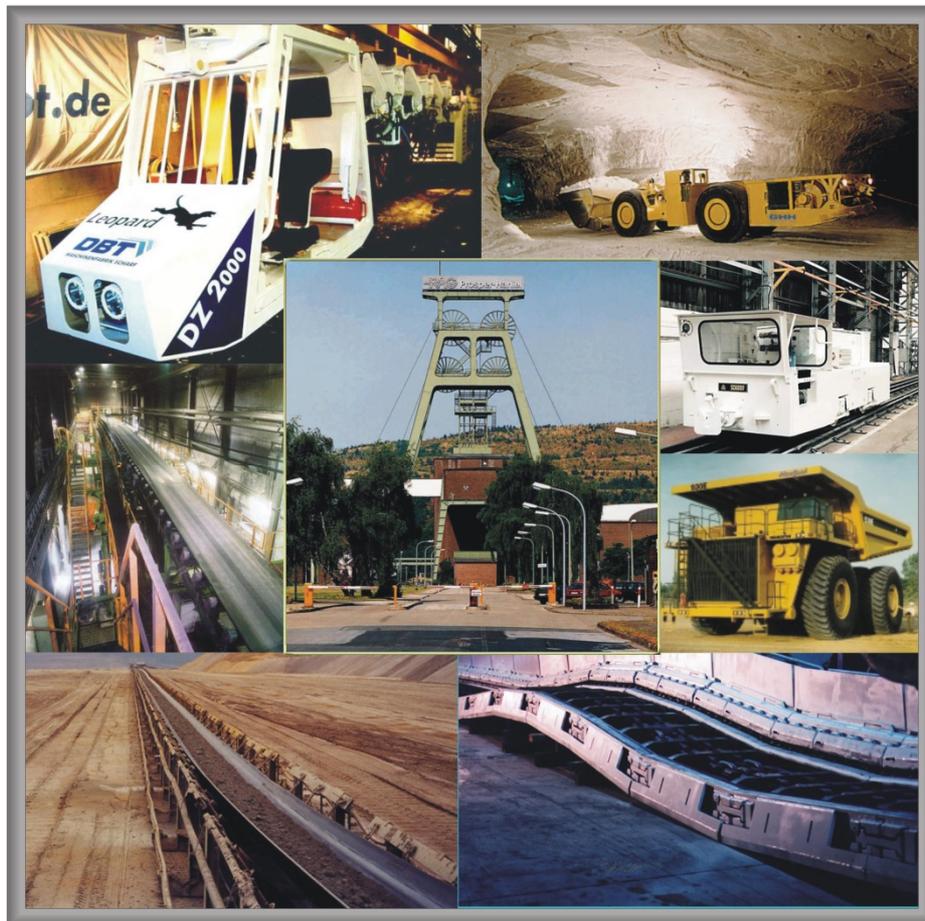


9. Kolloquium

Fördertechnik im Bergbau



Institut für Bergbau

Technische Universität Clausthal

5. und 6. Februar 2020

Tagungsband

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Kolloquium Fördertechnik im Bergbau 2020

Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Organisation: Thorben Plett, M.Sc.

Redaktion: Jan Hußmann

Langefeld, O. (Hrsg.):

Fördertechnik im Bergbau

9. Kolloquium, TU Clausthal,

5. und 6. Februar 2020

© Papierflieger Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld, 2020

Telemannstraße 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld

www.papierflieger-verlag.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, Clausthal-Zellerfeld, 2020

ISBN 978-3-86948-733-5

© 2020 bei den Autoren der Beiträge. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich. Der Herausgeber übernimmt keine Verantwortung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VI
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld	
Verzeichnis der Aussteller	IX
Verzeichnis der Werbeseiten	IX
Weltraumbergbau – Aufbruch zu den Sternen	1
K. Will Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.	
EITI - Bergbau ohne Korruption und Kinderarbeit – Neue Ansätze für Rohstoffpolitik und Bergbautechnik –	3
F. W. Wagner Ass.d.B.	
Die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II	5
Jens Köhler BGE Bundesgesellschaft der Endlagerung mbH	
Bergbauakzeptanz ohne Befahrungsfahrzeug	7
A. Binder, S. Nowosad, Univ.-Prof. Dr. O. Langefeld TU Clausthal	
Einsatzerfahrungen mit einem pneumatischen Fördersystem beim Schachtabteufen	17
T. Ahlbrecht Redpath Deilmann GmbH	
Innovative Rettungsfahrzeuge als Lösung für die sich ändernden Gefahren und Sicherheitsanforderungen im Berg- und Tunnelbau	33
S. Wiegand Drägerwerk AG & Co. KGaA; H. Hörnschemeyer Herrmann Paus Maschinenfabrik GmbH	
Die Fachschule für Wirtschaft und Technik	47
Dr. M. Richter FWT Clausthal-Zellerfeld	
Innovationsentwicklungen bei mobiler Lade- und Transporttechnik für Bergwerke unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen und personellen Erfordernissen	57
K.-H. Wennmohs M & R Consulting	
Gestaltung des Veränderungsprozesses bei der Umstellung auf Batteriefahrzeuge im Bergbau	67
S. Meyer SMT Scharf GmbH	
Elektrifizierte Fördertechnik – Epiroc’s Gezäh für die Li-Ionen Batterie im deutschen Bergbau	69
A. Matthäus Epiroc Deutschland GmbH	
Wettertechnische Zusammenhänge in einer elektrifizierten Grube – theoretischer Ansatz	75
J. Kegenhoff Korfmann Lufttechnik GmbH	
Wie lange können es sich Grubenbetriebe noch leisten, nicht zu automatisieren? Eine Einschätzung	87
A. Jakobs Sanvik Mining and Rock Technology	

Projekt MaMma – Digitalisierung am Beispiel der vorausschauenden Wartung.....	97
M. Schindler, Prof. Dr. A. Rausch TU Clausthal; S. Schoone, Univ.-Prof. Dr. E. Clausen RWTH Aachen	
Challenges of Human Machine Interfaces in highly automated equipment	115
Dr. C. Müller MobileTronics GmbH; F. Hovgaard SAS Scandinavian Airlines	
Digitalisierung von Förderprozessen – Potentiale und Ineffizienzen untertage und übertage.....	131
M. Liebetrau talpasolutions GmbH	
Lokalisierung von untertägigen Transportmitteln mittels Ultra Wideband Technologie.....	135
F. Uth, A. Kianfar, R. Baltes, Univ.-Prof. Dr. E. Clausen RWTH Aachen	
Augmented und Virtual Reality im industriellen Einsatz - Trends und Potentiale in Zeiten von Industrie 4.0	145
Dr. D. Buttgerit XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH	
Auswirkungen neuer Grenzwerte für die Luftreinhaltung auf die Grubenbetriebe der BGE.....	147
S. Voigt BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH	
Lösungen für Ladefahrzeuge im untertägigen Bergbau zur Einhaltung zukünftig geltender Arbeitsplatzgrenzwerte	155
Dr. F. Straßburger GHH Fahrzeuge GmbH	
Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben.....	165
J Rettig DFT GmbH Deichmann Filter Technik	
Alternative Übergabeeinrichtungen für stetige Schüttgutfördersysteme.....	177
Einsatz der Diskrete Elemente Methode zur Beschreibung des abrasiven Verschleißes in der Schüttgutfördertechnik.....	193
T. Rößler, A. Katterfeld Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; M. Dratt, H. Otto IBAF Institut für Baumaschinen, Antriebs und Fördertechnik GmbH ; H. Köther FAM Magdeburger Förderanlagen und Baumaschinen GmbH; M. Kerler Quarry Mining LLC; M. Barnard Cleveland Cascades Ltd	
Kiepe Schnellspann-System - schneller, simpler, sicherer	209
B. Sacha Kiepe Electric GmbH	
Chronik der Fachtagung.....	223

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Gäste in Clausthal,

Im Juni 2020 werden die Vereinten Nationen 75 Jahre alt. Zur Gründung wurde im Jahre 1945, sicherlich geprägt durch den schrecklichen Weltkrieg, eine Charta unterzeichnet. Artikel 1 dieser Charta nennt die Ziele, die sich die Vereinten Nationen gegeben haben. Neben der Wahrung des Weltfriedens und der internationalen Sicherheit ist ein Ziel eine globale Zusammenarbeit herbeizuführen, um internationale Probleme wirtschaftlicher, sozialer, kultureller und humanitärer Art zu lösen. Ein weiterer Punkt ist die Achtung vor den Menschenrechten und Grundfreiheiten für alle ohne Unterschied der Rasse, des Geschlechts, der Sprache oder der Religion zu fördern und zu festigen.



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Oliver Langefeld

75 Jahre sind eine lange Zeit! Aber muss man deswegen alles wieder vergessen? Persönlich habe ich den Eindruck, dass alle Errungenschaften – vor allem nach dem Ende des kalten Krieges – mit Macht zurückgedreht werden:

- Freihandel wird durch Protektionismus ersetzt,
- humanitäre Hilfe durch Gleichgültigkeit und Abschottung,
- Kooperationen von Staaten durch Austritte aus Gemeinschaften
- Gespräche zur Verständigung durch Hassparolen
- Diplomatie durch Kriegsdrohungen.

Die Welt verändert sich gerade dramatisch und viele unserer althergebrachten Werte mit ihr. Nun kann man anführen, dass sich die Welt und die Werte im Laufe der Jahrhunderte immer verändert haben, um sich den Rahmenbedingungen anzupassen. Das Streben der letzten 75 Jahre war allerdings geneigt die Lebenssituation der Menschen zu verbessern. Ich wage zu bezweifeln, dass die derzeitigen Veränderungen diesem Anspruch gerecht werden.

Was hat das gerade Gesagte mit der Fördertechnik zu tun? Eigentlich recht viel, denn die Fördertechnik ist ein wesentlicher Bestandteil des deutschen Maschinenbaus und somit stark Export abhängig. Wie wird die Branche mit dem zunehmenden Protektionismus und der begrenzten Weitsicht unserer Regierenden fertig?

Ich denke, die Antwort auf diese Frage sollte Innovation, Qualität und Technikfreude heißen. Lassen wir unsere Ingenieure bei Windstärke 12 brainstormen. Aufgaben und Betätigungsfelder gibt es in der Fördertechnik mehr als genug. Qualität und Innovation haben sich immer ausgezeichnet und werden auch in Zukunft ein Motor der Wirtschaft sein.

Digitalisierung und Automatisierung prägen die neuen Strukturen und damit auch die Technik selbst. Technologiesprünge, die in immer kürzeren Abständen erfolgen, müssen frühzeitig in die Entwicklungen von Maschinen einbezogen werden. Geräte und Maschinen müssen an die Strukturen der Bergwerke angebunden und vernetzt werden. Querdenken ist angesagt. Das Verlassen alter Denkweisen hin zu neuen, innovativen Ansätzen. Die Digital Natives machen gerade Abitur und stürmen die Universitäten. Sie sind voller Neugier und fassen viele Probleme ganz anders als ihre Elterngeneration an.

Wir – die Universitäten – haben die Verantwortung diese jungen Leute auszubilden. Ausbilden heißt nicht verbiegen! Sind wir in der Lage diese teilweise sehr kreativen Köpfe mit unserer Ausbildung richtig zu motivieren und für die Zukunft zu wappnen. Sicherlich sind Grundlagen sehr wichtig, um ein Grundverständnis für eine Wissenschaft zu bekommen. Aber was folgt dann? Wissen hat heute jeder in seinem Smartphone dabei. Ich denke, wesentlicher sind heute Methoden, die es zukünftigen Ingenieuren erlauben das Wissen zielgerichtet abzurufen und interdisziplinär zu verknüpfen. Kooperation in Gruppen ist gefragt, da die Aufgabenstellungen komplexer werden, interkulturelle Kompetenz ist gefragt, da die Gruppen internationaler werden, Fremdsprachen sind gefragt. Und ich glaube, Sprachen ist einer der wenigen Bereiche, die man beherrschen muss. Natürlich kann man sich mit DeepL, Leo und Co. behelfen, doch eine gute fachliche Konversation können diese Programme noch nicht ersetzen.

Das diesjährige Programm des Kolloquiums passt zu diesen Gedanken, denn es ist vielseitig:

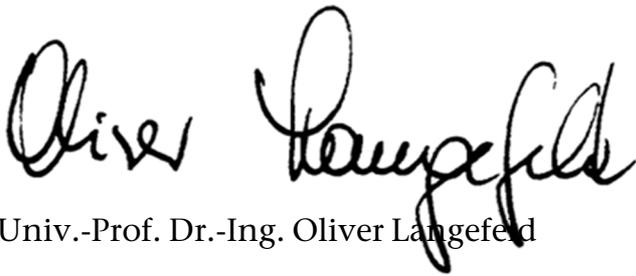
Nach dem Griff zu den Sternen reden wir über Rohstoffpolitik und Akzeptanz. Innovationen in der Fördertechnik werden in vielen Beiträgen behandelt und ziehen sich durch das gesamte Programm. Interdisziplinarität wird aufgezeigt, beispielsweise zwischen Elektrifizierung und Wettertechnik in zwei verschiedenen Vorträgen. Digitalisierung und kreative Ansätze mit Informationen und Bildern umzugehen, sind Bestandteil eines ganzen Blocks von Vorträgen. Die Beschäftigung mit der Sicherheit rundet das ganze Thema ab und ist im Bergbau eine Selbstverständlichkeit. Kommunikation und Austausch werden in den Pausen gepflegt.

Ein solches Kolloquium trägt nicht zuletzt auch dazu bei, den Studierenden die Aufgabenstellungen und Probleme der Bergbauindustrie näher zu bringen. Es kann eine Basis sein, um sich zu treffen, Abschlussarbeiten anzubahnen, abzusprechen und letztlich neue Mitarbeiter, bzw. Arbeitgeber näher kennen zu lernen. Das ist sicher sowohl für die Industrie als auch für die Studierenden von besonderem Interesse. Nutzen Sie bitte diese Chance.

An dieser Stelle möchte ich schon einmal allen danken, die an der Vorbereitung und Durchführung dieses Kolloquiums mitgewirkt haben: den Verfassern, den Vortragenden, den Moderatoren und nicht zuletzt den Mitarbeitern des Instituts für Bergbau der TU Clausthal, insbesondere Herrn Thorben Plett M.Sc., der die Organisation federführend übernommen hat.

Den Teilnehmern an dieser Veranstaltung danke ich für ihr Interesse und wünsche allen fruchtbare Anregungen und Gespräche.

Mit Clausthaler Glückauf

A handwritten signature in black ink, reading "Oliver Langefeld". The signature is written in a cursive, flowing style with large, connected letters.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Verzeichnis der Aussteller

Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH – Mining Report Glückauf

Bergbauwerkzeuge Schmalkalden GmbH & Co. KG

Epiroc Deutschland GmbH

Georesources Portal

GDMB Verlag GmbH

Schachtbau Nordhausen GmbH

ScrapeTec Trading GmbH

TIPICO GmbH

VDMA e.V.

Verzeichnis der Werbeseiten

Bergbauwerkzeuge Schmalkalden GmbH & Co. KG	86
Fachschule für Wirtschaft und Technik gGmbH	164
Redpath Deilmann GmbH	56
Schachtbau Nordhausen GmbH	144
Weltkulturerbe Rammelsberg	154

Weltraumbergbau – Aufbruch zu den Sternen

K. Will

Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.

Bis es zum ersten Abbau von Rohstoffen im Weltraum kommt, ist es noch ein weiter Weg. Doch dank zunehmend innovativer Techniken und sinkender Kosten für Weltraumflüge, wird er perspektivisch möglich sein.

Erste Weltraumsonden zur Erkundung von Rohstoffen sollen bereits ab dem Jahr 2020 auf Asteroiden landen. Schon heute forschen internationale Unternehmen an der technischen Umsetzbarkeit des Rohstoffabbaus im Weltraum.

Weltraumbergbau könnte einen erheblichen Beitrag zur zukünftigen Rohstoffversorgung leisten. Auch die Zukunftstechnologien des Weltraumbergbaus haben das Potenzial, die deutsche Industrie fit für die Zukunft zu machen. Darüber hinaus sind neue Weltraumrobotik, Analytik, Sensorik und Antriebstechnologien nicht nur im Weltraumbergbau einsetzbar. Sie sind der Schlüssel zur Lösung zahlreicher Herausforderungen, denen die Menschheit auf der Erde künftig gegenüberstehen wird.

Weltweit haben bereits etwa 20 Länder die Potenziale des Weltraums erkannt und nationale Weltraumgesetze erlassen. Auch die Bundesregierung bekräftigt im Koalitionsvertrag ihren Willen, ein Weltraumgesetz auf den Weg zu bringen. Ziel des Gesetzes soll es sein, einen Rahmen für private Raumfahrtaktivitäten zu schaffen und damit Investitionen und Innovationen zu fördern. Das Gesetz soll in die Raumfahrtstrategie eingebettet werden, um einen stabilen Aktionsrahmen für die Industrie zu schaffen.

Schon heute haben deutsche Unternehmen großes Potenzial, Technologien des Weltraumbergbaus zukünftig entscheidend mitzugestalten. Deutschland beteiligt sich an internationalen Raumfahrtprogrammen durch die Entsendung von Astronauten oder die Lieferung von Teilen der Ausrüstung auf die ISS Raumstation. Spätestens seit der Produktion und dem Einsatz der europäischen Trägerrakete Ariane-5 in den 1990er Jahren und der Entwicklung der neuen Ariane-6, ist Deutschland eine der führenden Raumfahrtnationen. Deutsche Unternehmen verfügen über herausragende Expertise in der Weltraumrobotik sowie bei Transportsystemen im Weltraum. Sie konnten seit dem Start der aufsehenerregenden Weltraummission Rosetta 2004 auch erste Erfahrungen mit der Landung auf Asteroiden machen. Darüber hinaus entwickeln deutsche Unternehmen Kameras, die zur Kartierung und Erfassung der Marsoberfläche genutzt werden.

Auch die Deutsche Bergbautechnik ist weltweit aufgrund ihrer hohen Qualität und Standards gefragt. Deutsche Hersteller von Bergbaumaschinen zählen zu den innovativsten der Branche; ihre Maschinen sind daher weltweit für den Rohstoffabbau im Einsatz. Zudem sind deutsche Unternehmen führend bei der Aufbereitung und Weiterverarbeitung von Rohstoffen und gelten dabei obendrein als Vorreiter für die Einhaltung von Umweltstandards.

Damit steht in Deutschland schon heute die wesentliche Expertise für fast alle notwendigen Technologien des Weltraumbergbaus in Theorie und Praxis bereit. Dieses gebündelte Know-how hat das Potenzial, die Zukunft des Weltraumbergbaus entscheidend mit zu gestalten. Die Bundesregierung muss dafür heute die Weichen stellen.

Katharina Will

K.Will@bdi.eu

Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.

Breite Straße 29

10178 Berlin

EITI - Bergbau ohne Korruption und Kinderarbeit – Neue Ansätze für Rohstoffpolitik und Bergbautechnik –

Assessor des Bergfachs F. W. Wagner

Mitglied der MSG D-EITI

Die Initiative „Extractive Industries Transparency Initiative“ (EITI) steht mit heute über 50 Mitgliedsstaaten insbesondere für einen weltweiten Bergbau ohne Korruption und Kinderarbeit.

Das Wachstum moderner Industriegesellschaften im Kontext mit der Entwicklung von Hightech-Produkten für Energiewende und Digitalisierung hat in den letzten Jahren zu einem zunehmend steigenden Einsatz von sogenannten Verknappungs-Rohstoffen geführt, deren Verfügbarkeit u. a. in Europa nur sehr eingeschränkt gegeben ist.

Deutschland und die EU haben auf diese Entwicklung mit Rohstoffstrategien geantwortet, die die Versorgung mit „strategischen Rohstoffen“ sichern sollen. Die erste (in 2010) für Deutschland aufgestellte Rohstoffstrategie hat sich dabei grundsätzlich an althergebrachten Mustern und Instrumenten orientiert. Die gerade neu aufgestellte Rohstoffstrategie 2020 will sich jetzt neben der Ertüchtigung nationaler Rohstoffquellen auch international auf die Einbindung von Grundsatzwerten und zivilgesellschaftlichen Normen in die Wertschöpfungsketten kümmern.

Hier ist EITI durchaus geeignet, als Baustein für eine fairere globale Rohstofflandschaft auch für Deutschland bei neuen Rohstoffstrategien dazu beizutragen, die Lieferungen von belasteten Rohstoffen für unser Land auszuschließen und gleichzeitig dafür zu sorgen, dass über deutsches Know-how und deutsche Bergbautechnik ein sicherer und umweltschonenderer Bergbau in den Lieferländern ohne Korruption und Kinderarbeit stattfindet.

