June 21, 2021, took place in a digital setting in line with the pandemic. As a thank you for the trust placed in her, Prof. Clausen has decided to invest the prize money in a summer party for her employees and their families.



GDMB-Förderpreis

Im Oktober 2021 verlieh die Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e.V. den GDMB-Förderpreis 2021 an Moritz Ziegler für seine Masterarbeit im Bereich der untertägigen UWB-Positionierung. Die mit 3000 € dotierte Auszeichnung wird jedes Jahr an eine/n Jungingenieur/-in verliehen, deren herausragende Arbeit einen konstruktiven Beitrag zu den Fachbereichen des GDMB liefert. Herr Ziegler ist gegenwärtig als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand beim AMT angestellt.

GDMB-Förderpreis

In October 2021, the Society of Metallurgists and Miners e.V. gave the GDMB award 2021 to Moritz Ziegler for his master's thesis in the field of underground UWB positioning. The €3000 award is presented each year to a young engineer whose outstanding work makes a contribution to the GDMB's fields of expertise. Mr. Ziegler is currently employed as a research associate and doctoral student at the AMT.

Deutscher Rohstoffeffizienz-Preis

Alle zwei Jahre verleiht die Bundesagentur für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) den deutschen Rohstoffeffizienzpreis. Ausgezeichnet werden dabei herausragende Beispiele zur Erhöhung der Rohstoff- und Materialeffizienz aus Industrie und Forschung.

Im Jahr 2020 haben das Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), zusammen mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR), den deutschen Rohstoffeffizienzpreis für die Ergebnisse des national durch die AiF geförderten Projekts „Entwicklung eines Onlinemesssystems zur Materialstromcharakterisierung in Aufbereitungsanlagen der Gipsindustrie“ erhalten. In diesem Projekt wurde ein System entwickelt, mit welchem sich Gips und Anhydrit auf einem Förderband in-line unterscheiden lassen. Dabei wird der Gipsgehalt mit einer Präzision von 2,5% und einer zeitlichen Auflösung von 5 Sekunden bestimmt. Klassischer Weise wird diese Bestimmung des Reinheitsgrades durch Laboranalysen von Probenmaterial realisiert. Eine Analyse nimmt in der Regel 15 Minuten in An-

German Raw Material Efficiency Award

Every two years, the German Federal Agency for Geosciences and Natural Resources (BGR) awards the German Raw Materials Efficiency Prize. The award honors outstanding examples of increasing raw material and material efficiency from industry and research.

In 2020, the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), together with the Unit of Mineral Processing (AMR), received the German Raw Material Efficiency Award for the results of the national AiF-funded project „Development of an online measurement system for material flow characterization in processing plants of the gypsum industry“. In this project, a system was developed with which gypsum and anhydrite can be differentiated in-line on a conveyor belt. The gypsum content is determined with a precision of 2.5% and a temporal resolution of 5 seconds. Classically, this determination of the degree of purity is realized by laboratory analysis of sample material. An analysis usually takes 15 minutes, in addition to the time required for sampling and transporting the material to the laboratory. Thus, the system represents a valuable

spruch, zusätzlich zu dem Zeitaufwand für Probenahme und Transport des Materials ins Labor. Somit stellt das System eine wertvolle Ergänzung zu den bisherigen Bestimmungsverfahren in der Gipsindustrie dar.

Aufgrund des anstehenden Kohleausstiegs fällt in Zukunft mit dem Gips der Rauchgasentschwefelung (REA-Gips) ein wichtiger Rohstoff der Gipsindustrie weg. Da für viele Gipsprodukte eine Mindestanforderung an den Gipsrohstoff gestellt wird, dieser aber natürlich auftretenden Schwankungen der Lagerstätte unterworfen ist, wird bisher REA-Gips zur Erreichung dieser Mindestanforderungen beigemischt. Durch das im Projekt entwickelte System ist eine bessere Überwachung der Gipsreinheit möglich, womit die Anforderungen auch durch eine bessere Prozesssteuerung erreicht werden können.

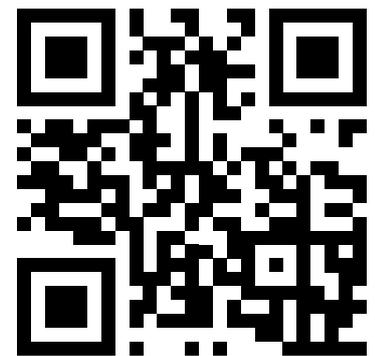
Im Zuge der Nominierung zum DREP wurde folgendes Video aufgezeichnet:
<https://bit.ly/3oDI0iD>

addition to the existing determination methods in the gypsum industry.