Friedrich Wilhelm Wagner

ass.d.b@t-online.de

0172 579 26 27

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II

J. Köhler

BGE Bundesgesellschaft der Endlagerung mbH

Ausgehend von der im § 57b AtG vorgenommenen gesetzlichen Regelung ist die Schachtanlage Asse II unverzüglich stillzulegen und vor der Stilllegung sind die radioaktiven Abfälle zurückzuholen. Somit besteht für die BGE der gesetzliche Auftrag zur Rückholung der radioaktiven Abfälle.

Bei der Rückholung der radioaktiven Abfälle findet ein Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen statt. Dieser kann sowohl ein Umgang mit Kernbrennstoffen, als auch ein Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen sein.

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle umfasst alle rund 126 000 in die Schachtanlage Asse II eingelagerten Gebinde. Das Abfallvolumen beträgt etwa 50 000 m³, wobei davon auszugehen ist, dass Abfallbestandteile aus zerstörten Gebinden ausgetreten sind und umgebenes Salzgrus kontaminiert haben.

Für die Rückholung der Abfälle sind nachfolgende Prozessschritte erforderlich:

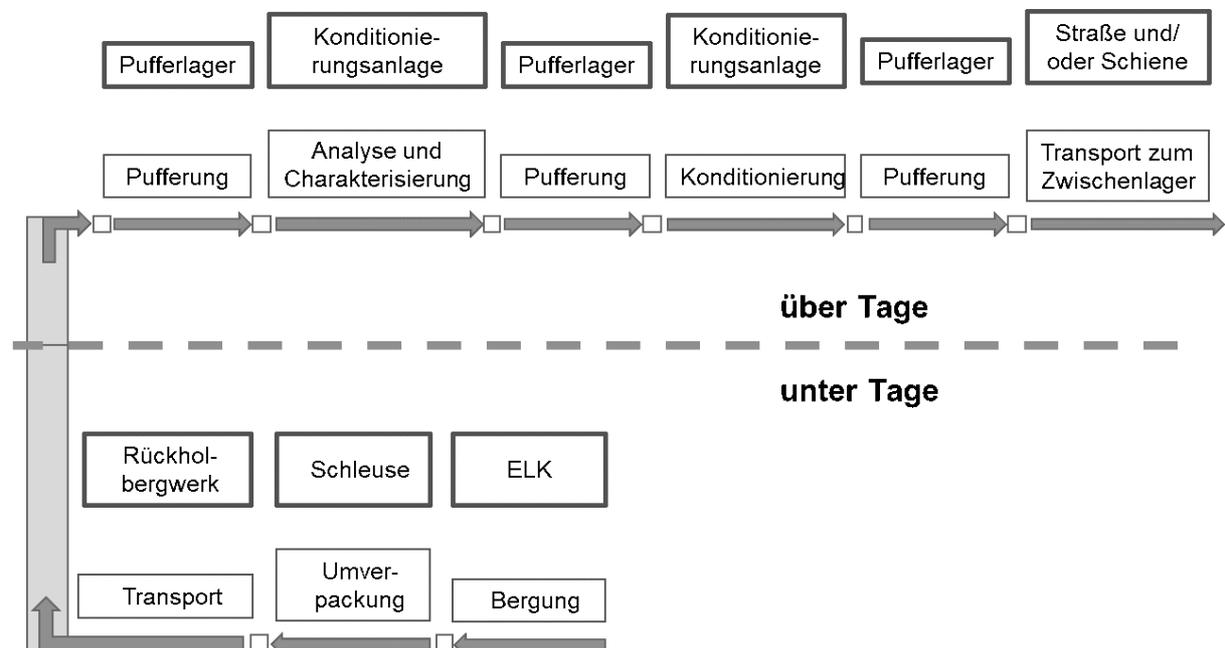


Abbildung 1: Über- und untertägige Prozesse im Rahmen der Rückholung

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle beginnt mit der Bergung der Abfälle aus den Einlagerungskammern. Hierbei kommen Techniken zum Einsatz, die sowohl die Einlagerungssituationen (z. B. Stapel- oder Versturztechnik) als auch den Zustand der Schweben oder der Firne der Einlagerungskammern gerecht werden.

Die Bergung der Abfälle findet in einem gesicherten Arbeits- und Sperrbereich statt, der nur zu Interventionszwecken betreten werden darf. Die Bergetechnik wird so ausgeführt, dass sie weitgehend fernbedient werden kann.

Danach werden die geborgenen radioaktiven Abfälle in einer Schleuse neu verpackt bzw. in sichere Umverpackungen gelegt. Die Schleuse bzw. das Schleusensystem trennt den Sperrbereich der Einlagerungskammer vom restlichen Rückholbergwerk. Das Umverpacken der geborgenen Abfälle erfolgt in einer „Doppeldeckelschleuse“, sodass sichergestellt ist, dass die Umverpackungen außen kontaminationsfrei bleiben und nur die Innenflächen der Umverpackungen Kontaminationen tragen können.

Die Umverpackungen sind für den innerbetrieblichen Transport ausgelegt und verhindern die Freisetzung von Abfallbestandteilen und Aerosolen während des Transports. Der Transport der Umverpackungen findet über definierte Wege im Rückholbergwerk statt. Die Transportwege im Rückholbergwerk sollen nach Möglichkeit sählig verlaufen. Größere Höhenunterschiede im Rückholbergwerk werden über Blindschächte oder flache Rampen überwunden.

Der Schachttransport der mit den rückgeholten Abfällen versehenen Umverpackungen findet ausschließlich über den neu gebauten Schacht Asse 5 statt. Am Füllort des Schachts Asse 5 werden die beladenen Umverpackungen auf den Förderkorb gesetzt und anschließend zu Tage gefördert.

Bei der Rückholung der radioaktiven Abfälle liegen die fördertechnischen Herausforderungen bei einem sicheren Transport bzw. bei einer sicheren Handhabung der radioaktiven Stoffe oder der Kernbrennstoffe. Eine unbeabsichtigte Freisetzung dieser Stoffe gilt es auszuschließen. Diese Randbedingung steht im Gegensatz zu den sonst im Bergbau üblichen fördertechnischen Anforderungen, die grundsätzlich lauten, dass möglichst viel gewonnenes Wertmineral in einer kurzen Zeit nach über Tage gebracht und dort verarbeitet wird.

Jens Köhler
jens.koehler@bge.de

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Schachtanlage Asse II
Am Walde 2
38319 Remlingen

Bergbauakzeptanz ohne Befahrungsfahrzeug

A. Binder, S. Nowosad, Prof.Dr. O. Langefeld

Technische Universität Clausthal

Die „Social License to Operate“ stellt nicht nur nach (1) das höchste betriebliche Risiko für bergbauliche Unternehmungen dar. Die soziale Akzeptanz ist auch maßgeblich im bergrechtlichen Genehmigungsprozess, da durch die Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen der Planfeststellung nach § 57 BBergG die Öffentlichkeit zu beteiligen ist. Auch im kleineren Rahmen senken gute Beziehungen zu der lokalen und regionalen Bevölkerung die Barrieren für einen effizienten Betrieb. Daher gilt es neben den wirtschaftlichen und technischen Aspekten sowie dem Umweltschutz auch die soziale Machbarkeit zu betrachten. Hieraus resultieren Maßnahmen zur erfolgreichen Kommunikation mit den verschiedenen Interessengruppen, die auf das Projekt Einfluss nehmen.

Eine große Zielstellung ist es der Bevölkerung aufzuzeigen, warum die bergbauliche Aktivität notwendig ist und dass sie keine Gefährdung darstellt, sondern sicher für Mensch und Umwelt durchgeführt wird. Herausfordernd ist hierbei, dass die bergbauliche Gewinnung immer weniger präsent ist. Der Anteil des Wirtschaftszweigs „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ liegt weit unter einem Prozent der Bruttowertschöpfung Deutschlands (2). Während der Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im größeren Bereich „Bergbau, Energie- und Wasserversorgung, Entsorgungswirtschaft“ rund 1,7 % beträgt (3). Somit ist die Zahl derer, die vom Bergbau direkt betroffen sind (und nicht nur seine Erzeugnisse in jeder Sekunde nutzen), sehr gering. Die Wahrnehmung des Bergbaus in der deutschen Gesellschaft ist wenig untersucht, doch scheint diese eher von 3Ds (dirty-dark-dangerous) als von Nachhaltigkeit und Sicherheit geprägt zu sein. Ein Bild, was auch häufig durch die historischen Orte vermittelt wird, die die „harte Arbeit unter gefährlichen Bedingungen“ in den Fokus setzen. Hierbei bleibt selten Platz für Ausführung, wie wichtig der Bergbau für unser heutiges Leben ist, dass dieser in Deutschland mit modernster Technik betrieben wird und dabei Wirtschaft, Umwelt und Soziales nicht nur berücksichtigt, sondern auch fördert.

Dieses Narrativ bleibt somit den aktiven Bergbaubetrieben überlassen, deren primäres Anliegen jedoch eine sichere Produktion ist. Trotzdem werden häufig Befahrungen mit interessierten Gruppen angeboten, um diesen Einblicke in den Bergbau zu ermöglichen. Ziel dieses Beitrags ist es die Alternativen zu diesen Befahrungen aufzuzeigen, die sich durch neuere Technologien ergeben. Hierfür werden in diesem Beitrag die Vorteile und Herausforderungen von Gruppenbefahrungen aufgeführt, die Grundlagen der zielgruppengerechten Kommunikation ausgeführt und mögliche Formate vorgestellt.

1 Gästebefahrung und ihre Rolle für die Bergbauakzeptanz

Befahrungen von aktiven Bergwerken stellen für die Besucher*innen einmalige Erlebnisse dar. Andererseits müssen sie in den Betrieb integriert werden und sicher ablaufen. Die Integration in den betrieblichen Ablauf zielt darauf ab, dass durch die Befahrung die Produktion und die notwendigen Prozesse nicht gestört werden. Hierbei sind besonders limitierende fördertechnische Elemente (bottlenecks) zu berücksichtigen wie Schächte und Befahrungsfahrzeuge. Dadurch wird die Bewegungsfreiheit und die Zeit der Besuchergruppe im Betrieb limitiert.

Andererseits bestimmen Maßnahmen zur Sicherheit der Gäste die Befahrung. Aufgrund des geringen Vorwissens und Erfahrung der Gäste im Betrieb steigt die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls mit einer höheren Schwere. Somit steigt das Risiko. Daher müssen im Vergleich zu Mitarbeiter*innen weitere technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen ergriffen werden in Form von Abschirmung gefährlicher Bereiche, intensiver Betreuung und Bereitstellung einer Schutzausrüstung. Das Abschirmen kann klein- oder großräumig geschehen. Daher werden die Touren räumlich eingeschränkt. Beispiele für eine großräumige Abgrenzung sind Besucherbereiche wie im Bergwerk Kiruna der LKAB, Besucherstriebe in der Steinkohle oder Besucherbergwerke, die mit aktiven Bergwerken verbunden sind wie im Kaliwerk „Glückauf“ der GSES GmbH Sonderhausen oder im Salzbergwerk Berchtesgaden der Südwestdeutsche Salzwerke AG. Hierbei bekommen die Befahrungen den Charakter eines modernen Museums. Doch ist der Aufwand für die Einrichtung eines solchen Bereiches sehr aufwändig. Kleinräumige Abschirmung findet bei Befahrungen statt, bei denen das Befahrungsfahrzeug nur an „sicheren“ Punkten und unter Aufsicht verlassen wird. Hierbei greifen die organisatorischen Maßnahmen, in dem die Gäste im Vorfeld kurzunterwiesen werden und dauerhaft betreut werden. Hierfür sind ausreichend qualifizierte Mitarbeiter*innen nötig. Häufig werden zur Betreuung einer Gruppe auch mehrere Personen benötigt, sodass erhöhte Kosten entstehen.

Gleichzeitig ist es notwendig die Gruppen mit persönlicher Schutzausrüstung inklusive Selbstrettern und Schutzkleidung auszurüsten, die vorgehalten werden muss. Besonders in Bezug auf Sicherheitsschuhe kann nicht gewährleistet werden, dass selbst mitgebrachte Schuhe die notwendige Trittsicherheit haben und die Anforderungen erfüllen, wobei ein Abweisen von Gästen direkt vor Befahrung zu großer Enttäuschung führen kann. Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich die Ansätze zwischen großen Enttäuschungen und Aufwänden bewegen.

Zusätzlich ist die Zielgruppe auf gesunde und mittelalte Menschen beschränkt, sodass gesundheitlich eingeschränkte, schwangere, junge und alte Personen häufig aus Sicherheitsgründen ausgeschlossen werden müssen. Damit stehen Befahrungen nur ausgewählten Gruppen zur Verfügung und sind nicht inklusiv.

Diesen Nachteilen steht ein großer Vorteil gegenüber. Die Besucher*innen machen eine ganzheitliche Erfahrung und lernen auf Basis dieser. Der von (4) eingeführte Ansatz des erfahrungsbedingten Lernen („experiential learning“) kann auch hier beobachtet werden. Dieser führt auf Basis des natürlichen Lernvorgangs zu einer ganzheitlicheren Kompetenzentwicklung. Der Lernende durchläuft vier Phasen: Zunächst wird eine Erfahrung gemacht, die im Anschluss reflektiert wird. In der dritten Phase werden die Beobachtung analysiert, sodass durch die Verallgemeinerung Konzepte entwickelt werden. In der vierten Phase wird durch die Anwendung in einer neuen Situation das Konzept getestet. In einer Befahrung durchläuft ein*e Besucher*in wahrscheinlich nicht alle vier Phasen, wie in einer gelenkten Lernsituation, jedoch ist zu erwarten, dass der Lernerfolg größer als beim Hören eines Vortrages ohne konkreten Erfahrungsbezug ist. Der Ansatz des erfahrungsbedingten Lernens kann auch im Bereich des lebenslangen Lernens genutzt werden und ist nicht auf Schüler*innen und Studierende beschränkt. Gleichmaßen gilt es aber die Zielgruppe zu kennen, um eine effektive Maßnahme anzubieten.

Um auch ohne Befahrungsfahrzeuge die Akzeptanz des Bergbaus zu erhöhen, gilt es eine Herangehensweise zu entwickeln, die die Vorteile des erfahrungsbedingten Lernens aufweist und gleichzeitig Aufwand und Risiken minimiert. Bestenfalls ist diese Maßnahme barrierefreier und steht so auch für Gruppen bereit, die bisher durch die notwendigen Gruppeneinschränkungen ausgeschlossen werden. Diese Möglichkeit bietet der Einsatz von virtueller Realität bspw. unter Einsatz von 360° Fotos oder VR-Objekten. Ein großer Fallstrick kann es hierbei sein nur das Medium ohne die notwendige Einbettung anzubieten. Dadurch kommt es durch Barrieren, fehlende oder unattraktive Ansprache zu einer Verminderung der Effektivität. Für den effektiven Einsatz muss in der Entwicklung die Zielgruppe analysiert werden, sodass ein guter Zugang zu dieser geschaffen wird. Hierzu dient eine Zielgruppenanalyse.

2 Zielgruppenanalyse: Grundlage für erfolgreiche Kommunikation

Die Zielgruppenanalyse kann im Gesamtkontext der Stakeholder Theorie gesehen werden, die durch (5) in den Bereich des Management eingeführt wurde. Sie berücksichtigt jede beteiligte Gruppe und nicht nur die Anteilseigner eines Projektes. Der klassische Ansatz identifiziert, priorisiert und leitet die Beteiligten um den Projekterfolg zu erhöhen. Dieser Bereich ist im Bergbau insbesondere in Corporate Social Responsibility (CSR) Maßnahmen angesiedelt. Jedoch ist nur die Implementierung kein Garant für einen störungsfreien Projektverlauf. Ein vielversprechender Ansatz ist hierbei die Änderung der Sichtweise vom Management von Stakeholdern zum Management für Stakeholdern (6).

Im Bereich der Stakeholder Analyse folgen vier Hauptschritte aufeinander: die Identifizierung, Charakterisierung, Abbildung von Profilen sowie die Festlegung eines Managementplans. Für die Gestaltung von Angeboten für die Öffentlichkeit ist es durchaus zielführend mehrere Gruppen zu identifizieren, die ähnliche Profile innerhalb der Gruppe haben. Später werden unterschiedliche Angebote entwickelt, die auf einen Pool verschiedener Medien mit passenden Verbindungselementen zugreifen.

Die Charakterisierung ist hierbei die Recherche, welche in Profilen mündet. Einen guten Ansatz, welche Aspekte hierbei zu berücksichtigen sind, geben die Diversitätsaspekte nach (7). Diese stammen aus dem Bereich des Personalmanagements und müssen somit auf die Situation angepasst werden. In diesem Fall bieten die innere Dimension (dunkelgrau bzw. blau) und die äußere Dimension (hellgrau bzw. gelb), wie in Abbildung 1 abgebildet eine gute Grundlage. Einige Bereiche können oder müssen ausgeschlossen werden, während andere ergänzt werden. Beispiele sind die Streichung der Rassen/Ethnien Dimension aufgrund grundsätzlicher Zurückweisung der Rassentheorie sowie der genügenden Abbildung auf Basis der geographischen Herkunft. Außerdem werden der Gewohnheiten um den Aspekt der Generation. Die entstandenen Gruppenprofile sind die Grundlage für die Wahl der Kommunikationsstrategien besonders da diese Barrieren und Störungen zwischen Empfänger und Sender aufzeigen können.

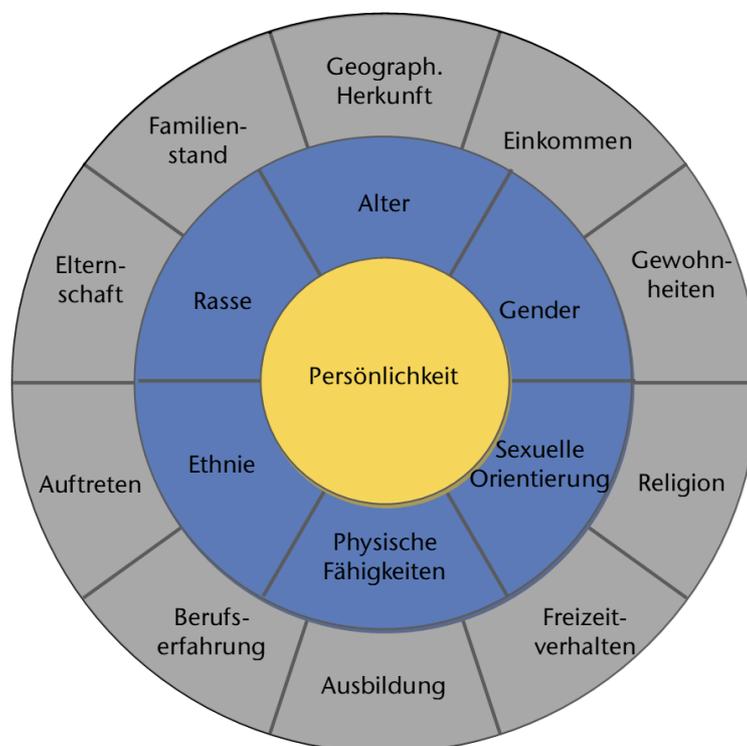


Abbildung 1: Innere und äußere Dimension der Diversität nach Innere und äußere Dimension der Diversität nach (7)

Die normale Kommunikation zwischen zwei Parteien besteht aus einem Sender, der eine zu übertragende Nachricht verschlüsselt, ein Empfänger, der die übertragene Nachricht entschlüsselt und dem Medium, in dem diese Interaktion stattfindet. Dies beschreibt ein klassisches Sender/Empfänger-Kommunikationsmodell, welches die heutigen Kommunikationsanforderungen aufgrund von Diversitätsmerkmalen und die Komplexität der Beteiligten nicht mehr erfüllen kann. Interaktive Kommunikationsmodelle, wie Abbildung 2 zeigt, können die Zielgruppe berücksichtigen. Dieses Modell beschreibt nach (8) ein dynamischeres und realistischeres Szenario mit Sender und Empfänger, enthält aber auch eine "Geräusch"-Komponente während der Nachrichtenübermittlung, die das Verständnis der Nachricht beeinträchtigen kann, sowie die Notwendigkeit von Rückmeldungen zur Beurteilung des Empfangs und der ordnungsgemäßen Nachrichtenübermittlung. Dieses Modell hat sich als effektiv erwiesen, wenn es für Gruppenkommunikation eingesetzt wird.