Due to the upcoming coal phase-out, gypsum from flue gas desulfurization (FGD gypsum), an important raw material for the gypsum industry, will be eliminated in the future. Since for many gypsum products a minimum requirement is set for the gypsum raw material, but this is subject to naturally occurring fluctuations in the deposit, REA gypsum has so far been added to achieve these minimum requirements. The system developed in the project enables better monitoring of the gypsum purity, which means that the requirements can also be achieved through better process control.

In the course of the nomination to the DREP, the following video was recorded:

<https://bit.ly/3oDI0iD>



Durch Scannen des QR Codes gelangen Sie zum Video
 By scanning the QR code you will get to the Video



Promotionen

Dissertations

Ein Beitrag zur untertägigen Navigation von mobilen Maschinen

Dr.-Ing. Tobias Hartmann

Die Automatisierung der untertägigen Navigation von mobilen Maschinen in der Rohstoffgewinnung stellt eine große technische Herausforderung dar. Existierende Systeme navigieren nur unter sehr eingeschränkten Randbedingungen selbstständig. Aktuelle Entwicklungen von neuartigen und prinzipiell geeigneten Sensoren und Algorithmen in Kombination mit leistungsfähigen Kompaktrechner- und Netzwerktechnik eröffnen ein Potential zur Steigerung des Automatisierungsgrads bei der untertägigen Navigation.

Innerhalb der Dissertation von T. Hartmann werden neuartige Navigationsautomatisierungsgrade zur Einstufung von navigierenden Systemen im Bergbau definiert. In diesen als Level of Mine Navigation Automation (LoMNA) bezeichneten Automatisierungsgraden werden existierende Systeme eingestuft.

Unter Berücksichtigung der Besonderheiten der untertägigen Umgebung für die Navigation wird beispielhaft eine Systemarchitektur basierend auf neuartiger Sensorik, Algorithmen und Rechnertechnik entwickelt und in einem Navigationssystem umgesetzt. Das Navigationssystem wird in der untertägigen Umgebung eines aktiven Orterbaus getestet und evaluiert. Hierbei konnte ein neuartiger Grad der selbstständigen, flexiblen, dynamischen Navigation in einer untertägigen Bergbauumgebung demonstriert werden.

Diese Arbeit zeigt das existierende technische Potential zur Steigerung des Automatisierungsgrades der untertägigen Navigation von mobilen Maschinen auf. Gleichzeitig werden die technischen Grenzen dessen und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Lösungsansätze deutlich.

A contribution to underground navigation of mobile machines

Dr.-Ing. Tobias Hartmann

The automation of underground navigation of mobile machines in raw material extraction is a major technological challenge. Existing systems can only navigate independently under very limited constraints. Current developments of novel and in principle suitable sensors and algorithms in combination with high-performance computers and network technology open up a potential for increasing the degree of automation in underground navigation.

Within the Dissertation by T. Hartmann, new levels of navigation automation are defined for the classification of navigating systems in mining. Existing systems are classified in these Levels of Mine Navigation Automation (LoMNA).

Considering the special characteristics of the underground environment for navigation, a system architecture based on novel sensors, algorithms and computer technology is developed and implemented in a navigation system. The navigation system is tested and evaluated in the underground environment of an active mining site. A novel degree of autonomous, flexible, dynamic navigation in an underground mining environment is demonstrated.

This work shows the existing technological potential for increasing the degree of automation of the underground navigation of mobile machines. At the same time, the technological limits and the potential to further develop the solution approaches become clear.

Entwicklung eines Condition-Monitoring-Systems auf Basis einer Belastungsanalyse am Beispiel eines Beraubers