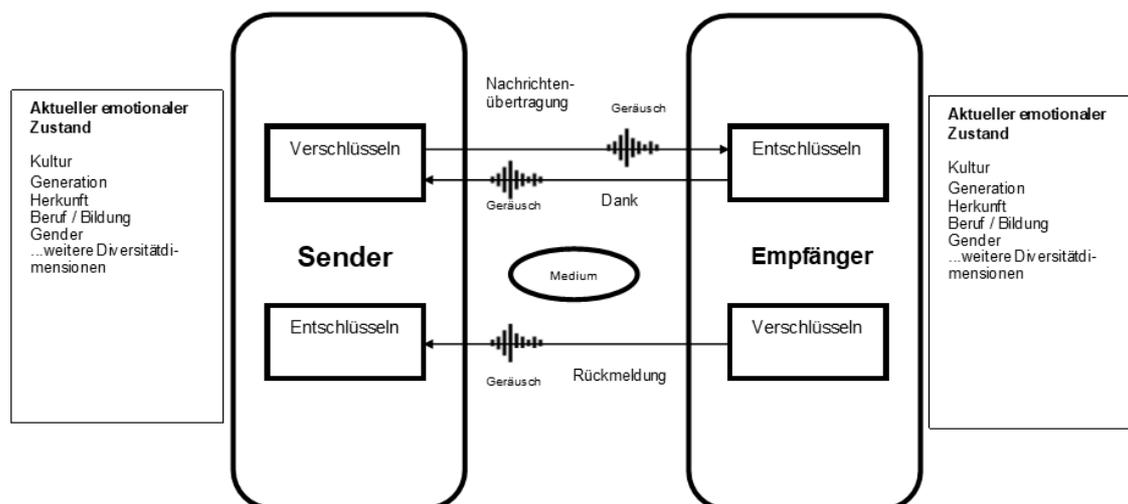


Abbildung 2: Kommunikationsmodell für interkulturelle Kommunikation nach (8)

Zum Verständnis des Hintergrunds von Sender und Empfänger sowie zu möglichen Störgeräuschen bzw. Medien mit wenig Störungen tragen die Zielgruppenprofile bei. Auf dieser Basis können auch bevorzugte Medien identifiziert werden.

Bei der Planung von Kommunikationsstrategien müssen verschiedene Szenarien in Betracht gezogen werden, die eine gewisse Flexibilität bieten. Diese Szenarien können unter anderem die Dringlichkeit der benötigten Informationen, die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Technologie, die Zugänglichkeit für die Zielgruppe, die Benutzerfreundlichkeit, das Projektumfelds (Beteiligte, physischer Standort, sprachliche Anforderungen usw.), die Sensibilität und die Vertraulichkeit der Informationen umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt.

Die Welt erlebt derzeit einen technologischen Wandel, der die Formen der Kommunikation zwischen Menschen und Unternehmen revolutioniert hat. Die Bergbauindustrie ist ihr nicht fremd geblieben und hat neue Kommunikationsansätze entwickelt. Diese zeigen sich bspw. durch Websites und soziale Medienkanäle, Online-Informationsspeicher und der Entwicklung von Applikationen. Es ist wichtig, die spezifischen Zielgruppenpräferenzen, Wahrnehmungen, Nutzung und Nutzungsbereitschaft in Bezug auf die verfügbaren Medientypen zu verstehen und dies bei der Abgrenzung der Kommunikationsroutine zu berücksichtigen. Außerdem können Internet und Technologien die Möglichkeiten verbessern, in kurzer Zeit auf Informationen zuzugreifen, Feedback zu bestimmten Themen zu bekommen und die Interaktionen zwischen den Beteiligten zu beschleunigen sowie die Glaubwürdigkeit und Transparenz zu erhöhen.

Das Verständnis von Massenkommunikation, wie sie von sozialen Medienkanälen gesteuert wird, als dynamische, interaktive und schnelle Reaktion kann den Projektzielen zugutekommen oder bei falscher Handhabung dagegenwirken. Was die persönlichen Fähigkeiten betrifft, reicht es nicht mehr nur ein guter Redner zu sein um eine Gruppe zu überzeugen. Es bedarf vielmehr einer interkulturellen Kompetenz und deren Aspekte sowie das Verständnis der Zielgruppe.

3 Neue Formate für mehr Akzeptanz

Die technologische Entwicklung hat nicht nur die sichere Produktion verbessert. Sie bietet auch die Möglichkeit neue Medien zu nutzen. Digitale Massenmedien überwinden die Beschränkungen der persönlichen Betreuung und ermöglichen den Zugang zu neuen und größeren Gruppen, die sich besonders durch die „neuen“ Medien angesprochen werden.

Beispiele von klassischen und „neuen“ Medien werden in Tabelle 1 bezogen auf verschiedene Bereiche. Besonders die „neuen“ Medien helfen die Kommunikationsbrücke zur Öffentlichkeit zu schlagen. Eine effektive Nutzung kann die soziale Akzeptanz des Bergbaus und der Projekte steigern.

Tabelle 1: Vergleich ausgewählter klassischer und neuer Medien

Kategorie	Klassische Medien	„Neue“ Medien
Geschrieben	Physisch	Elektronisch
Gesprochen	Verbal	Verbal und nonverbal, zwischenmenschliche Kenntnisse
Offiziell	Zeitungen, Druckerzeugnisse, Berichte, Pressemeldungen, physische Informationen, Präsentationen, Archive, Versammlungen	Elektronische Nachrichten, Webseiten, Elektronische Magazine, Online-Archive, Emails, Intranet, Digitale Präsentationen und Konferenzen, Livestreams
Informell	Emails, Intranet, Webseiten, Telefongespräche, Treffen	Social-Media-Kanäle, Telefongespräche, Messenger, Treffen (s.o.)
Visualisierung	Bilder, Graphiken, Karten, Filme, statische Inhalte	Bilder, Graphiken, Karten, Filme, interaktive Inhalte, Bergbausoftware, Virtuelle Realität (VR), Erweiterte Realität (AR), GIS

Es stellt sich die Frage inwiefern die Erfahrung einer Grubenfahrt auch durch neue Medien bereitgestellt werden kann. Hierfür kommen besonders virtuelle Realitäten in Frage. Beispielsweise können 360°-Aufnahmen von untertägigen Räumen eingesetzt werden. Diese können mit interaktiven Elementen ergänzt werden, sodass beispielsweise ein Rundgang entsteht, in den aktivierende Elemente wie Quizze, Sounds oder weitere Informationen eingegliedert werden. Verknüpft man diese mit VR-Brillen so können Umgebungsstörungen ausgeglichen werden. Die Erzeugung von 360°-Aufnahmen gestaltet sich mit der entsprechenden Hardware (360° Kameras) sehr einfach. So ist es möglich ohne größeren Einschränkungen der Produktion innerhalb der Befahrungszeit von zwei Gästegruppe die angefahrenen Bereiche aufzunehmen, sodass sie nach der Bearbeitung und Zusammenstellung ohne jegliche Befahrung erfahren werden können. Diese Möglichkeit des unter Tage Erlebnis steht auch den bisher ausgeschlossenen Personengruppen offen, solange eine visuelle Aufnahme möglich ist. Bisher wurden gute Erfahrung beim Einsatz dieser Medien gemacht.

Jedoch ist es wichtig, dass diese identifizierten Medien in ein zielgruppengerechtes Gesamtkonzept eingebunden werden und nicht alleine steht. Dadurch wird auch eine zielgruppendifferenzierte Kommunikation mit den selben Medien möglich.

Jüngere Zielgruppe



Ältere Zielgruppe

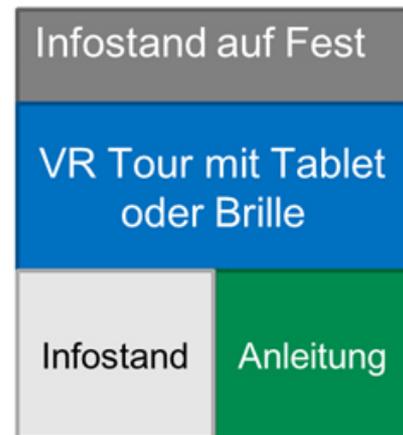


Abbildung 3: Gegenüberstellung zweier beispielhafter Kommunikationskonzepte

Abbildung 3 stellt zwei beispielhafte Kommunikationskonzepte für unterschiedliche Zielgruppen gegenüber. In beiden Szenarien wird eine VR-Tour genutzt, die jedoch unterschiedlich eingebunden ist. Während die Altersgruppen im linken Szenario auf Basis des Bildungssystems relativ klar abgrenzt werden kann, ist sie im rechten Beispiel weniger definiert. Im linken Fall ist die Zielgruppe aus einer Generation, die mit digitalen Medien aufgewachsen ist und es gewohnt ist sich im digitalen Raum zu bewegen. In diesem Fall kann von einem intuitiven Umgang mit den eingesetzten Formaten ausgegangen werden. Im rechten Fall steht eine persönliche Anleitung als Assistenz zur Verfügung, die bei der digitalen Erfahrung unterstützt. Zusätzlich werden klassische Medien zur Unterstützung genutzt, sodass nicht alle Erfahrungen neu sind.

4 Zusammenfassung

Neue Medien und Visualisierung in virtuellen Realitäten stellen eine Möglichkeit dar die bergbauliche Welt erfahrbar zu machen. Hierdurch kann die soziale Akzeptanz des Bergbaus erhöht werden ohne jeden Interessierten die Anlagen befahren zu lassen. Dafür ist es notwendig die Zielgruppen systematisch zu analysieren, sodass die richtigen Medien ausgewählt und Formate entwickelt werden können.

5 Literatur

- (1) MITCHELL, P. Top 10 business risks and opportunities – 2020 [online], 2019. 24 September 2019 [Zugriff am: 20. Januar 2020]. Verfügbar unter: <https://go.ey.com/2LI10oe>
- (2) DEUTSCHLAND – EXTRACTIVE INDUSTRIES TRANSPARENCY INITIATIVE. BIP und Umsatz [online], 2019. 23 April 2019 [Zugriff am: 20. Januar 2020]. Verfügbar unter: <http://www.rohstofftransparenz.de/daten/BIP/>
- (3) BUNDESAGENTUR FÜR ARBEIT. Arbeitsmarkt nach Branchen. Region Deutschland. aus Reihe: Tabellen und Grafiken, 30. Dezember 2019.
- (4) KOLB, D.A. und R.E. FRY. Toward an Applied Theory of Experiential Learning: M.I.T. Alfred P. Sloan School of Management, 1974.
- (5) FREEMAN, R.E. Strategic management. A stakeholder approach. [Nachdr.]. Boston, Mass.: Pitman, 1984. Pitman series in business and public policy. ISBN 0273019139.
- (6) HUEMANN, M., P. ESKEROD und C. RINGHOFER. Rethink! Project Stakeholder Management. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2016. ISBN 9781628250855.
- (7) GARDENSWARTZ, L. und A. ROWE. Diverse teams at work. Capitalizing on the power of diversity. New York: McGraw-Hill, 1994. ISBN 9780786304257.
- (8) PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Sixth edition. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017. PMBOK guide. ISBN 9781628251845.

Angela Binder
angela.binder@tu-clausthal.de

Sandra Nowasad

Prof. Dr. Oliver Langefeld

TU Clausthal
Institut für Bergbau
Erzstraße 20
38678 Clausthal-Zellerfeld

Einsatzerfahrungen mit einem pneumatischen Fördersystem beim Schachtabteufen

T. Ahlbrecht

Redpath Deilmann GmbH

Abstract

In Weißrussland wird seit ca. 60 Jahren intensiv Kalibergbau betrieben, der bisher vom staatlichen Unternehmen Belaruskali in sechs Bergwerken durchgeführt wird. Seit 2011 wird das privat finanzierte Bergwerk Nezhinskiy in der Lagerstätte bei Soligorsk geplant und 2016 wurde mit dem Bau dieses Bergwerks auf der "grünen Wiese" begonnen. Die Planung aus dem Jahr 2011 sah zunächst das Abteufen von zwei Schächten im Gefrierverfahren und mit Anwendung von Bohr- und Sprengarbeit vor. Im Jahr 2016 wurde vom zukünftigen Betreiber Slavkaliy entschieden, eine neue Technologie für das Abteufen anzuwenden, das mechanisierte Schachtbohren aus dem Vollen mit Maschinen der Herrenknecht AG, Schwanau.

1 Allgemeines

In Weißrussland wird seit ca. 60 Jahren intensiv Kalibergbau betrieben, der bisher vom staatlichen Unternehmen Belaruskali in sechs Bergwerken durchgeführt wird. Das Hauptrevier liegt um die Stadt Soligorsk, die sich ca. 200 km südlich der Hauptstadt Minsk befindet. Der Abbau erfolgt im Strebbau ohne Versatz im Bruchbau in Teufen von 440 – 1100 m. Unter den Kaliproduzenten belegt Belaruskali den 4. Platz. Außerhalb dieses Reviers ging im Jahr 2019 das Bergwerk Petrikovsk in Betrieb.

Seit 2011 wird ein privat finanziertes Bergwerk namens Nezhinskiy in der Lagerstätte bei Soligorsk geplant und 2016 wurde mit dem Bau dieses Bergwerks auf der "grünen Wiese" begonnen. Das Unternehmen Slavkaliy gehört dem russischen Oligarchen M. Gutseriev, der einen erheblichen Teil der Finanzierung beisteuert. Der größere Teil der Finanzierung erfolgt über das chinesische Unternehmen Sinomec. Sinomec fungiert in der Abwicklung als Generalunternehmer.

Die Planung aus dem Jahr 2011 sah das Abteufen von zwei Schächten im Gefrierverfahren und mit Anwendung von Bohr- und Sprengarbeit vor. Der lichte Durchmesser sollte 7,0 m bei einer Teufe von ca. 750 m betragen.

Der geplante Schacht 1 soll als Förderschacht und der geplante Schacht 2 als Seilfahrts- und Materialschacht genutzt werden. Bis zu einer Teufe von 150 m ist eine so starke Wasserführung erkundet worden, dass die Anwendung des Gefrierverfahrens bis 165 m Teufe erforderlich ist.

Das Deckgebirge besteht von oben nach unten aus Sand, Ton, Kreide, Tonstein und Dolomit und die Lagerstätte wird bei etwa 450 m Teufe und einer Wechsellagerung aus Steinsalz und Kali erreicht. Die Schachtröhren werden bis zu einer Teufe von 320 m wasserdicht mit gusseisernen Tübbing ausgebaut. Als vorläufiger Ausbau wird im Tübbingabschnitt ein unbewehrter Beton eingebracht. Im Salzschat wird ein reiner Betonausbau verwendet (Abbildung 1, Abbildung 2).

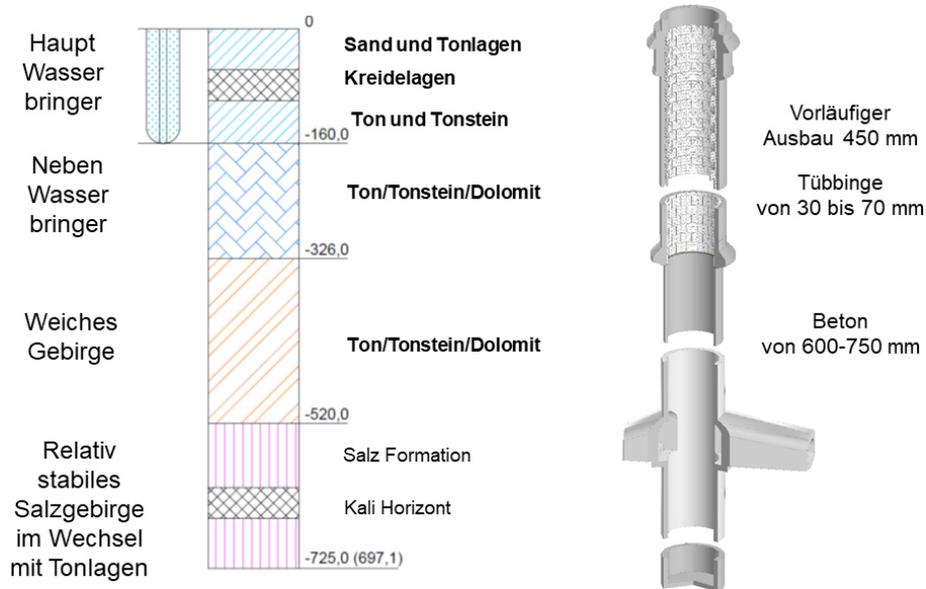


Abbildung 1: Geologie und Ausbau der Schächte

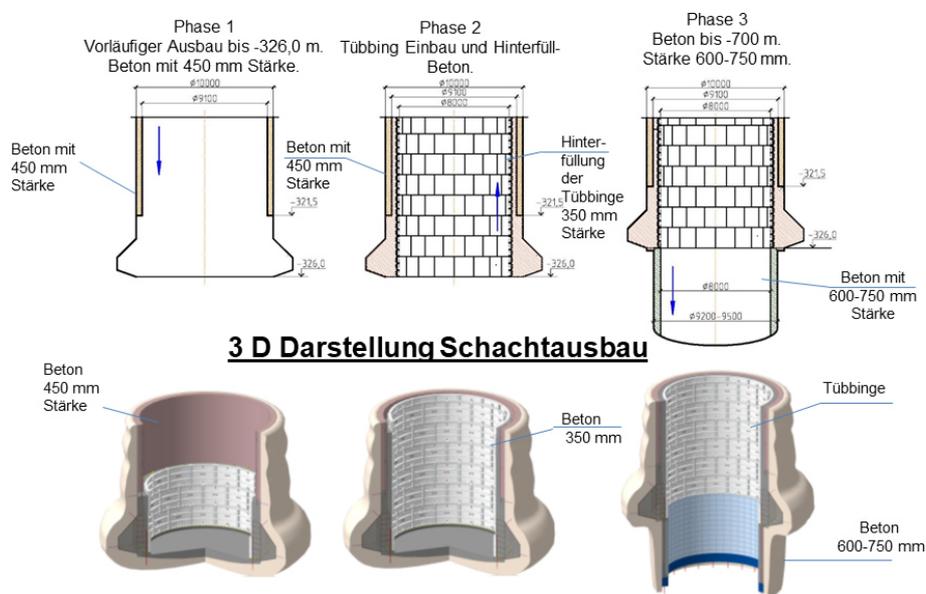


Abbildung 2: Bauablauf für den Schachtausbau

Das Bergwerk wird in ca. 680 m Teufe an die Schächte angeschlossen. Weitere Füllörter werden nicht erstellt. Die schachtnahen Grubenräume sind in Abbildung 3 dargestellt. Im Auftragsumfang sind 9 km Streckenauf fahrung enthalten.

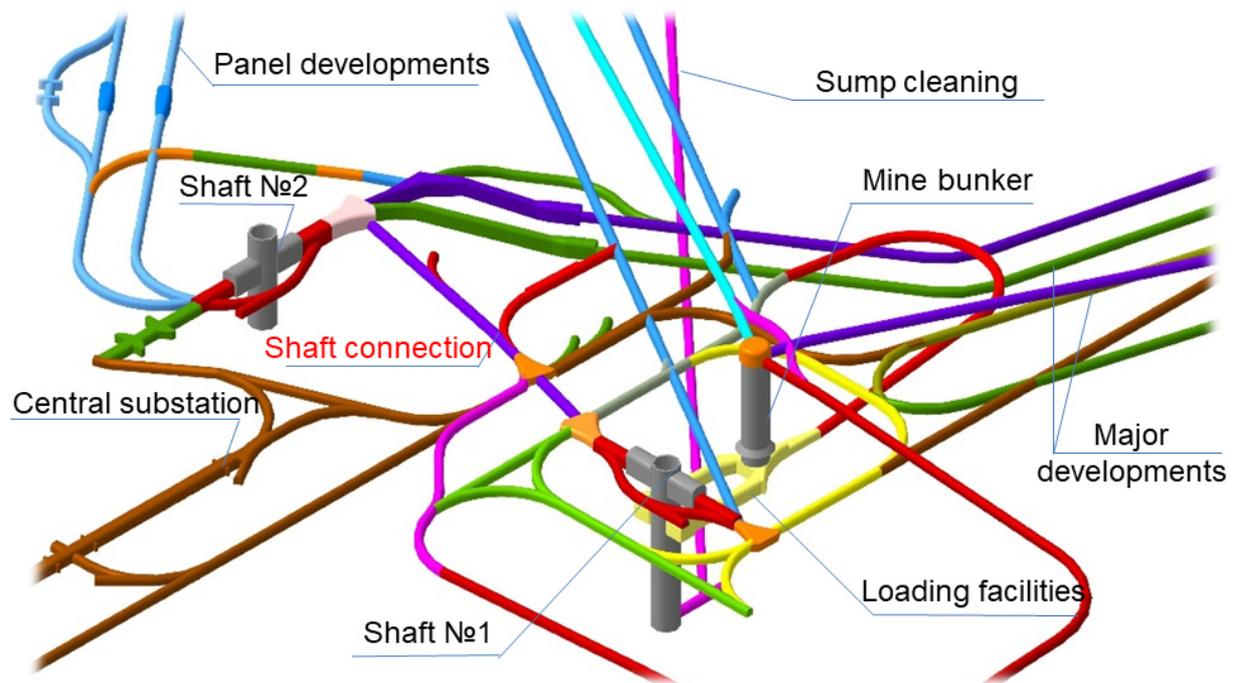


Abbildung 3: Schachtnahe Grubenräume

Im Jahr 2016 wurde vom zukünftigen Betreiber Slavkaliy entschieden, statt Teufen mit Bohr- und Sprengarbeit eine neue Technologie für das Abteufen anzuwenden, nämlich das mechanisierte Schachtbohren aus dem Vollen mit Maschinen der Herrenknecht AG, Schwanau. Die Herrenknecht AG ist seit Jahrzehnten Technologie- und Weltmarktführer für Tunnelbohrmaschinen. Seit etwa 10 Jahren entwickelt man dort auch Maschinen für den Einsatz im Bergbau und dabei insbesondere im Schachtbau.

Herrenknecht hat verschiedene bereits in den 1970er und 1980er Jahren eingesetzte Komponenten neu kombiniert und mit dem heutigen Stand der Technik weiterentwickelt. Für den Einsatz der Herrenknecht-Maschine auf dem Bergwerk Nezhinskiy mussten die Durchmesser der Schächte um 1 m auf 8,0 m vergrößert werden.

2 Maschinelles Schachtabteufen

Für das maschinelle Schachtabteufen gibt es zwei Verfahren zur Abförderung des gelösten Materials:

- Die hydraulische Förderung, bei welcher der Vollschnittbohrkopf unter Wasser betrieben und das Wasser-/Berge-Gemisch abgepumpt wird, um es dann auf der Maschine zu separieren und die Berge mit Kübeln nach über Tage zu fördern.
Mit Maschinen der Fa. Wirth wurde dieses Verfahren von der Deilmann-Haniel GmbH, heute Deilmann Redpath, Dortmund, in zwei Schächten in der Steinkohle eingesetzt und man plante 1984/1985 weitere Entwicklungen und Anwendungen, zu denen es allerdings nicht mehr kam.
- Die pneumatische Förderung ist die zweite Methode, die mit einem Teilschnittausleger in trockenen Verhältnissen arbeitet. Diese Technik wurde 1984/85 von Gewerkschaft Walter, später Deilmann-Haniel, in zwei Schächten, einmal Steinsalz und einmal Steinkohle, eingesetzt. Auch für dieses Verfahren plante man weitere Verbesserungen und entwickelte eine leistungsfähigere Maschine, welche dann ebenfalls nicht mehr zur Anwendung kamen.
Der Schneidausleger dieser Maschinen wurde im Übrigen damals von Herrenknecht geliefert und das Saugsystem zur Abförderung wurde aus der Schiffsentladung bezogen.
- Entwicklung der Herrenknecht AG – Schachtbohrmaschine Typ SBR Shaft Boring Roadheader

Im Jahr 2010 startete Herrenknecht einen neuen Einsatz dieser Technologie unter der Bezeichnung “Shaft Boring Roadheader (SBR)” zum Einsatz in weichem und mittelhartem Gestein bis ca. 100 MPa Festigkeit.

Die erste Anwendung erfolgte ab 2012 in zwei Kali-Schächten in Kanada für das Bergwerk Jansen der BHP Billiton ebenfalls in Kombination mit dem Gefrierverfahren. Diese Maschinen stellten die erste Generation SBR dar und lieferten wertvolle Erfahrungen für die zweite Generation SBR, die 2016/2017 gemeinsam von Herrenknecht und der damaligen Deilmann-Haniel GmbH im Detail entwickelt wurde. Es wurden zahlreiche grundsätzliche Änderungen, aber auch viele Detailarbeiten durchgeführt, um einen stabilen Betrieb mit 3,0 m/d Bohrfortschritt zu erreichen.

3 Funktionsweise der SBR

Die Schachtbohrmaschine vom Typ SBR hat am unteren Ende einen 360° schwenkbaren, teleskopierbaren Schneidausleger mit einer horizontal angeordneten Schneidtrommel. Diese Schneidtrommel wird hydraulisch mit 600 kW angetrieben und hat wie alle Teilschnittmaschinen nur eine Drehrichtung zur Schachtmitte. Diese Schneidtrommel hat einen Durchmesser von 1,2 m und eine Breite von 1,5 m und ist mit Rundschaftmeißeln bestückt (Abbildung 4).

Die Schneidsequenz beginnt immer in der Schachtmitte und wird nach außen geführt. Dadurch entsteht eine schüsselförmige Schachtsohle, die mit verschiedenen automatisierten Schneidmustern erstellt wird. Die Walze sticht maximal 0,2 m tief ein und wiederholt diesen Vorgang bis zu sechsmal, um den Schacht 1,20 m tief auszubringen. Der Ausbruchdurchmesser ist in vorher festgelegten Bereichen variabel, sodass auch Fundamente für den Schachtausbau und Füllortansätze geschnitten werden können.

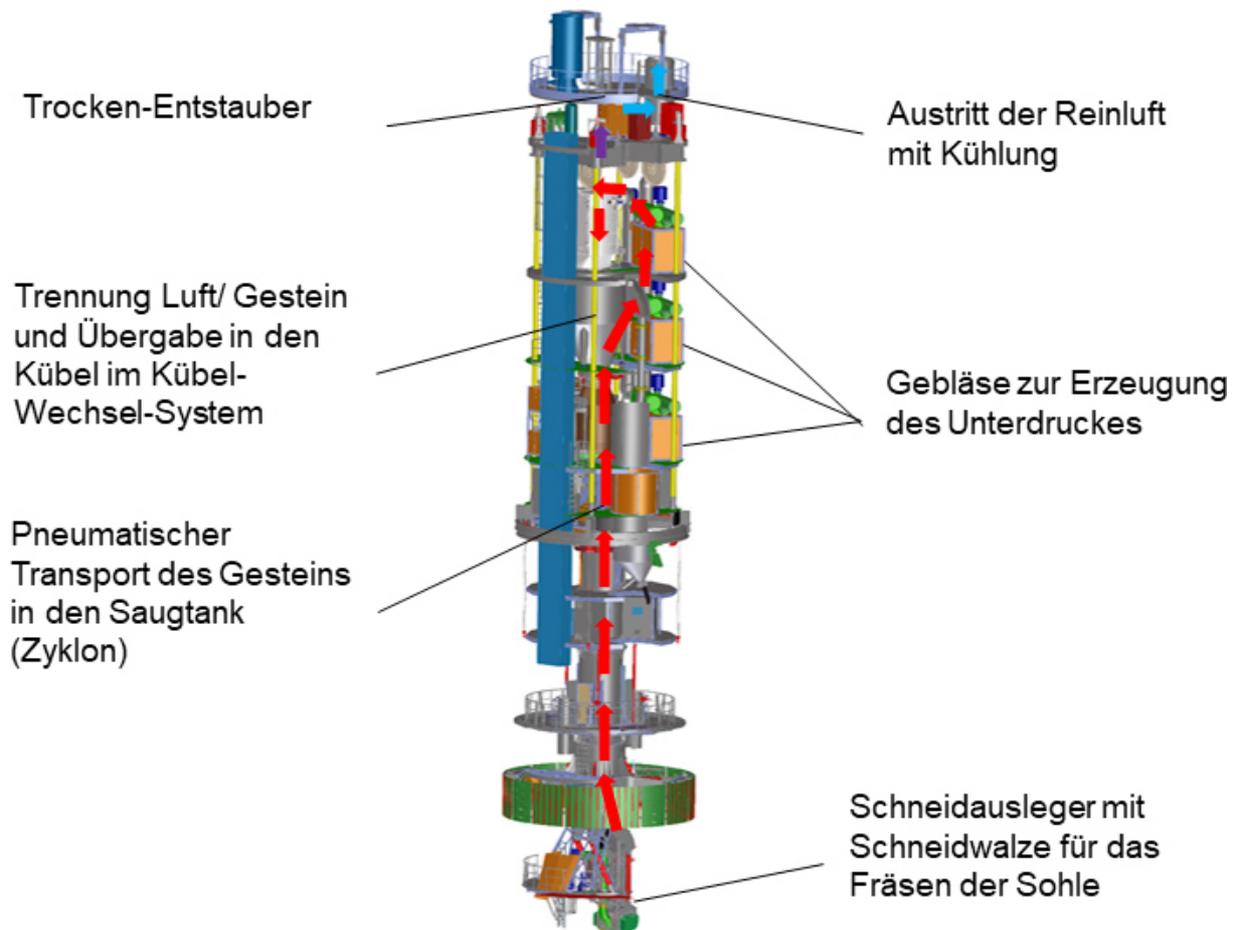


Abbildung 4: Funktionsweise der Schachtbohrmaschine

Herrenknecht entschied sich wegen des Einsatzes im Gefrierschacht für die pneumatische Förderung der Berge von der Schachtsohle. Das System wird als Pneumatic Mucking System (PNM-System) bezeichnet. Die Ansaugöffnung befindet sich auf ganzer Breite direkt an der Schneidtrommel auf der Schachtinnenseite.

Von diesem Ansaugkasten führt die Saugleitung ca. 30 m senkrecht aufwärts bis zu einem Saugtank, der nach dem Prinzip des Zyklons arbeitet. Die Saugluft wird oben aus dem Saugtank in einen Trockenentstauber geleitet. Die Sauggebläse sind auf der Reinluftseite mit dem Entstauber verbunden. Diese Gebläse erzeugen den erforderlichen Unterdruck, um das gelöste Gestein von der Schachtsohle zu entfernen. Es werden drei Drehkolbengebläse der Aerzener Maschinenfabrik mit jeweils 315 kW Antriebsleistung eingesetzt. Die Abluft aus dem PNM-System hat Temperaturen von max. 70 °C, was im Gefrierschacht Auftauvorgänge auslöst und das Grubenklima deutlich verschlechtert. Daher wurde in der SBR der zweiten Generation ein Kühler für die PNM-Abluft und andere Komponenten installiert, der ca. 800 kW Abwärme mit einem Kühlwasserkreislauf nach Übertage bringt.

Außerdem werden in einer Bewetterungsanlage über Tage die Frischwetter im Winter erst geheizt und hinter den Ventilatoren bis max. 2 °C stark abgekühlt, um das Kondensat auszufällen. Die Wetterheizung hat 520 kW Leistung und die Wetterkühlung 2.200 kW Leistung, die von den Gefriermaschinen abgegriffen werden.

Unten am Saugtank wird der Bergkübel druckdicht angedockt und direkt während des Saugvorgangs gefüllt. Der leere Kübel mit 7 m³ Inhalt wird mit einem Drehtisch aus der Förderung unter den Saugtank gebracht. Das gesamte Saugsystem der zweiten Generation wurde für das Beherrschen von wassergesättigten und verklebungsanfälligen Gebirgsschichten für den Einsatz in Weißrussland optimiert.

Die SBR stellt eine Kombination aus Abteufmaschine und Arbeitsbühne dar, weil eine weitere Arbeitsbühne im Schacht problematisch ist. Die Maschinen sind für einen maximalen Schneid-Durchmesser von 12 m ausgelegt worden.



Abbildung 5: Werksmontage der SBR im Sommer 2018

Beide Maschinen wurden im Werk Schwanau aufgebaut, wobei eine Maschine komplett übereinander aufgebaut wurde und alle Funktionen gefahren werden konnten (Abbildung 5). Dabei konnten alle Systeme getestet und eingestellt werden. Die Baustellenmannschaft von Herrenknecht und Redpath Deilmann war in dieser Zeit wochenlang auf den Maschinen, um die Mitarbeiter mit den Details vertraut zu machen. Die Werksabnahme der ersten Maschine erfolgte im Juli 2018 in Schwanau.

4 Abteufanlage

Bei der SBR für Belarus wurde frühzeitig entschieden, zwei getrennte Förderanlagen zu verwenden. Es gibt eine Fördermaschine, die ausschließlich Berge fördert. Dafür wird eine Eintrommelmaschine mit 10 m/s Fahrgeschwindigkeit, 252 kN Zugkraft und 2 x 1.400 kW Antriebsleistung verwendet. Die andere Förderung ist für Seilfahrt, Material- und Betontransport vorgesehen. Dazu wird ebenfalls eine Eintrommel-Maschine mit 6 m/s Fahrgeschwindigkeit, 215 kN Zugkraft und 2 x 750 kW Antriebsleistung eingesetzt (Abbildung 6).

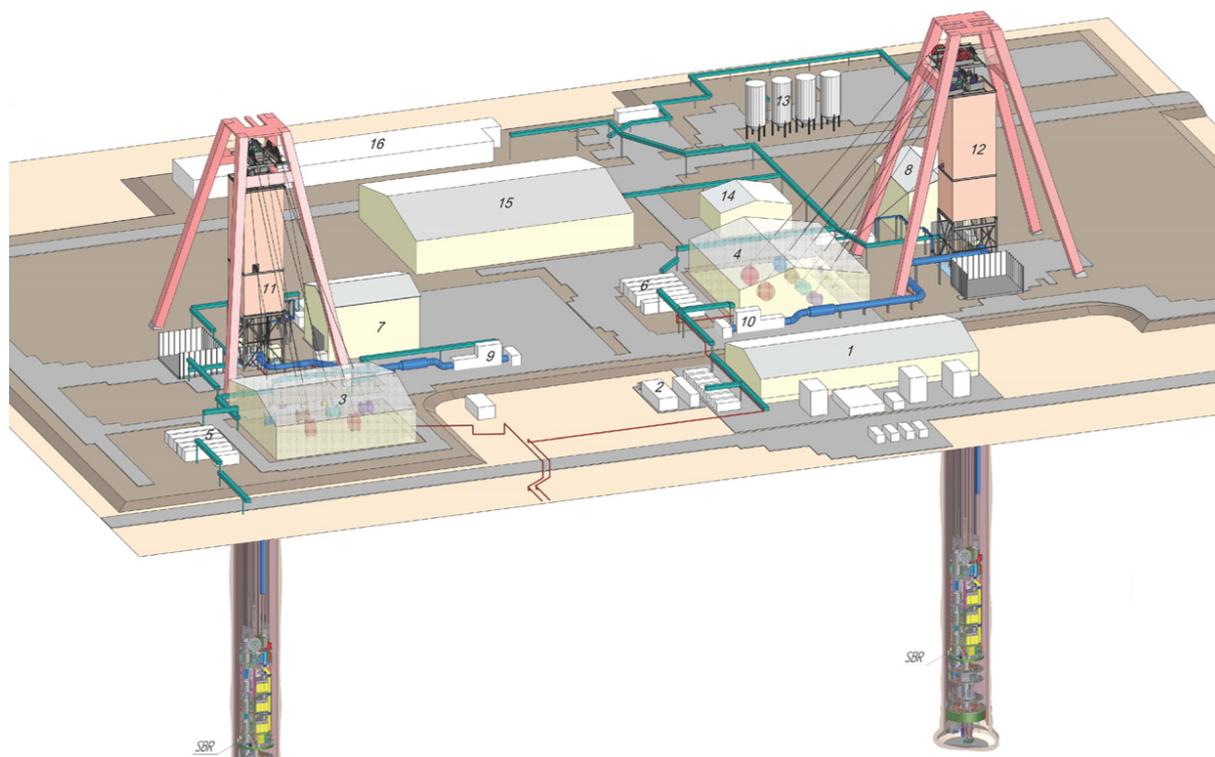


Abbildung 6: Übersicht über die Abteufanlagen über Tage

In der SBR gibt es oberhalb der Schalung einen Betonverteilterbehälter, der eine Kübelfüllung Beton aufnehmen kann. Dieser Behälter kann rund um den Schacht gefahren werden, um die Schalung gleichmäßig mit Beton zu füllen.

Die SBR wurde so gestaltet, dass beide Förderungen bis zur Sohle fahren können. Dies ist im Hinblick auf den Wechsel großer Maschinenteile unerlässlich und kann auch für den Fall, dass das pneumatische Abfordern der Berge nicht möglich sein sollte, zur Direktbeladung der Kübel auf der Sohle genutzt werden.

Die SBR hat ein Gewicht von 400 t und ist mit 11 Etagen ca. 50 m hoch. Bedingt durch den Teilschnittausleger und das Gewicht kann die Maschine nicht im Schacht verspannt werden, sondern hängt permanent an Seilen und Winden. Die vier SBR-Winden je Schacht verfügen über eine Zugkraft von 455 kN, ermöglichen eine Fahrgeschwindigkeit von 0,2 m/s und sind für 3.300 m Seil mit 54 mm Durchmesser ausgelegt. Der Vollständigkeit halber sollen noch die Kabeltragseilwinden und die Notfahrwinden an jedem Schacht erwähnt werden.

Das Maschinengewicht und die im Schachtbau üblichen Sicherheitsfaktoren bedingen zwölf Seilstränge, weil die Aufhängeseile mehrfach eingesichert werden müssen. Die Aufhängung an den Seilen erfolgt weit oben in der Maschine, um große Einbauräume für das PNM-System und die Kübelbeladung zu erhalten. Trotzdem sind die Decks der SBR voll mit Aggregaten und relativ eng gepackt, weil die Kernmaschine nur 7,2 m Durchmesser haben kann.

Die Maschine wird mit einem Prätzen-/Schildsystem oben an der Kernmaschine ca. 7 m über der Sohle zentriert und in der Mitte der SBR nochmals mit kleinen Prätzen stabilisiert. Eine Lastabtragung des Maschinengewichts erfolgt durch diese Schilde jedoch nicht.

Die Gebirgsbeherrschung und das Einbringen des Schachtausbaus aus Beton bzw. Tübbing erfolgt von den Etagen 2 - 4. Das Deck 3 ist innerhalb der SBR um 2,0 m vertikal verfahrbar, um jederzeit die Schalung erreichen zu können. Bei einer Abteufleistung von 3,0 m/d und einer Betonschalung mit 4,8 m Höhe müssen diese beiden Vorgänge entkoppelt werden, weil mit dem Umsetzen der SBR alle elf Etagen 1,2 m abgesenkt werden.

Die sinnvolle Kombination von Schneiden und Ausbauen war eine der Hauptaufgaben beim Design der zweiten Generation der SBR. Auch die Betonversorgung war dabei zu berücksichtigen. Dazu wurde auf der Baustelle eine eigene Betonanlage aufgebaut und die geforderten Betonqualitäten wurden nach vielen Versuchen aus den örtlichen Materialien hergestellt. Dabei sind die Erfahrungen von Redpath Deilmann aus vielen Schachtbauprojekten sowie die Erfahrungen von Herrenknecht aus der ersten Generation der SBR eingeflossen.

5 Auftrag für Deilmann-Haniel Juli 2017

Im Juli 2017 wurde der Vertrag zwischen Slavkaliy und Deilmann-Haniel in Minsk unterschrieben. Unmittelbar danach beauftragte Deilmann-Haniel Herrenknecht mit dem Bau und der Lieferung von zwei Schachtbohrmaschinen SBR MI 029 und 030. Mit hohem Zeitdruck wurden alle Planungs- und Beschaffungsvorgänge gestartet und vorangetrieben, denn zahlreiche Maschinen und Geräte waren für die geforderten Dimensionen neu zu beschaffen.

Durch Slavkaliy wurde sehr frühzeitig festgelegt, dass das Abteufen mit den endgültigen Fördergerüsten erfolgen soll. Dadurch entstanden zahlreiche Schnittstellen, die mit dem Planer in Moskau zu klären waren. Diese Prozesse waren wegen verschiedener Kulturen in Deutschland und in Belarus sowie Russland nicht immer einfach und forderten alle Beteiligten. Insbesondere die Förder- und Windentechnik musste komplett konzipiert und neu beschafft werden sowie nebenbei die Energie- und Druckluftversorgung, die Bewetterungsanlage, Seile, Seilscheiben, Kabel, Rohre usw. Das Bohren der Gefrierlöcher war Leistung des Auftraggebers und wurde durch einen weißrussischen Unternehmer durchgeführt.

Die SBR hat eine installierte Leistung von 2.000 kW, die auf der Spannungsebene 10 kV zur Maschine gebracht wird. Die SBR wird über LWL-Kabel mit allen wesentlichen Einrichtungen über Tage verbunden, denn die Schachtsignalanlage und die Fördermaschinen sowie die SBR-Winden müssen einen umfangreichen Datenaustausch untereinander betreiben. Alle Maschinen und Geräte auf der Baustelle werden mit einem Prozessleitsystem verknüpft, um ständigen Zugriff auf Betriebszustände und Störungsmeldungen in einer Zentrale zu erhalten. Mit diesem System werden auch die Laufzeiten aufgenommen, um Daten zur Schwachstellenanalyse zu erhalten (Abbildung 7).