Dr.-Ing. Christian Niedringhaus

Bedingt durch das globale Wachstum steigt der weltweite Bedarf an Rohstoffen stetig an. Während in der Vergangenheit durch die Mechanisierung des Bergbaus Effizienzsteigerungen in der Rohstoffgewinnung erreicht werden konnten, steht heutzutage die Automatisierung und Digitalisierung im Fokus der Entwicklung. Grundlegende Bedingung für die Erhöhung des Automatisierungsgrads von Gewinnungsmaschinen ist die Erfassung und Überwachung von Prozessinformationen. Bei vielen am Markt etablierten Maschinen sind die Prozesslasten nicht hinreichend bekannt. Insbesondere im Hinblick auf die voranschreitende Automatisierung muss dieser Umstand in den Fokus gerückt werden. Kritische Betriebssituationen können erst durch die Erfassung der tatsächlich auftretenden Prozesslasten und die Entwicklung eines geeigneten Warnsystems aufgedeckt und vermieden werden. Für viele Maschinen im Bereich des Bergbaus wurde dieser Ansatz noch nicht konsequent verfolgt. In der vorliegenden Arbeit wird die systematische Entwicklung eines Condition-Monitoring-Systems am Beispiel eines Beraubers vorgestellt. Im Fokus der Betrachtung liegt dabei die mechanische Struktur der Maschine. Zunächst wird das Verfahren des Beraubens sowie die Maschinenteknik näher vorgestellt. Auf Basis einer Betriebsmessung werden die Prozesslasten erfasst und in verschiedene Arbeitsmodi separiert. Die Analyse des Systems bildet die Grundlage zur Entwicklung eines Condition-Monitoring-Systems. Neben den Algorithmen zur Bewertung der Betriebszustände wird ein Messsystem zur permanenten Erfassung der relevanten Messdaten vorgestellt. Sowohl die Algorithmen als auch das Messsystem werden anhand von Labortests bzw. auf Grundlage der aus den Betriebsmessung hervorgehenden Messdaten verifiziert.

Development of a condition monitoring system based on a stress analysis using the example of a scaler

Dr.-Ing. Christian Niedringhaus

Due to global growth, the worldwide demand for raw materials is steadily increasing. In the past, efficiency gains could be gained through the mechanization of mining. Today, automation and digitization are being focused. A fundamental requirement for increasing the level of automation in mining is the collection and monitoring of process information. This is the only way to ensure that the machines are optimally utilized without being exposed to excessive wear due to high loads. For many machines established on the market, the process loads are still not well known. In particular with regard to the progressing automation, this circumstance must be brought into focus by the machine manufacturers. Critical operating situations can only be detected and avoided by recording the actual process loads and developing a suitable warning system. For many machines in the mining sector, this approach has not yet been consequently applied. In the present work the systematic development of a condition monitoring system for a scaler is presented. The focus is set on the mechanical structure of the machine. First, the process of scaling and the underlying machine technology is presented in detail. Based on a measurement, the process loads are recorded and separated into different working modes. The analysis of the system provides the basis for the development of a condition monitoring system. The development of the condition monitoring system is presented in two steps: development of algorithms for evaluating the working modes and a measuring system for permanent recording of the relevant measurement data is presented.. Both, the algorithms and the measuring system, are verified by means of laboratory tests and based on the measurement data resulting from the operational measurement. The essential findings with regard to the development of the condition monitoring system are summarized and discussed. Finally, an outlook for the optimization potentials of the developed system is given.

Entwicklung und Validierung eines Konzepts zur Gesteinscharakterisierung mittels Infrarotthermographie

Dr.-Ing. Britta Philipp

Das Bergwerk der Zukunft soll effizient, sicher und nachhaltig sein. Einen Beitrag hierzu kann die selektive Gewinnung leisten. Selektives Sprengen des Gesteins in verschiedene Fraktionen ermöglicht die Klassierung des Haufwerks bereits untertage. Die einzelnen Produktfraktionen können zielgerichtet weiterverarbeitet und Nebengestein frühzeitig abgetrennt werden.

Voraussetzung für den Einsatz selektiver Sprengmethoden ist die ortsaufgelöste Kenntnis über die anstehende Geologie. Kann die Geologie am Stoß sensorisch erfasst und charakterisiert werden, reduziert dies Aufenthalte des Personals im Gefährdungsbereich und verbessert die Arbeitssicherheit. Hinsichtlich Staubaufkommen, Lichtverhältnissen, Luftfeuchtigkeit und Temperatur stellt der untertägige Bergbau enorme Anforderungen an die eingesetzte Sensortechnologie. Infrarotthermographiesysteme sind hierfür besonders geeignet. Sie visualisieren die von Objekten emittierte Wärmestrahlung in Infrarotbildern und sind als passiv arbeitende Technologie unabhängig von externen Beleuchtungsquellen. In dieser Arbeit wird ein Konzept zur Erfassung und Charakterisierung des Gesteins an der Stoßoberfläche mittels Infrarotthermographie entwickelt und validiert. Der Forschungsansatz basiert auf der Annahme, dass durch Oberflächenbeschaffenheit und Material hervorgerufene Unterschiede im Infrarotbild eine Gesteinsunterscheidung zulassen.