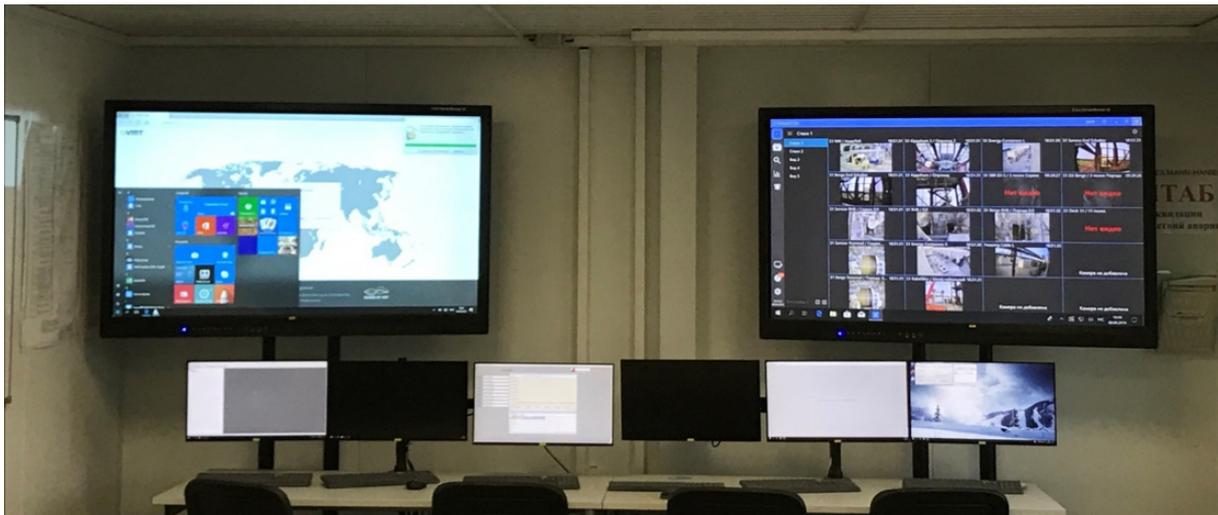


Abbildung 7: Prozessleitsystem/Baustellenwarte

6 Ablauf der Bauarbeiten bis Herbst 2019

Im Oktober 2017 begannen die ersten Mitarbeiter von Redpath Deilmann auf der Baustelle mit dem Aufbau der Gefrieranlagen und dem Installieren des Rohrsystems.

Die Gefrieranlage setzt sich aus sechs Gefriermaschinen mit je 500 kW Leistung zusammen, sodass eine Gefrierkapazität von 3.000 kW bei einer Soletemperatur von -35°C erreicht wurde. Pro Schacht wurden 40 Gefrierlöcher erstellt. Zur Kontrolle der Frostausbreitung gibt es je Schacht drei Temperaturmesslöcher. Die Auswertung und Modellierung der Messdaten erfolgt bei Redpath Deilmann in Dortmund.

Das Gefrieren begann im Februar 2018. Parallel wurden Fundamente gebaut und der Schachtkragen erstellt. Im April 2018 konnte nach Erreichen der erforderlichen Frostwandstärke das Teufen der Vorschächte bis 50 m Teufe begonnen werden. Der Aushub in den Vorschächten erfolgte mit Kompaktbaggern und es wurde ein Außenbeton direkt über der Sohle eingebracht. Nach Fertigstellung der Vorschächte wurde der Aufbau der Fördergerüste in bemerkenswert kurzer Zeit durch einen Stahlbauer aus Belarus durchgeführt.

Parallel wurden beide SBR bei Herrenknecht in Schwanau hergestellt und im Rahmen der Werksmontage aufgebaut. Die Maschine MI 029 wurde in einem Turm komplett montiert und für Tests betriebsbereit gemacht. In diesen Tests wurde das PNM-System komplett durchgeföhren und justiert. Herrenknecht hat bei diesen Tests verschiedene Arten von Boden verwendet, um die Grenzen des Saugsystems zu auszuloten. Die Werksabnahmen der SBR wurden im Frühsommer 2018 durchgeführt. Anschließend wurden die Maschinen demontiert und nach Belarus transportiert.

Die vier Fördermaschinen, die acht SBR-Winden und zwei Notfahrwinden wurden parallel in Deutschland und Österreich gebaut, abgenommen und zur Baustelle transportiert. Alle vorhandenen Geräte wurden einsatzbereit gemacht sowie etwa 15 Trafo- und Energie-Container nach Belarus gebracht. Auch ein Betonwerk sowie die Lüfteranlagen waren zu berücksichtigen.

Ziel war ein Teufbeginn mit der ersten SBR noch im Jahr 2018. Nach der Taufe beider Maschinen durch Kinder aus der Nähe der Baustelle auf die Namen „Olga“ und „Uljana“ startete am 11. Dezember 2018 die SBR MI 029 und es wurde der erste Kübel gekippt. Die SBR MI 030 hat Mitte Januar 2019 angeschnitten.

Das Teufen begann im Gefrierschacht relativ problemlos, aber in der Folge gab es einige Überraschungen zu meistern. An der Saugleitung der SBR entstand schneller als erwartet starker Verschleiß und es traten bald erste Löcher auf, die zu „flicken“ waren. Verklebungen im Saugsystem kosteten viel Zeit und Mühe (Abbildung 8).



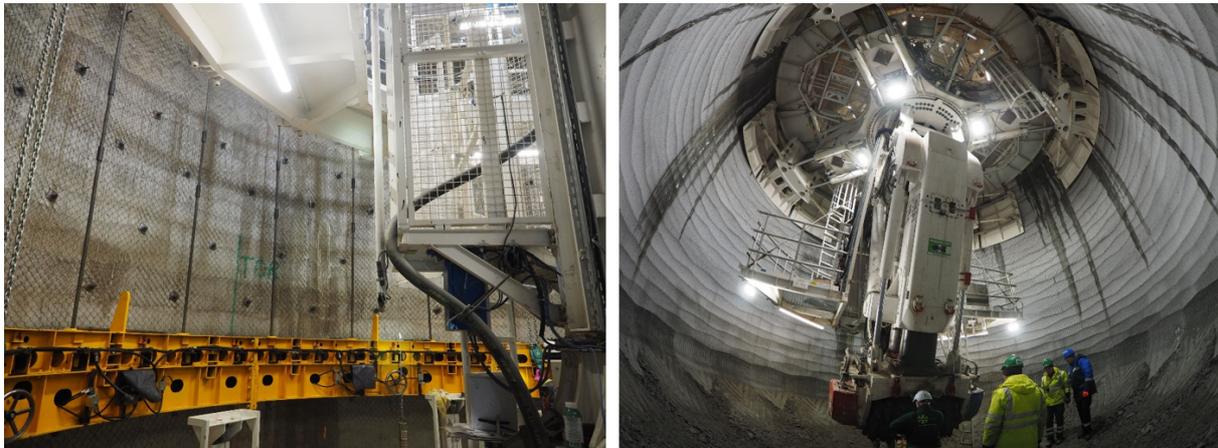
Abbildung 8: Starker Verschleiß an der Saugleitung

Nach dem Erreichen einer sehr klebrigen Kreideschicht ließen sich die Kübel kaum noch entleeren (Abbildung 9). Teilweise musste 10-mal gekippt werden und manche Kübel mussten von Hand geleert werden. Schließlich wurde mit dem Einbau von Rutschen ein Weg gefunden, das Problem zu entschärfen. Danach wurde im Gefrierschacht eine Teufleistung > 3 m/d erreicht und auch an der 4 m-Marke gekratzt, was als großer Erfolg einzustufen ist.



Abbildung 9: Entleerung der Bergeskübel

In beiden Schächten wurde eine modernisierte Schalung mit hydraulischen Schubladen zur Abdichtung an der Schachtwand eingesetzt. Das System ist eine Eigenentwicklung von Redpath Deilmann, die zum Patent angemeldet wurde (Abbildung 10).



**Abbildung 10: Erfahrungen beim Teufen
Photos/Fotos: Reedpath Deilmann**

Zu einem gravierenden Problem kam es dann in Schacht 2 bei einer Teufe von 170 m unter dem Gefrierschacht, wo ein weicher Ton anstand. Ende März brach der Schacht in großem Umfang aus und musste, weil das nicht zu stoppen war, mit einigen hundert Kubikmetern Beton verfüllt werden (Abbildung 11). Dieser große Ausbruch hat zu fast vier Wochen Unterbrechung der Teufarbeiten geführt.



Abbildung 11: Verbrauch der Schachtwand unter dem Gefrierabschnitt in Schacht 2 Anfang März 2019

Es wurden viele Ideen zur Beherrschung der schlechten Geologie diskutiert, die aber alle wieder verworfen wurden. Drei Varianten wurden schließlich näher betrachtet und Slavkaliy vorgeschlagen:

- Ankerausbau in der Schneidkammer
- Anker und Spritzbeton in der Schneidkammer
- Einsatz der Schalung so nah wie möglich zur Sohle

Die Entscheidung fiel dafür, die Schalung so tief wie möglich unten zur Sohle zu bringen, um das Gebirge möglichst schnell abzustützen (Abbildung 12). Das erwies sich als der richtige Weg und die Teufarbeiten konnten wieder aufgenommen werden. In der Folge wurden regelmäßig Leistungen von bis zu 4 m/d erreicht. Darüber hinaus wurden weitere Details an der Schalung verändert, um sicher von Deck 2 gleichzeitig mit dem Schneiden arbeiten zu können.

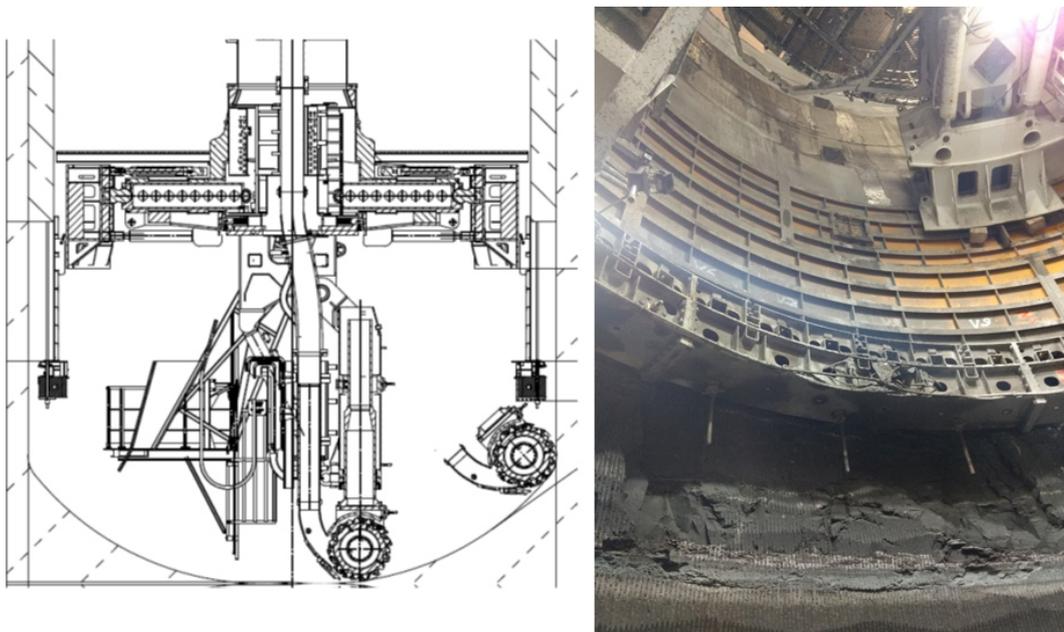


Abbildung 12: Entscheidung: Schalung nahe zur Sohle und Schalung verkürzt.

Der Mai war bisher der Rekordmonat und die Teufleistungen haben den Rekord im Schachtbau in Weißrussland übertroffen. Der lag mit Bohren und Sprengen bei 80,8 m. Trotz schlechter Geologie wurden in Schacht 2 88 m und in Schacht 1 82,7 m erreicht. Diese Leistung ist auch deshalb besonders erwähnenswert, weil in nur wenigen Wochen aus vielen neuen Kollegen eine Teufmannschaft aufgebaut wurde (Abbildung 13).



Abbildung 13: Teufrekord Belarus im Mai 2019: 88,8 m Schacht 2.

Im Juni 2019 wurde die 300 m-Marke erreicht und bei 326 m wurde das Abteufen gestoppt, um die Tübbinge auf dem Weg nach nach oben einzubauen. Diese wurden schneller als geplant eingebracht, wobei nach Aussage des Auftraggebers Weltrekorde erzielt werden konnten. Ohne dies nachprüfen zu können, waren die Leistungen auf jeden Fall sehr gut. Die Gefriermaschinen sind inzwischen abgeschaltet und zurzeit werden die Tübbingsäulen in einer umfangreichen Aktion verpresst, um die Dichtigkeit der Schächte zu erreichen. Die SBR werden dabei als Arbeitsbühnen benutzt, was sich als unproblematisch erwiesen hat.

Ausgewählte Teile der SBR befinden sich zur Überholung in Deutschland und werden demnächst wieder in die Maschinen eingebaut.

7 Resümee

Auf der Baustelle in Belarus wurde mit den SBR-Maschinen etwas geschafft, was technisch einen enormen Fortschritt bedeutet. Viele Details waren völlig neu, denn das Schachtabteufen mit diesen Maschinen ist High-Tech. Alle auf der Baustelle - das sind Weißrussen, Russen und Deutsche sowie Mitarbeiter von Herrenknecht aus weiteren Ländern der Welt - haben die neuen Maschinen angenommen und der Ehrgeiz und die Zielstrebigkeit aller ist deutlich spürbar.

Redpath Deilmann wird neben dem Bau der Schächte, dem Einbau der Spurlatten und der Füllörter auch den Bau schachtnaher Grubenräume sowie die Ausrichtung bis zum ersten Abbaustreb mit mehreren Kilometern Auffahrungslänge abwickeln. Die Fertigstellung ist für Ende 2021 bzw. Anfang 2022 geplant.

Thomas Ahlbrecht

thomas.ahlbrecht@deilmann-haniel.com

Deilmann-Haniel GmbH
Haustenbecke 1
44319 Dortmund

Innovative Rettungsfahrzeuge als Lösung für die sich ändernden Gefahren und Sicherheitsanforderungen im Berg- und Tunnelbau

S. Wiegand

Drägerwerk AG & Co. KGaA

H. Hörnschemeyer

Herrmann Paus Maschinenfabrik GmbH

Zusammenfassung

Die Dräger Safety AG & Co. KGaA und die Hermann Paus Maschinenfabrik (PAUS) entwickeln seit mehreren Jahren gemeinsam hochwertige und komplexe Rettungsfahrzeuge für den weltweiten Einsatz im untertägigen Bergbau.

Durch die bekannte Kompetenz von Dräger im Bereich von Rettungs- und Fluchtlösungen, Atemschutz und Gasüberwachung und dem Fachwissen und der Erfahrung von PAUS im Bereich des Maschinen- und Fahrzeugbaus für den Bergbau, wurde die Grundlage für die erfolgreiche Entwicklung innovativer und hochanspruchsvoller Rettungsfahrzeuge geschaffen.

Gruben unterliegen heute einem starken Wandel. Sie werden tiefer und die Distanzen, die bei Flucht und Rettung zurückzulegen sind, werden länger. Darüber hinaus nehmen auch die Brandrisiken aufgrund des stark zunehmenden Einsatzes elektronischer Komponenten und Bauteile bei Maschinen, Fahrzeugen, Anlagen und sonstigen Gerätschaften zu.

Dieses führt dazu, dass im Falle eines Brandes oder auch einer Kontamination Rettungskräfte heute immer größere Entfernungen zurücklegen müssen, bevor sie an den Ort des Notfalls gelangen, und mit Kreislaufatemschutzgeräten steht ihnen dabei nur eine begrenzte Dauer der Atemluftversorgung zur Verfügung.

Die Fahrzeuge vom Typ MRV (Mine Rescue Vehicle) gehen genau diese Herausforderung an, indem für einen sicheren Transport von Rettungskräften und Gerätschaften so nah wie möglich an den Einsatzort heran gesorgt wird, ohne dass dabei die Atemschutzgeräte eingesetzt werden müssen.

Der Einsatz und die Erfahrungen mit dem MRV haben gezeigt, dass es einen zunehmenden und begründeten Bedarf für diese „neue Generation“ von Rettungsfahrzeugen gibt.

1 Motivation und Herausforderungen

Der Berg- und Tunnelbau hat sich in den vergangenen Jahrzehnten rasant entwickelt.

Auf der einen Seite gibt es durch das weltweite Wachstum einen gestiegenen Bedarf an Rohstoffen und Infrastrukturprojekten. Auf der anderen Seite ermöglichen technische Entwicklungen das Erschließen neuer Ressourcen. Viele Tagebaubetriebe gehen in die untertägige Gewinnung über, bestehende Untertagebetriebe erschließen Ressourcen in immer größeren Teufen, neue Bergwerke werden in immer herausfordernden Umgebungen erschlossen und auch der Tunnelbau im Bereich der Infrastrukturprojekte wartet mit immer komplexeren Aufgabenstellungen auf.

Durch die sich ändernden Umgebungsbedingungen ergeben sich zusätzliche Anforderungen in Bezug auf die Sicherheit der dort eingesetzten Mitarbeiter und dem damit verbundenen Rettungswesen der Betriebsstätten.

Dieses zeigt sich besonders bei Bränden oder auch einer Kontamination im untertägigen Bereich. Aufgrund der immer länger werdenden Strecken, die im Falle einer Evakuierung zurückzulegen sind, gilt es entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Diesbezüglich werden gerade in größeren Betrieben schon seit Jahren Flucht- und/oder Rettungskammern eingesetzt:

1.1 Fluchtkammer

Auf dem Weg aus dem Gefahrenbereich helfen Pausen, neue Kraft zu schöpfen und durchzuhalten. Eine Fluchtkammer, die im Einsatzfall über einen Alarmplan aktiviert wird, kann den Flüchtenden für bis zu acht Stunden als Zwischenstation dienen. Neben Kommunikationsmöglichkeiten haben die Betroffenen - bei entsprechender Ausstattung - hier auch Zugriff auf Schutzausrüstungen, die ihnen ein Weiterkommen ermöglichen können.



1.2 Rettungskammer

Wenn im Gefahrenfall der Fluchtweg zu lang oder unter Umständen sogar abgeschnitten ist, bietet eine Rettungskammer den Betroffenen Schutz, bis externe Rettungskräfte zu ihnen vordringen. Und das bis zu 48 Stunden, in Extremfällen sogar bis zu 96 Stunden. Dabei wird die zur Verfügung stehende Luft regeneriert.



Da sowohl Flucht- als auch Rettungskammern, im Hinblick auf die Erreichbarkeit und Betriebszeit, nur bedingt Abhilfe schaffen können, wurde bereits vor Jahren nach zusätzlichen Lösungen gesucht, um die Rettungskette weiter zu optimieren.

2 Umsetzung

Konkreter Bedarf bestand vor allem bei Lösungen, um die Rettungsmannschaften an den Einsatzort zu bringen und/oder Personen zu evakuieren. Aufgrund beschränkter Ressourcen und insbesondere den eingeschränkten Einsatzzeiten beim Arbeiten mit Atemschutzgeräten, wurde schnell nach einer geeigneten mobilen Lösung gesucht. Zum einen sollte diese Lösung in der Lage sein die Rettungsteams möglichst nah an den Einsatzort zu bringen, um dann zusätzliche Kapazitäten und Luftvorräte für die weiteren Rettungsmaßnahmen vorzuhalten und zum anderen sollte diese autark arbeiten können, „bergbautauglich“ sein und ein sicheres Verfahren im untertägigen Einsatz erlauben.

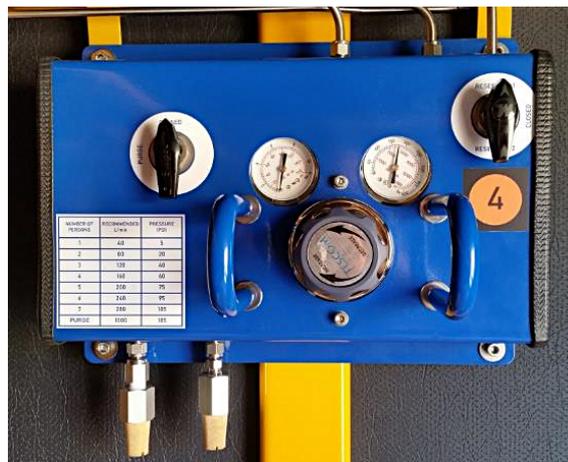
3 Vorstellung Dräger MRV 9000

Das Dräger Grubenrettungsfahrzeug (Mine Rescue Vehicle, MRV) ist die Antwort auf eine sich stetig ändernde Bergbau- und Tunnelbau Umgebung. Mit diesem robusten Fahrzeug wird die Einsatzdauer für Grubenrettungskräfte verlängert, indem für einen sicheren Transport näher an den Einsatzort gesorgt ist. Innovativ und kundenorientiert – das Grubenrettungsfahrzeug ist eine weltweit einzigartige Lösung im Bereich der Grubenrettung.



3.1 Umgebungsluftunabhängig

Sowohl die Fahrerkabine als auch die Kasse sind mit einem Spülluftsystem ausgestattet. Dieses System ist umgebungsluftunabhängig und versorgt die Besatzung mit Atemluft. Sobald das mit persönlichem Atemschutz ausgestattete Team das Fahrzeug verlassen hat, kann der Luftstrom im MRV 9000 für die verbliebene Besatzung reduziert werden. Somit kann die Atemluft aus den gefüllten Gasflaschen geschont werden, um zusätzliche Zeit für den Einsatz einzusparen. Nach der Rückkehr des Teams zum MRV 9000, und sobald die Fahrerkabine und die Kasse erfolgreich gespült wurden, werden die einzelnen Atemschutzgeräte nicht mehr benötigt.



3.2 Überwachungssystem für Sicherheit unter Tage

Die externe und interne Gasüberwachung misst zuverlässig die Konzentrationen von Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Kohlenmonoxid in der Umgebungsluft und im Fahrzeug. Weitere Gase können je nach Kundenapplikation überwacht werden. Wenn Grenzwerte über- oder unterschritten werden, wird die Besatzung durch visuelle und akustische Signale gewarnt. Zusätzlich sind die Messwerte im vorderen und hinteren Bereich des Fahrzeugs deutlich sichtbar. Wärmebildkameras an der Außenseite des Fahrzeugs unterstützen das Team bei der Orientierung in staubigen und rauchigen Umgebungen und können dabei helfen, eingeschlossene Bergleute zu finden.



3.3 Kommunikation

In Abstimmung mit den Kunden werden interne wie externe Kommunikationsmöglichkeiten im Fahrzeug bereitgestellt. Selbst Daten aus den verschiedenen Überwachungssystemen und Kamerabilder können digital und drahtlos der Leitzentrale zur Verfügung gestellt werden.

3.4 Bergbautaughliches Fahrwerk (Trägerfahrzeug)

Das Fahrwerk des Grubenrettungsfahrzeugs wurde von PAUS entwickelt. Es handelt sich hierbei um eine speziell auf die Anforderungen angepasstes Chassis des MinCa 18 A, welches sich bereits seit vielen Jahren als äußerst zuverlässige Lösung im internationalen Berg- und Tunnelbau bewährt hat.

Seither ist es in einer Vielzahl an Konfigurationen erhältlich.



Das Fahrwerk ist vielfach geprüft, stark und robust und wurde stetig den wachsenden Einsatz- und Grubenbedingungen unter Tage angepasst.

Das Trägerfahrzeug bietet u.a. folgende Highlights:

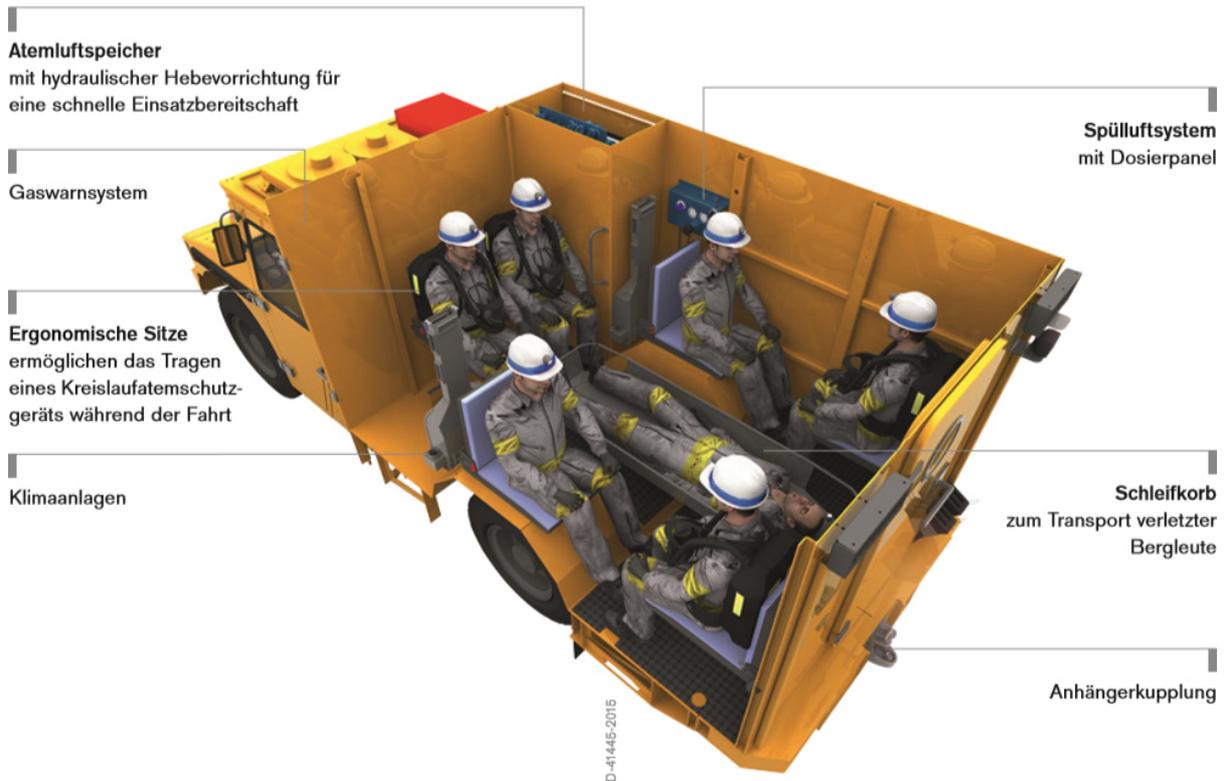
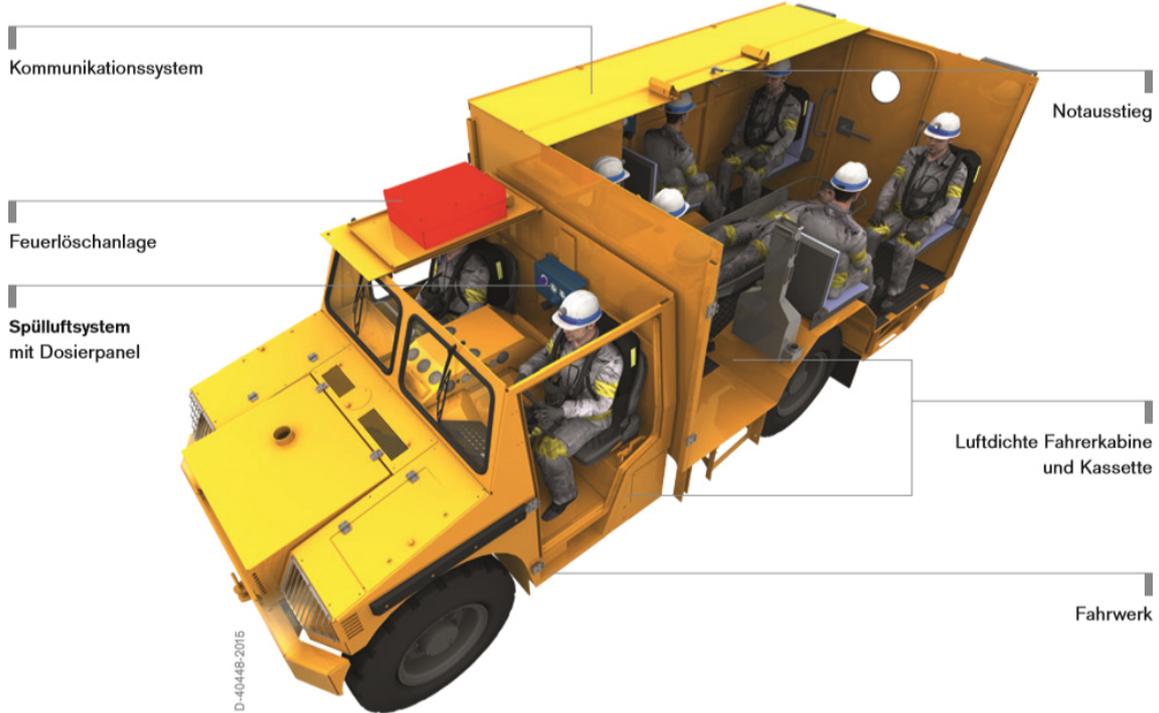
- Äußerst robustes Chassis und hochwertige Komponenten
- 250 mm Federweg für eine sichere Fortbewegung und gleichzeitigem Fahrkomfort auf unebenen Fahrbahnverhältnissen
- Hydrostatischer Antrieb
- Sicheres Bremssystem (Lamellenbremsen, SAHR)
- Hohe Bodenfreiheit
- Hohe Steigfähigkeit
- Geringer Wenderadius
- PUR-schaumgefüllte Reifen zur Vermeidung eines „Platten“ und zur Erhöhung der Hitzebeständigkeit
- Automatisches Feuerlöschsystem für erhöhte Sicherheit
- Einsatz verschiedener Motoren, u.a. mit neuester Abgasstufe Euro V
- ROPS/FOPS geprüfte und äußerst robuste Fahrer- und Rettungskabine
- Optionale und kundenspezifische Features, wie z.B. IT-Vorrüstungen zur Einbindung in digitale Grubennetze



Da PAUS ausschließlich Komponenten anderer spezialisierten Lieferanten der Bergbauindustrie verwendet, können maximale Betriebszeiten bei geringem Wartungsaufwand erreicht werden.

Durch die Kombination des Fachwissens und der Erfahrung von PAUS mit der bekannten Kompetenz von Dräger im Bereich von Rettungs- und Fluchtlösungen, Atemschutz und Gasüberwachung bietet das MRV 9000 ein sowohl qualitativ hochwertiges, als auch den Anforderungen angepasstes Design.

3.5 Die Funktionen im Überblick







4 Ausblick

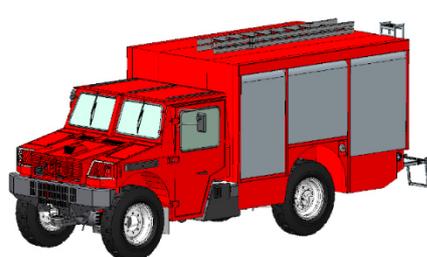
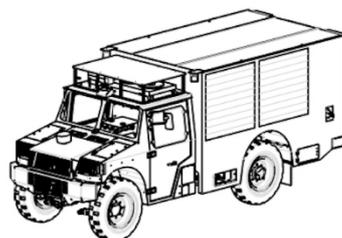
Auf Basis bereits abgewickelter Projekte und den sehr positiven Erfahrungen unserer Kunden, gerade auch bei realen Einsatzszenarien, arbeiten wir bereits an weiteren Lösungen, die Lücken in der Versorgungskette bei der Grubenrettung weiter zu optimieren und zu schließen. Gerade durch den vermehrten Einsatz elektronischer Komponenten im Berg- und Tunnelbau (Stichwörter: Bergbau 4.0 und Elektrifizierung), gibt es eine erhöhte Tendenz zu Bränden. Daneben zählen Entzündung austretender Dieselnebel und Förderbandbrände zu den größten Gefahren.

Neben der Sicherstellung der Evakuierungskette, geht es im Ansatz nun auch darum schnell Zugang zu den Brandherden zu bekommen und effiziente Löschmaßnahmen einzuleiten um die Auswirkungen eines Brandes möglichst gering zu halten. Neben den Risiken für den Menschen, die durch einen solchen Brand entstehen, betrachten immer mehr Betreiber auch die Sachwerte und auch die Folgekosten eines möglicherweise einhergehenden Betriebsausfalls. Entsprechend geht es neben dem primären Ziel der Personenrettung nun auch um die Frage, wie eine Brandbekämpfung möglichst effizient gestaltet werden kann. Hierzu ist es erforderlich den Brand und damit auch die Auswirkungen wie Rauch und Hitze möglichst im Keim zu ersticken, mit dem positiven Nebeneffekt, gleichzeitige auch die Gefahren für den Menschen einzudämmen.

Da dieser Ansatz nicht neu ist, findet man bereits seit Jahrzehnten, bei z.B. mobilen Arbeitsgeräten oder stationären Anlagen mit einem erhöhten Brandrisiko, fest montierte Feuerlöschsysteme oder auch in definierten Gefahrenbereichen komplette Sprinkleranlagen. Allerdings gibt es gerade bei den auf den Anlagen und Maschinen verbauten Feuerlöschsystemen keine Garantie, dass ein Entstehungsbrand damit vollständig gelöscht werden kann. Entsprechend sind hier weitere Maßnahmen erforderlich. Gleiches gilt auch für Komponenten und Geräte, welche nicht mit einem Feuerlöschsystem ausgestattet sind. Hierzu zählen unter anderem elektrische Komponenten und Geräte, wie sie vermehrt im Zuge der Digitalisierung und Elektrifizierung zum Einsatz kommen.

Die Praxis hat gezeigt, dass auch kleinere Brände eine große Wirkung haben können. Kommt es zum Brand von Materialien mit einer hohen Rauchemission, nimmt mit zunehmender Zeit der Evakuierungsradius zu und es wird für die Rettungsteams immer schwieriger den Brandherd zu erreichen und das Feuer effektiv zu bekämpfen. Oftmals bleibt sogar nur noch abzuwarten, bis der Brand von selber erlischt. Dieses kann unter Umständen sehr langwierig sein. Die Folge sind zumeist hohe Betriebsausfälle in den betroffenen Bereichen.

Um den Auswirkungen entgegenzuwirken und eine effektive Brandbekämpfungsmaßnahme durchzuführen ist es notwendig die Rettungsteams mit entsprechendem Lösch- und Hilfeleistungsequipment möglichst nah an den Einsatzort zu bringen und diesen dort eine möglichst lange Arbeitszeit beim Tragen der Atemschutzgeräte zu gewähren. Dieses wird durch eine weitere Konfiguration des MRV erreicht, bei dem der Aufbau um zusätzliches Lösch und Hilfeleistungsequipment ergänzt wird, was beispielsweise auch zum Retten und Bergen von Personen in kontaminierten Bereichen geeignet ist.



Des Weiteren wird bereits an Lösungen gearbeitet, um sich auch in beispielsweise sauerstoffarmen Umgebungsbedingungen mit dem MRV fortzubewegen, wo ein sicheres Vorankommen mit konventionellen Antriebstechnik und speziell Dieselmotoren nicht möglich wäre. Ziel ist es hierbei den Wirkungskreis des MRV weiter zu optimieren.

Die enge Zusammenarbeit mit unseren Kunden initiiert die Entwicklung von Grubenrettungslösungen basierend auf den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Gruben. Mit dem fundierten Wissen unserer Kunden und unseren Kompetenzen wurde es möglich, nicht nur einfach ein Grubenrettungsfahrzeug zu entwickeln, sondern darüber hinaus kundenorientierte und innovative Lösungen. Jede Komponente des Grubenrettungsfahrzeugs berücksichtigt die Bedürfnisse von Grubenrettungskräften in Gruben mit herausfordernden Umgebungsbedingungen und leitet die Grubenrettung in das 21. Jahrhundert.

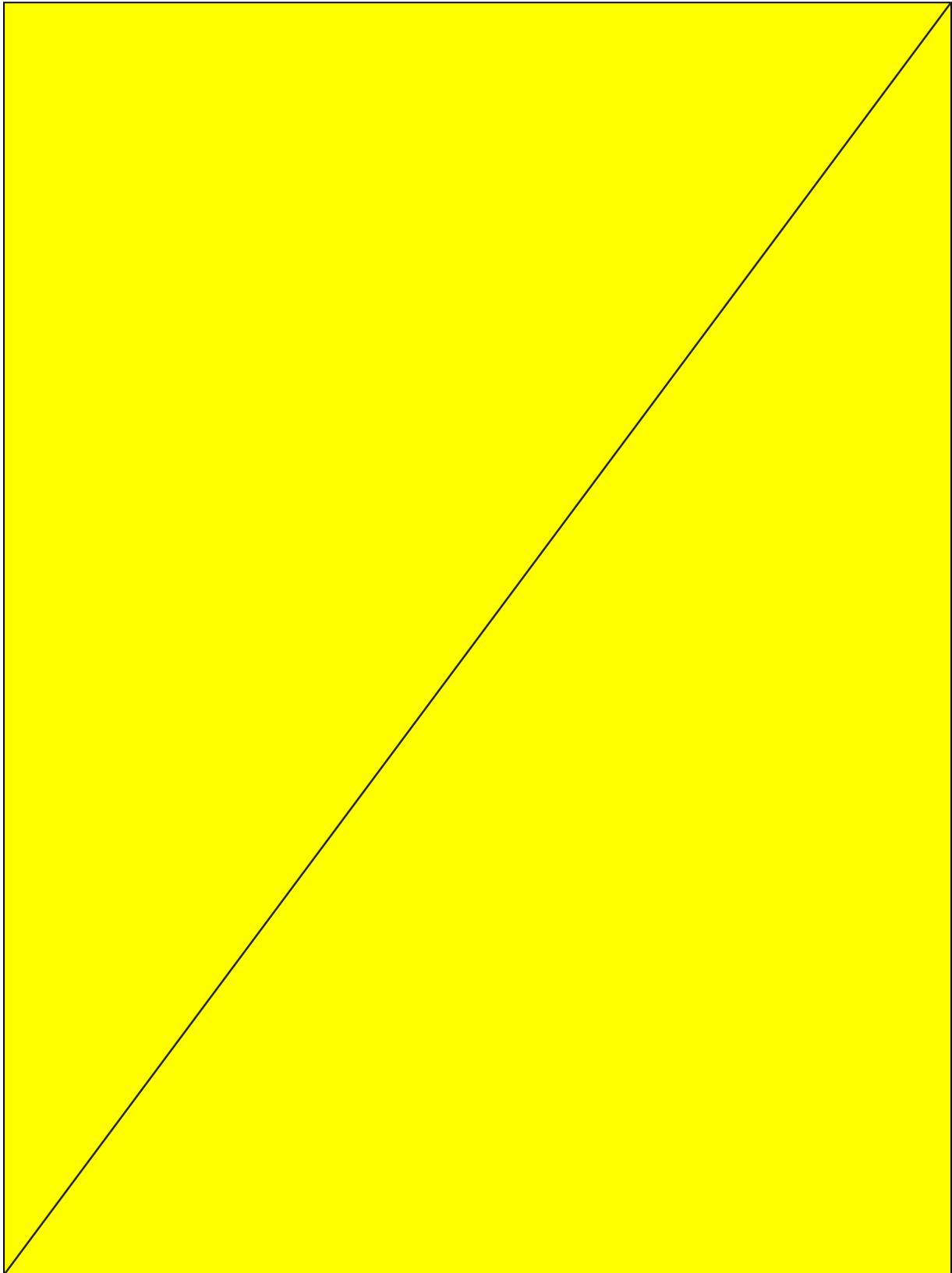
Stephan Wiegand
stephan.wiegand@draeger.com

Dräger Safety AG & Co. KGaA
Revalstraße 1
23560 Lübeck

Hendrik Hörnschemeyer
hhoernschemeyer@paus.de

Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH
Siemensstraße 1-9
48488 Emsbüren

Hier Werbeseite Bergwerkzeuge Schmalkalden



Die Fachschule für Wirtschaft und Technik

Dr. M. Richter

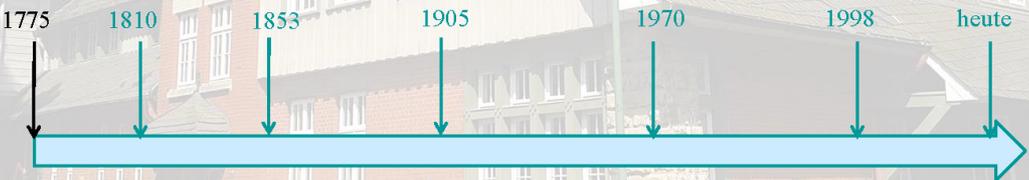
FWT Clausthal-Zellerfeld



Von der Berg- und Hütten Schule zur FWT – der Bergschule in Clausthal



Beginn eines einjährigen Unterrichtskurses zur Sonderausbildung von Berg- und Hüttenleuten am damaligen Lyzeum



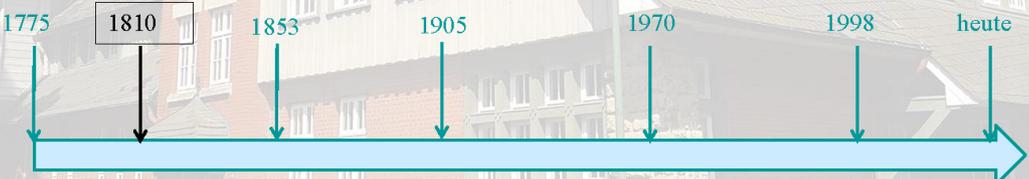
1775 1810 1853 1905 1970 1998 heute

Dr. Michael Richter 2

Von der Berg- und Hütten Schule zur FWT – der Bergschule in Clausthal



Aufteilung des Unterrichts in zwei Klassen mit Durchlässigkeit



1775 1810 1853 1905 1970 1998 heute

Dr. Michael Richter 3

Von der Berg- und Hüttenschule zur FWT – der Bergschule in Clausthal



Trennung der Schule in die Bergakademie (Kl. 1) und die Bergschule (Kl. 2)

1775 1810 1853 1905 1970 1998 heute



Dr. Michael Richter 4

Von der Berg- und Hüttenschule zur FWT – der Bergschule in Clausthal



Trennung der Bergschule und der Bergakademie.