Die Konzeptentwicklung erfolgt für eine Charakterisierung der Gesteinsoberfläche in Erz und Nebengestein. Unter Laborbedingungen werden Infrarotbilder von Gesteinsoberflächen aufgenommen. Anhand daraus erstellter Datensätze der Gesteinsklassen erfolgt das Extrahieren charakteristischer Merkmale und das Trainieren von Klassifikationsfunktionen. Die erreichten Klassifikationsgenauigkeiten zeigen, dass eine Charakterisierung des Gesteins an der Probenoberfläche anhand von Infrarotaufnahmen unter Laborbedingungen möglich ist. Die Validierung erfolgt am untertägigen Stoß eines Versuchsbergwerks.

Development and validation of a concept for rock characterisation using infrared thermography

Dr.-Ing. Britta Philipp

The mine of the future should be efficient, safe and sustainable. Selective mining can contribute to achieving this. Selective blasting of the rock into different fractions makes it possible to classify the overburden already underground. The individual product fractions can be further processed in a targeted manner and secondary rock can be separated at an early stage.

A requirement for the use of selective blasting methods is local knowledge of the geology. If the geology can be sensed and characterised at the face, it reduces the time personnel spend in the hazardous area and improves occupational safety. With regard to dust levels, lighting conditions, humidity and temperature, underground mining poses enormous challenges for the sensor technology used. Infrared thermography systems are particularly suitable for these applications. They visualise the thermal radiation emitted by objects in infrared images and, as a passively operating technology, are independent of external sources of illumination. In this work, a concept for the detection and characterisation of rock at the impact surface by means of infrared thermography is developed and validated. This research approach is based on the assumption that differences in the infrared image caused by surface texture and material allow rock discrimination.

The concept is developed for a characterisation of the rock surface of ore and waste rock. Infrared images of rock surfaces are taken under laboratory conditions. Based on data sets of the rock classes, characteristic features are extracted and classification functions are trained. The classification accuracies achieved show that it is possible to characterise the rock at the sample surface using infrared images under laboratory conditions. The validation is carried out on the face in an underground test mine.

Beiträge zur Diagnose und Prognose von Hohlradfehlern an Planetengetrieben mittels Acoustic Emissions

Dr.-Ing. Felix Leaman Weiffenbach

In dieser Dissertation geht es um den Einsatz der Acoustic Emission (AE) Technologie zur Fehlerdiagnose und -prognose von Planetengetrieben (PGs). Es werden verschiedene Signalverarbeitungsmethoden vorgestellt und ihr Potenzial für die Analyse von AE-Signalen diskutiert. Die Methoden werden anhand von Messdaten verschiedener PGs getestet, darunter nicht nur Labormessungen, sondern auch Feldmessungen an Windkraftgetrieben. Es werden zwei Arten von Hohlradfehlern analysiert, nämlich verschlissene und gerissene Zähne. Die Ergebnisse dieser Forschung bilden die Grundlagen für die Analyse von AE-Signalen zur Erkennung und Bewertung spezifischer Fehler in PGs.

Contributions to the diagnosis and prognosis of ring gear faults of planetary gearboxes using acoustic emissions

Dr.-Ing. Felix Leaman Weiffenbach

In this work the use of the acoustic emission (AE) technology for fault diagnosis and prognosis of planetary gearboxes (PGs) is addressed. Different signal processing methods are presented and their potential for the analysis of AE signals is discussed. The methods are tested with data measured on different PGs, including not only laboratory measurements but also field measurements on wind turbine gearboxes. Two types of ring gear faults are analyzed, which are worn and cracked teeth. The results obtained in this research constitute the basis for the analysis of AE signals to detect and evaluate specific faults in PGs.



Veröffentlichungen

Publications



Durch Scannen des QR Codes gelangen Sie zu RWTH Publications, wo sie alle unsere Veröffentlichungen finden

By scanning the QR code you will get to RWTH Publications, where you can find all our publications

[Potential of Empirical Mode Decomposition for Hilbert Demodulation of Acoustic Emission Signals in Gearbox Diagnostics](#)

Leaman Weiffenbach, F. A. (Corresponding author) ; Vicuña, C. M. ; Clausen, E.