- Clausthaler Bergschulverein übernimmt die Trägerschaft der Bergschule.
- Neubau der Berg- und Hüttenschule

1775 1810 1853 1905 1970 1998 heute



Dr. Michael Richter 5

Von der Berg- und Hüttenschule zur FWT – der Bergschule in Clausthal



Die Berg- und Hüttenschule öffnet sich und wird staatlich anerkannt

1775 1810 1853 1905 1970 1998 heute



Dr. Michael Richter 6

Von der Berg- und Hüttenschule zur FWT – der Bergschule in Clausthal



Die Berg- und Hüttenschule stellt am 31.07.1998 den Betrieb ein.
Am 01.08.1998 nimmt die FWT den Betrieb auf.

1775 1810 1853 1905 1970 1998 heute



Dr. Michael Richter 7

Leitbild der FWT (1/2)



- Wir sind die *Bergschule in Clausthal-Zellerfeld*.
- Wir bilden als Nachfolgeeinrichtung der traditionsreichen seit 1775 tätigen *Berg- und Hütterschule Clausthal* Fach- und Führungskräfte für die Industrie aus.
- Im Bewusstsein unserer Tradition vermitteln wir solides, aktuelles, praxisorientiertes Wissen, das den in den modernen Unternehmen ablaufenden Prozessen Rechnung trägt.
- Wir kooperieren intensiv sowohl mit der Industrie als auch mit Hochschulen wie der Technischen Universität Clausthal. Dieses ermöglicht uns, zusätzliche auf dem Arbeitsmarkt bewährte Qualifikationen anzubieten.



Dr. Michael Richter

9

Leitbild der FWT (2/2)



- Das maßgeschneiderte Weiterbildungs- und Seminarangebot reicht von den Grundlagenfächern bis hin zu den heute geforderten Schlüsselqualifikationen.
- Bei der Vermittlung von Lehrinhalten berücksichtigen wir die individuellen Fähigkeiten unserer Teilnehmer und sorgen für ein respektvolles Miteinander.
- Durch umfangreiche Sanierungsmaßnahmen an unserem Schulgebäude tragen wir zum effizienten Umgang mit den Rohstoffressourcen bei.
- Unser Ziel ist es, bundesweit die führende Bergschule für die Rohstoffindustrie zu werden.

Dr. Michael Richter

10

Ziele



- Erfolgreiche Absolventen
- Weiterentwicklung der bestehenden und Aufbau neuer Aus- und Weiterbildungsgänge, z.B. hinsichtlich Industrie 4.0 und SMART Factory
- Ausbau der Fachschule mit ihrem in Deutschland einmaligen Angebot für die Rohstoffindustrie
- Aufbau neuer Chancen durch z.B.
 - ✓ Zusatzqualifikationen und neue Studienschwerpunkte
 - ✓ Kooperation mit Industrieunternehmen
 - ✓ Kooperationen mit Hochschulen (u.a. TU Clausthal)
- Zielerreichung zusammen mit einem Team von engagierten, praxiserfahrenen Dozenten und Mitarbeitern

Dr. Michael Richter

11

Weiterbildungsmöglichkeiten an der



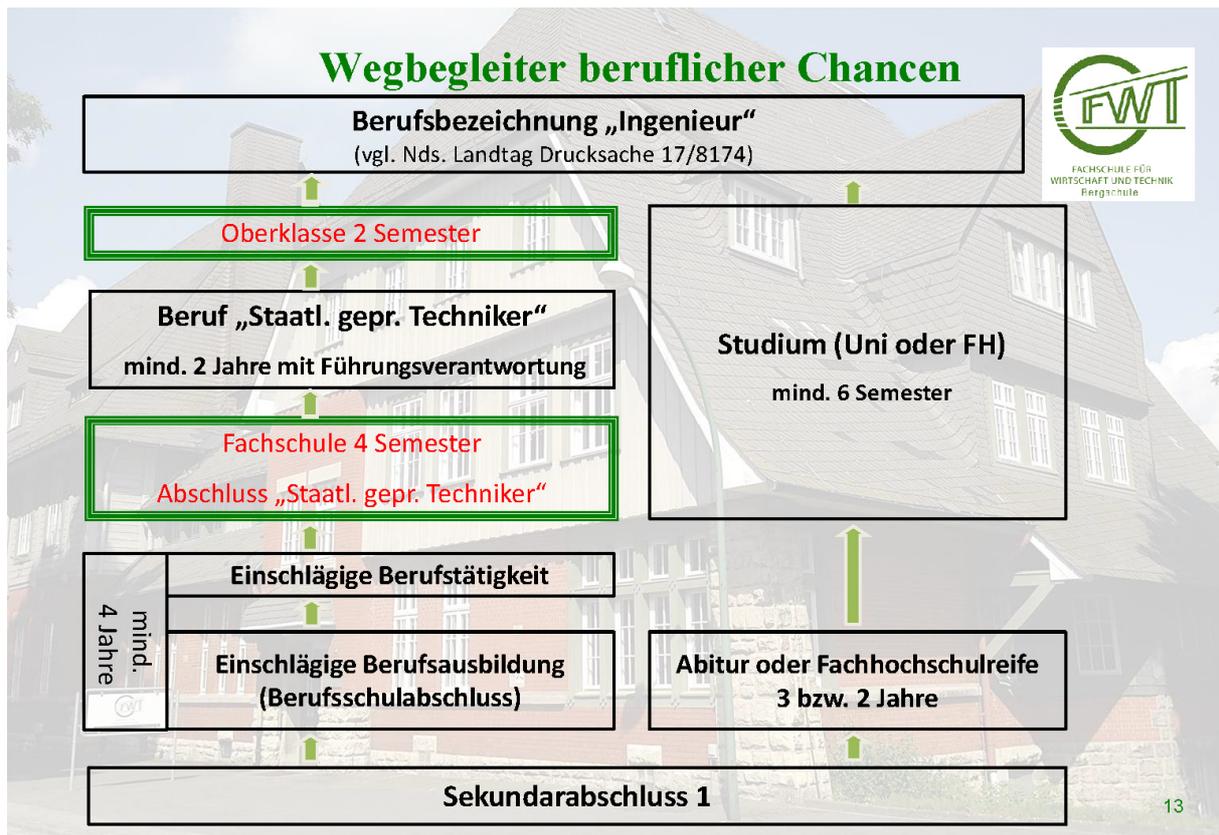
Bildungsgänge an der Fachschule für Wirtschaft und Technik

Maschinentechnik	Bergbautechnik
<u>Schwerpunkte</u> <ul style="list-style-type: none">➤ Automatisierungstechnik➤ Kunststofftechnik	<u>Schwerpunkte</u> <ul style="list-style-type: none">➤ Bergtechnik➤ Elektrotechnik➤ Maschinentechnik➤ Verfahrenstechnik
Elektrotechnik	
<u>Schwerpunkt</u> <ul style="list-style-type: none">➤ Industrie 4.0	

Dauer: 4 Semester
Abschluss: Staatlich geprüfter Techniker

Dr. Michael Richter

12



Warum an die Bergschule nach Clausthal?



FACHSCHULE FÜR
WIRTSCHAFT UND TECHNIK
Bergschule

Fachliche Kompetenzen

- Bergbauspezifische Kenntnisse in enger Abstimmung mit den entsendenden Unternehmen
- Qualifikation als Aufsicht
- Berufsqualifizierender Abschluss als „Staatl. gepr. Techniker (m/w/d)“
- Kooperation mit Hochschulen wie der TU Clausthal

Soziale Kompetenzen

- Selbständigkeit
- Verantwortungsbewusstsein
- Teamfähigkeit
- Leistungsbereitschaft
- Führungsqualifikation

- ✓ **Förderung der MA-Entwicklung**
- ✓ **Steigerung der Attraktivität des Berufsbildes**
- ✓ **Instrument zur MA-Bindung**

Dr. Michael Richter

14

Seminare an der FWT (Beispiele)



Sonderlehrgang für betriebliche Aufsichtskräfte
17.02.2020 – 19.02.2020
27.04.2020 – 29.04.2020
15.06.2020 – 17.06.2020
28.09.2020 – 30.09.2020
23.11.2020 – 25.11.2020

Sich selbst und andere führen – Rolle und Selbstverständnis als Führungskraft
18.05.2020 – 20.05.2020
21.09.2020 – 23.09.2020

Grundlehrgang Sprengtechnik (Erlaubnis- oder Befähigungsscheinanwärter nach §7 bzw. §20 SprengG)
16.03.2020 – 24.03.2020
07.09.2020 – 15.09.2020

Wiederholungslehrgang Sprengtechnik (§7 bzw. §20 SprengG)
16.03.2020 – 17.03.2020
07.09.2020 – 08.09.2020

Grundlehrgang Wettertechnik
11.05.2020 – 15.05.2020

Ausbildung zum Fördermaschinisten
04.05.2020 – 08.05.2020

Aluminium und seine Legierungen – eine Einführung für Techniker und Kaufleute
12.11.2020 – 13.11.2020

Kupfer und seine Legierungen – eine Einführung für Techniker und Kaufleute
05.03.2020 – 06.03.2020
03.09.2020 – 04.09.2020

Die wunderbare Welt der Legierungen
19.11.2020 – 20.11.2020

Technisches Englisch in der Rohstoffindustrie – kompakt
10.02.2020 – 13.02.2020

Auf Wunsch:

- ✓ Maßgeschneiderte Seminare
- ✓ Inhouse-Schulungen

Dr. Michael Richter

15

Kooperationen mit Hochschulen

Beispiel TU Clausthal



Kooperation zur Zusammenarbeit / Strukturierung der Durchlässigkeit

T2B Angebote für Staatlich geprüfte Techniker der FWT
mit den Fachbereichen Maschinentchnik und Bergtechnik
-> pauschale Anerkennung von zwei Semestern

B2T Angebote für Studenten der TU Clausthal
mit den Weiterbildungsangeboten der FWT
Voraussetzungen: abgeschlossene Berufsausbildung, Berufserfahrung
oder
langjährige Berufserfahrung
-> individuelle Anerkennung erbrachter Leistungen

Dr. Michael Richter

16



Besuchen Sie uns!

„Tag der offenen Tür“

am 22. März 2020

von 10-13 Uhr

Kontaktdaten:
Dr. Michael Richter
Paul-Ernst-Str. 2
38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel. +49 5323-7036
Mail: m.richter@fwt-clz.de

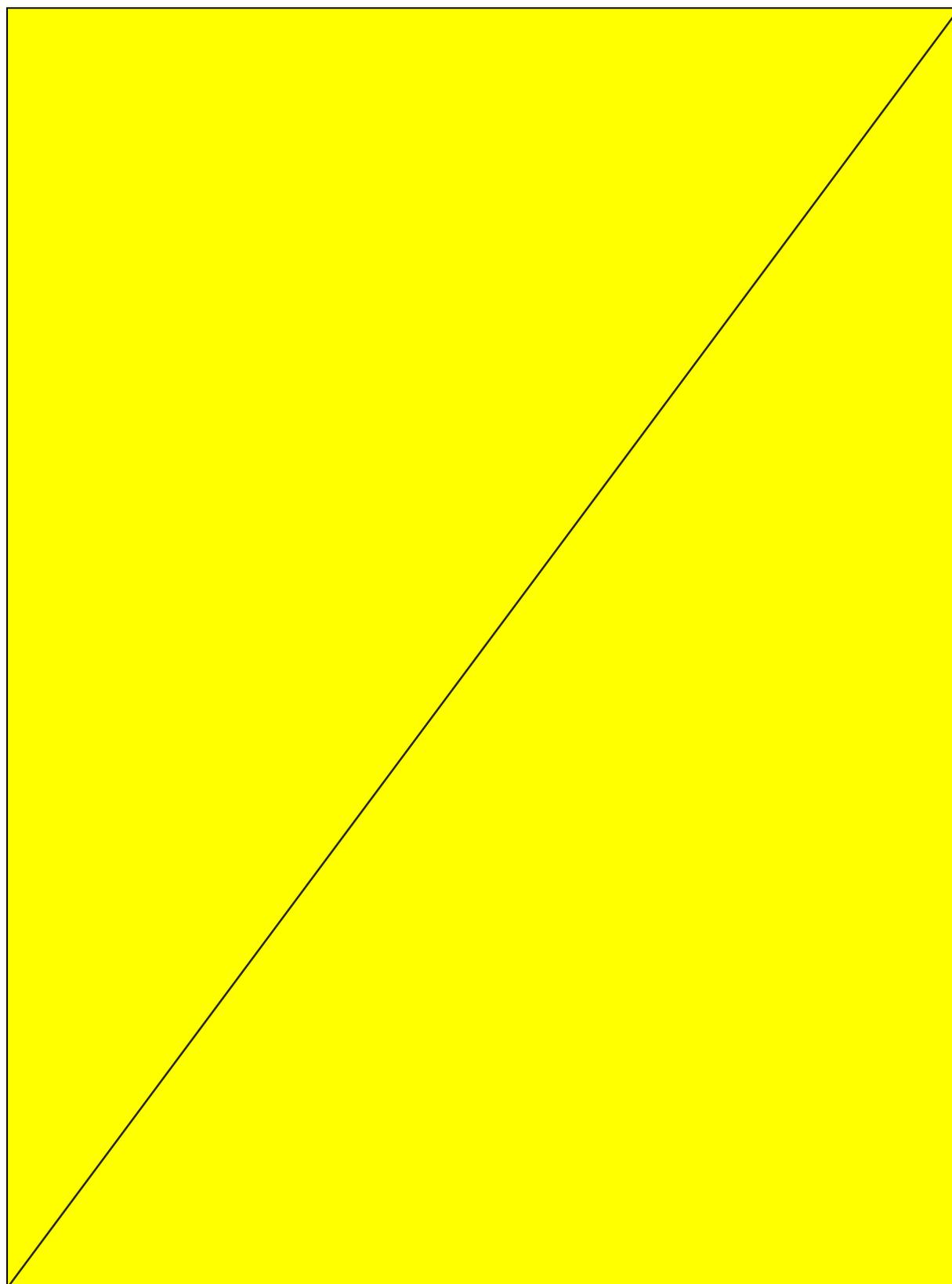
Dr. Michael Richter



Dr. Michael Richter
m.richter@fwt clz.de

Fachschule für Wirtschaft und Technik Clausthal-Zellerfeld gGmbH
Paul-Ernst-Str. 2
38678 Clausthal-Zellerfeld

Hier Werbeseite Redpath Deilmann



Innovationsentwicklungen bei mobiler Lade- und Transporttechnik für Bergwerke unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen und personellen Erfordernissen

K.-H. Wennmohs
M & R Consulting

1 Die aktuelle Marktsituation

In den untertägigen Bergwerken weltweit sind etwa 25.000 gleislose Lade- und Transportfahrzeuge vorhanden. Diese Anzahl besteht zu ca. 2/3 aus Fahrladern, also LHD-Geräten, und ca. 1/3 aus Minetrucks, sogenannten Dumpern. Die Baugrößen, die das Transportvermögen umfassen, betragen bei den Fahrladern bis 25 t und bei den Dumpern derzeit bis 65 t.

Die Mehrzahl dieser Geräte wird mit Dieselmotoren betrieben. Dabei gibt es regional sehr große Unterschiede, bis hin zu Defiziten, wenn es um den Einsatz von emissionsarmen Motoren geht.

Die in der Öffentlichkeit diskutierte Gesundheitsgefährdung durch Dieselabgase ist weltweit auch in den Untertagebetrieben ein wichtiger Punkt in der Betrachtung der Arbeitsplatzqualität geworden.

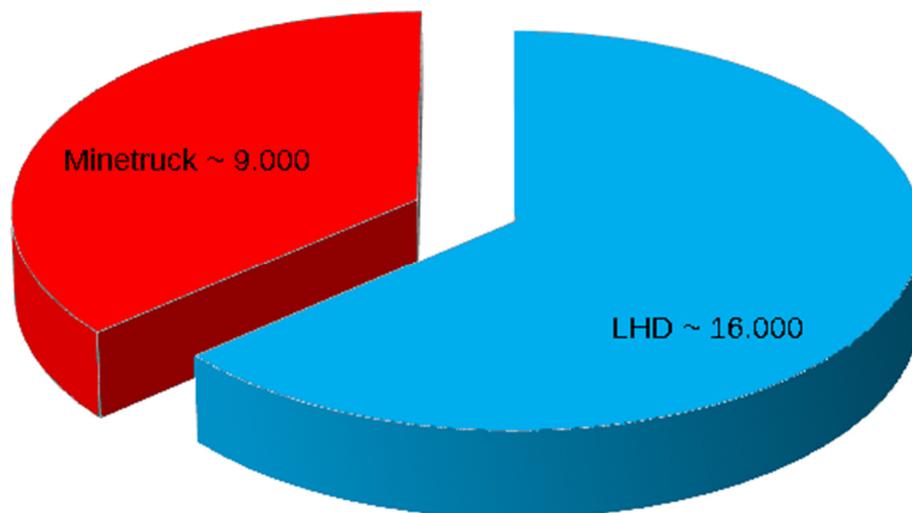


Abbildung 1: Anzahl der LHD und Minetrucks weltweit Untertage

Der Anteil der elektrisch betriebenen LHD-Lader mit Kabel ist nach wie vor gering, obwohl seit Jahren leistungsstarke Geräte mit technisch hochentwickelten Kabeltrommelsystemen, angeboten werden.

Funktionsfähige Minetrucks, die elektrisch über Fahrdrabt betrieben werden, wurden bisher nur in sehr geringen Stückzahlen eingesetzt.

Offensichtlich hat der gesamte Markt auf Innovationen und technischen Lösungen gewartet, die sich durch den Einsatz von modernen Batterien eröffnen.

Die Basisdaten für einen Vergleich von Dieselmotor und Elektromotor sind nicht neu. Es ist bekannt, dass ein Elektromotor einen wesentlich höheren Wirkungsgrad von ca. 95 % gegenüber einem Dieselmotor von ca. 30 % hat. Das zeigt sich im Energieverbrauch, der bei einem Elektromotor nur etwa 12 % gegenüber einem Dieselmotor beträgt. Für den Bergbau kommt ein weiterer, wichtiger Faktor im Vergleich hinzu: Das ist die Wärmeabgabe der Motoren. Ein Elektromotor gibt nur etwa 15 % der Wärme von einem Dieselmotor an die Umluft ab. Diese Faktoren werden für die Kostenrechnung der Bergwerke zunehmend wichtiger. Hinzu kommen die bekannten Auflagen für den Frischluftbedarf der installierten Diesel Kilowatt. Mit der Teufe und der steigenden Gebirgstemperatur wird der Aufwand für die Klimatisierung immer wichtiger, und die Kosten für die Bewetterung des vergrößerten Grubengebäudes durch die zunehmende Teufe nehmen zu.