Journal of vibration engineering & technologies

DOI: 10.1007/s42417-021-00395-7

[Online measurements of material flow compositions using acoustic emission: Case of gypsum and anhydrite](#)

Gürsel, D. (Corresponding author) ; Möllemann, G. ; Clausen, E. ; Nienhaus, K. ; ; et al

Minerals engineering 172, Seiten/Artikel-Nr.:107131

DOI: 10.1016/j.mineng.2021.107131

[A Review of Gear Fault Diagnosis of Planetary Gearboxes Using Acoustic Emissions](#)

Félix Leaman · Cristián Molina Vicuña · Elisabeth Clausen

[Detection and Differentiation of Sand Content in Hydraulic Transport using Acoustic Emission Technology](#)

Sunny Schoone · Maximilian Getz · Elisabeth Clausen

Mining report 157(3), Seiten/Artikel-Nr.:247-257

[Automatisierung und Digitalisierung im Bergbau: OPC UA als Schlüsseltechnologie zur Interoperabilität](#)

Tobias Hartmann, Jörn Lehmann, Fiona Mavroudis

GeoResources 2021(2), Seiten/Artikel-Nr.:42-44

[Von der Tradition in die Innovation: Das Zukunftsprojekt „Mine ReWIR“](#)

Clausen, E. ; Sörensen, A. M. A.

Kohleausstieg nach dem BVerfG-Klimabeschluss : 22. Aachener Altlasten- und Bergschadenkundliches Kolloquium : eine gemeinsame Tagung der RWTH Aachen, Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau; Lehr- und Forschungsgebiet Berg-, Umwelt- und Europarecht und der GDMB Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e.V. am 13. Juli 2021, Seiten/Artikel-Nr: 125-127

[Einblick in die Forschungslandschaft des Institutes for Advanced Mining Technologies](#)

[Insight into the research landscape of the Institute for Advanced Mining Technologies](#)

Käfer, M. ; Schoone, S. ; Hartmann, T. ; Clausen, E.

Bergbau: Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt 72(5), Seiten/Artikel-Nr.:224-226

[From lunar regolith to oxygen and structural materials - RWTH Aachen's integrated conceptual design](#)

Radl, A. ; Wotruba, H. ; Milicevic Neumann, K. ; Clausen, E. ; ; et al

DOI: 10.13140/RG.2.2.10567.42407

[Klimaschutzrecht : Gesamtkommentar](#)

Frenz, W. (Editor) ; Altenschmidt, S. (Contributor) ; Bösch, S. (Contributor) ; Clausen, E. (Contributor) ; ; et al

[Short Review of the Use of Acoustic Emissions for Detection and Monitoring of Cracks](#)

Carrasco, Á. ; Méndez, F. ; Leaman Weiffenbach, F. A. ; Molina Vicuña, C. (Corresponding author)

Acoustics Australia 49(2), Seiten/Artikel-Nr.:273-280

DOI: 10.1007/s40857-021-00219-4

[Comparative case studies on ring gear fault diagnosis of planetary gearboxes using vibrations and acoustic emissions](#)

[Komparative Fallstudien zur Hohlrad-Fehlerdiagnose von Planetengetrieben mittels Schwingungen und Schallemissionen](#)

Leaman Weiffenbach, F. A. (Corresponding author) ; Baltes, R. ; Clausen, E.

Forschung im Ingenieurwesen 85, Seiten/Artikel-Nr.:619-628

DOI: 10.18154/RWTH-2021-02555

[The Future of Mining is Smart](#)

Aarti Sörensen · Elisabeth Clausen

MINING MAGAZINE

Impressum

AMT Report 2021/2022

Herausgegeben durch das

Institute for Advanced Mining Technologies (AMT)
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. Tobias Hartmann

Redaktion

Aarti Sörensen, M.A.

Fotos

Peter Winandy S. 8
Epiroc S. 15
PAUS: S. 30
KOMAG Institute of Mining Technology: S. 34
Blue Harvesting / IHC Royal: S. 40, 41
Heike Lachmann: S. 65
Kurt Beyer: S. 71
Martin Braun: S. 1, 6, 12, 19, 32, 35, 36, 37, 43, 46, 50
AMT: alle weiteren

Imprint

AMT Report 2021/2022

Published by

Institute for Advanced Mining Technologies (AMT)
RWTH Aachen University
Wüllnerstr. 2
52062 Aachen
Deutschland

Contact

Tel.: +49 241 80 95680
E-Mail: info@amt.rwth-aachen.de
Webseite: www.amt.rwth-aachen.de

Responsible

Dr.-Ing. Tobias Hartmann

Editor

Aarti Sörensen, M.A.

Fotos

Peter Winandy P. 8
Epiroc P. 15
PAUS: P. 30
KOMAG Institute of Mining Technology: P. 34
Blue Harvesting / IHC Royal: P. 40, 41
Heike Lachmann: P. 65
Kurt Beyer: P. 71
Martin Braun: P. 1, 6, 12, 19, 32, 35, 36, 37, 43, 46, 50
AMT: all others