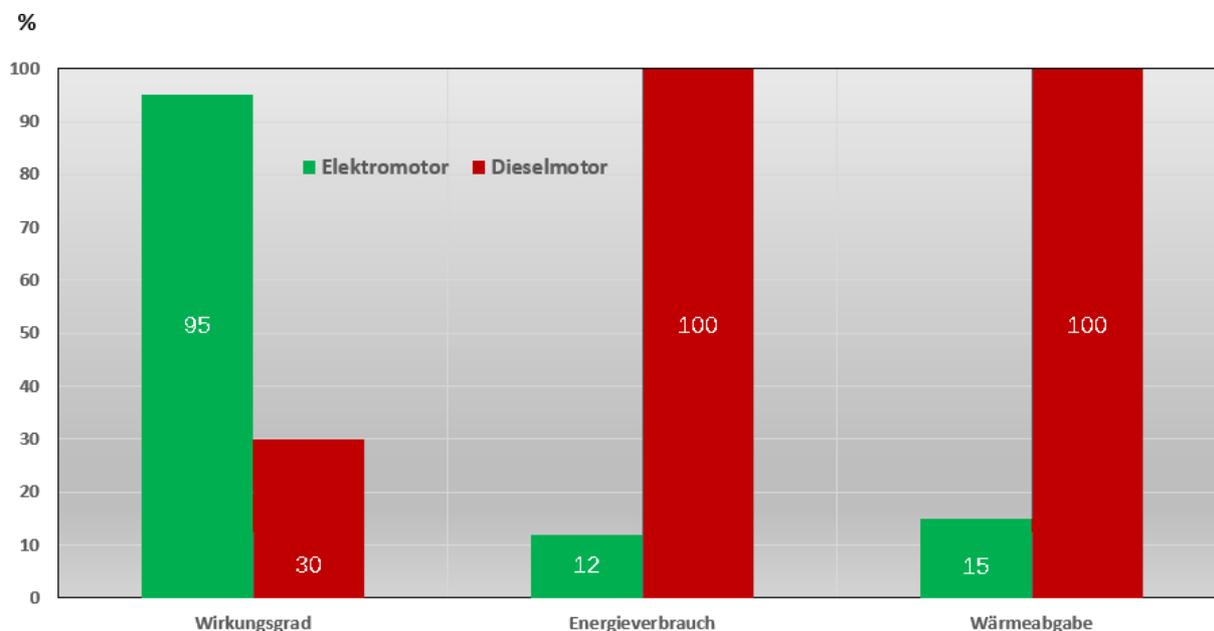


Abbildung 2: Vergleich Diesel- zu Elektromotor

2 Das Bergwerk ohne Dieselmotor ist möglich

In der breiten Öffentlichkeit ist der Elektroantrieb in einem PKW längst angekommen. Der Einsatz dieser Technik mit Batterie und Elektromotor wurde durch die Entwicklung von leistungsstarken Batterien, genauer gesagt durch Akkumulatoren erst möglich. Diese Speicher-Technologie ist bekannt durch den Einbau bei Mobiltelefonen und Computern und wird heute in Elektro- sowie Hybridfahrzeugen am häufigsten eingesetzt. Moderne Bauarten von Akkumulatoren haben mit den Bleiakkumulatoren der bekannten Akku-Lokomotiven, die in den Bergwerken eingesetzt werden, sehr wenige Gemeinsamkeiten.

Die Hersteller von Lithium-Ionen Batterien verwenden verschiedene Elemente/Metalle bei der Konstruktion. Es ist entscheidend, dass hierbei Systeme, die eine geringere Gefährdung durch eine bestimmte, chemische Zusammensetzung haben, immer mehr in den Vordergrund treten. Hierbei spielt die Kombination aus Lithium und Eisen eine zunehmende Rolle.

Ein Feuer kann aber grundsätzlich bei einer solchen Batterie nicht ausgeschlossen werden. Ursachen können z.B. sein, Fehler bei der Fertigung, der Steuerung von Laden und Entladen, Kühlung, aber auch mechanische Beschädigungen durch äußerliche Einwirkungen.

Daher sind für den Untertageeinsatz besonders bei Bränden von Batterien Routinen für die Sicherheit von Personen und Materialien sehr wichtig. Hierzu zählen Rettungsfahrzeuge und die kontinuierliche Schulung aller beteiligten Personen.



**Abbildung 3: Rettungsfahrzeug MRV 900,
Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH**

Die heute verfügbaren Batterien für den Untertage-Bergbau auf Lithium-Ionen Basis haben Größen bis zu ca. 8 t Gewicht und sind in der Lage Minetrucks bis zu 50 t Transportleistung zu versorgen.

Diese Möglichkeiten veranlassen Bergbaugesellschaften in einigen Gruben dazu, den Dieselantrieb bei allen Untertagefahrzeugen wie Bohrwagen, Lader, Minetrucks und Versorgungsfahrzeugen, durch einen Elektroantrieb zu tauschen. Es wird sich zeigen, ob das der Einstieg in eine neue Antriebstechnik für den Untertagebetrieb sein wird. Voraussetzung wird sein, dass die erforderliche, elektrische Infrastruktur vorhanden ist. Für zahlreiche kleinere, laufende Bergbaubetriebe wird diese Investition wirtschaftlich schwierig, für Brownfield und Greenfield Projekte ist die Entscheidung für einen reinen Elektrobetrieb wahrscheinlicher.

Die Möglichkeiten von noch größeren Speicherkapazitäten bei kleinen Batteriedimensionen sind derzeit offensichtlich noch nicht ausgeschöpft.

3 Aktivitäten der Hersteller

Nahezu alle namhaften Hersteller von mobilen Lade- und Transportfahrzeugen folgen dieser Entwicklung und bieten für dieses Marktsegment unterschiedliche Lösungen und Techniken für den Ersatz von Dieselmotoren an.

Die Entwicklung zeigt deutlich eine Aufbruchstimmung in einem Markt, der über viele Jahre wenige Neuerungen in der Konstruktion und Herstellung von mobilen Lade- und Transporttechniken gewagt hatte.

Das Marktsegment wird von den Markführern Sandvik, Epiroc und Caterpillar zu etwa 80 % mit variablen Marktanteilen angeführt. Alle anderen Hersteller wie GHH, Paus, Dux, Komatsu (Joy) und zahlreiche weitere Hersteller bedienen das verbleibende Segment.

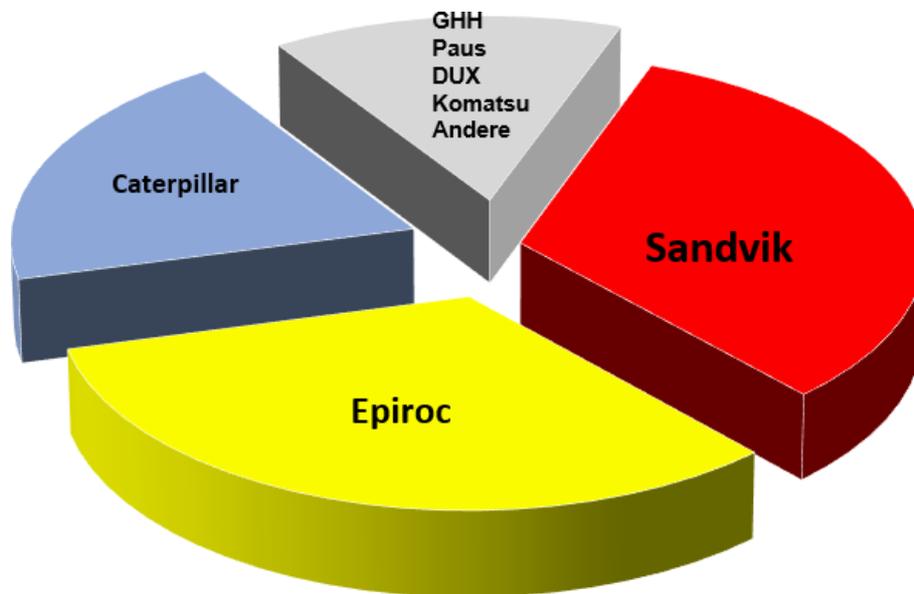


Abbildung 4: Hersteller von gleislosen Lade- und Transportfahrzeugen

4 Erkenntnisse über die Hersteller

4.1 Caterpillar

Es wurden dieselbetriebene LHD Lader in den Baugrößen von 6,8 t und 12,5 t Transportleistung für den Einsatz mit Batterie und Elektroantrieb umgerüstet und laufen derzeit im Test. Gleichzeitig wurde von Caterpillar ein Schnellladesystem für diese Batterien entwickelt. Die Geräte sollen mit eingebauter Batterie in sehr kurzer Zeit aufgeladen werden. Dabei wird eine Batterie mit 20 % vorhandener Rest-Energie voll aufgeladen.



Abbildung 5: Caterpillar, LHD R 1300 XE

4.2 Epiroc

Epiroc ist durch die Firma GIA auch in der Lage elektrisch betriebene Minetrucks über Fahrdrähte, die bekannten „Kiruna Electric Dumper“, anzubieten. Darüber hinaus werden elektrisch betriebene Fahrlader bis 18 t Transportleistung mit technisch hochentwickelten Kabeltrommeln vertrieben. Aufgrund der Marktanforderungen wurde der Schritt zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in den letzten Jahren konsequent betrieben. Es können heute Fahrlader in Größen bis 18 t und Minetrucks bis zu 42 t Transportkapazität angeboten werden. Auch Bohrgeräte werden mit dieser Antriebstechnik für das Trägergerät angeboten. Diese Geräte können durch ein leistungsfähiges Batteriewechselsystem flexibel eingesetzt werden.



Abbildung 6: Epiroc, LHD ST 14 Battery

4.3 Sandvik

Die Firma Sandvik bietet eine Reihe von elektrisch betriebenen Fahrladern mit Kabeltrommel an. Das weltweit größte Gerät hat eine Transportkapazität von 25 t. Geräte dieser Baureihe sind seit Jahren im Bergwerk Kiruna im Einsatz.

Einen strategischen Schritt machte Sandvik im Jahr 2019 durch die Übernahme des amerikanischen Herstellers Artisan. Diese Firma besitzt großes Fachwissen in der Entwicklung von batteriebetriebenen Bergbaufahrzeugen. Das Programm umfasst derzeit Fahrlader in den Größen 4 t und 10 t und Minetrucks mit 40 t und 50 t Transportkapazität. Eine Besonderheit ist das in den Geräten eingebaute Wechselsystem für die Batterie.

Batteriebetriebene Bohrwagen (Unterwagen) komplettieren das Lieferprogramm der Firma Sandvik.



Abbildung 7: Artisan-Sandvik, Minetruck Z40 und LHD A4 und A10

4.4 Komatsu/Joy

Die Firma Komatsu hat in ihrem Hardrock Mining Programm zwei Fahrlader mit Transportkapazitäten von 18 t und 22 t. Die Lader sind mit einem Hybridantrieb ausgestattet. Ein Dieselmotor treibt einen Generator an, mit dem erzeugten Strom werden 4 Elektromotoren pro Rad des Laders angetrieben.

4.5 GHH

Die Firma GHH Fahrzeuge baut seit Jahren elektrisch angetriebene Fahrlader mit einer bewährten, hochentwickelten Kabeltrommel. Die Lader werden in den Baugrößen bis 21 t angeboten.

Ein Innovationsschritt wurde mit der neuen Type LF 19 EB gemacht. Ein elektrisch angetriebener Lader mit Kabeltrommel, der jedoch für das Umsetzen zu einem anderen Betriebspunkt eine bordfeste Batterie eingebaut hat.

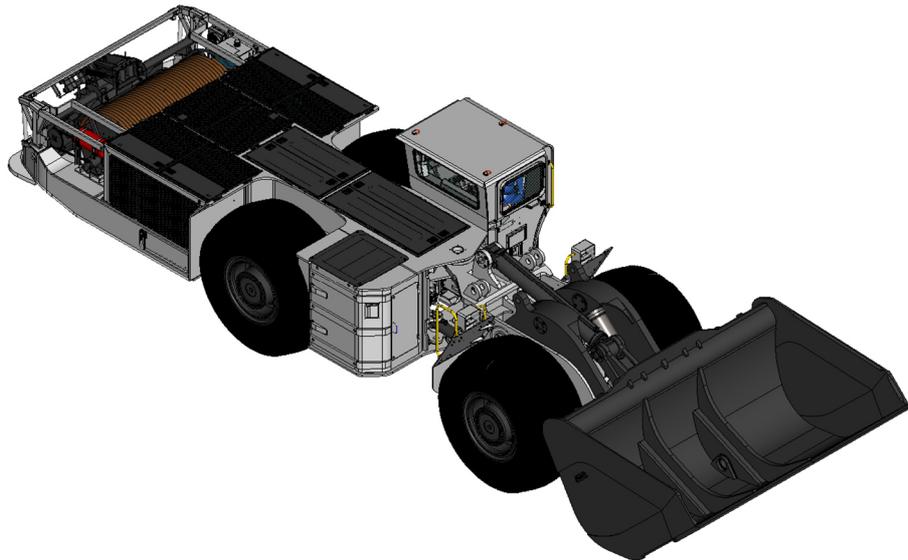


Abbildung 8: GHH Fahrzeuge, LHD LF 19 EB

4.6 Paus

Die Firma Herrmann Paus, Hersteller von kleinbauenden LHD Ladern und Dumper hat im Lieferprogramm den Fahrlader PFL 15. Diese Maschine wird elektrisch über eine Kabeltrommel betrieben.

Eine Innovation stellt der MinCa 5.1 E dar. Ein batteriebetriebenes Transport- und Versorgungsfahrzeug.



Abbildung 9: Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH, MinCa 5.1 E

5 Ausblick

Der Gedanke des Wechsels weg von dieselmobilen Fahrzeugen hin zu elektrischem Antrieb ist bei den Bergbaubetrieben angekommen. Vor zwei Jahren wurde an dieser Stelle berichtet und eine Prognose für diesen Umbruch in einem Zeitraum von mehr als 5 Jahren gesehen. Dieser Zeitraum wurde durch die derzeit laufende Entwicklung in rund 2 Jahren erreicht. Die in den vergangenen Jahren häufig angeführten Kritikpunkte, wie mangelnde Flexibilität und Kosten, sind durch die innovative Technik der Batterien, Elektromotoren und Antriebssteuerungen nicht mehr haltbar.

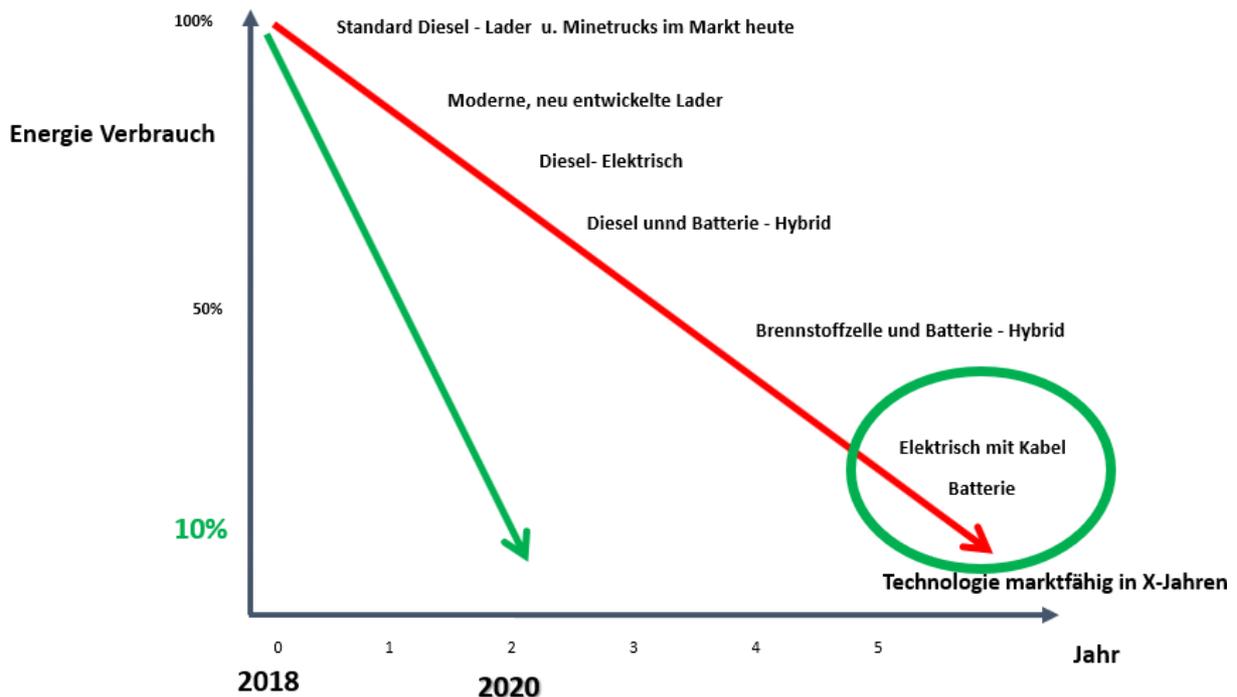


Abbildung 10: Zeitrahmen für Innovationen bei LHD und Minetruck

Folgende Vorteile bietet diese Technologie:

- Emissionsfreien Betrieb
- Geringere Lärmpegel
- Verminderte Wärmeabgabe
- Geringere Energiekosten
- Erhebliche Einsparungen bei Wartung und Reparatur
- Senken der Bewetterungs- und Klimatisierungskosten
- Einsparungen bei der Querschnittsdimensionierung des Grubengebäudes

Diese Gerätegeneration benötigt wesentlich weniger Bauteile für den Antrieb. Hersteller von Dieselmotoren, Wandler, Getrieben, Achsen, Hydraulikpumpen und Hydraulikmotoren werden sich neu orientieren müssen.

Innovative Entwicklungen verlangen, entsprechend ausgebildetes Personal bei den Herstellern und in den Bergwerken. Das wird kurzfristig nicht zu lösen sein. Es werden neue Berufsbilder entstehen, die sich am Markt etablieren müssen.

Zurzeit werden von den Herstellern unterschiedliche Varianten für den Elektroantrieb favorisiert. Langfristig wird es zu einer Vereinheitlichung, einer Standardisierung, kommen, wenn genügend Erfahrungen vorliegen.

- Ein Elektromotor treibt über ein Getriebe eine Achse oder beide Achsen als Allradantrieb an.
- Jede Achse wird von einem Elektromotor angetrieben. Zwei Motoren, die über eine intelligente Steuerung betrieben werden.
- Jedes Rad wird von einem der 4 Elektromotoren angetrieben. Diese können auch als Radnabenmotoren konstruiert sein.

Darüber hinaus werden die Möglichkeiten der stufenlosen Regelung der Elektromotoren genutzt, in der Form, dass das übliche Gaspedal genügt, um das Fahrzeug zu beschleunigen und abzubremesen.

Für die Belegschaft wird diese Entwicklung eine deutliche Verbesserung der Atemluft bringen und auch eine wesentliche Steigerung der Arbeitsplatzqualität durch weniger Lärm und Wärmeabstrahlung bedeuten.

Für die Bergwerke eröffnen sich Möglichkeiten, auch durch bedeutende Einsparungen an Energie bei der Bewetterung. Diese Tatsache wird den Gang der Abbaubetriebe in die Teufe wesentlich erleichtern.

Karl-Heinz Wennmohs

khw-wit@t-online.de

M & R Consulting
Wilhelmshöhe 34c
58454 Witten

Elektrifizierte Fördertechnik – Epiroc's Gezäh für die Li-Ionen Batterie im deutschen Bergbau

A. Matthäus

Epiroc Deutschland GmbH

Batteriebetriebene Fördertechnik stellt für den deutschen Bergbau in erster Linie keine Neuheit da. Schon im Kohlenbergbau haben Lokomotiven angetrieben durch Blei-Gel-Batterien Haufwerk über Jahrzehnte gefördert. Durch die rasante Entwicklung in der Batterietechnologie in den letzten Jahren, spielen heutzutage andere Batteriezusammensetzungen eine bedeutende Rolle für den Einsatz in der Fördertechnik. Der Einsatz von Li-Ionen Batterien, als Ersatz für den konventionellen Dieselmotor, bringt einige Vorteile mit sich. Neben wirtschaftlich messbaren Einsparungen bei den Betriebskosten, Bewetterung und Logistik trägt der Einsatz von Batteriefahrzeugen zu einem sicheren und gesunden Arbeitsumfeld bei. Dieses ist vor allem auf den Wegfall der Deselemissionen, die reduzierten Vibrationen, minimalen Lärmpegel und die stark reduzierte Wärmeentwicklung zurückzuführen. Da momentan die Investitionskosten eines Batteriefahrzeuges noch über denen eines konventionell betriebenen Fahrzeuges liegen, muss die Wirtschaftlichkeit je nach Anwendungsfall betrachtet werden.

Den Markteintritt in die batteriebetriebene Fördertechnik realisierte Epiroc mit der ersten Generation in Nord- und Südamerika. Zu der ersten Generation gehören der Scooptram ST7 Battery, ein 7 Tonnen Lader, sowie der MT2010 Battery, ein 20 Tonnen Truck. So wurden in den letzten drei Jahren schon mehr als 100.000 Betriebsstunden Erfahrung gesammelt. Seit 2019 ist die zweite Generation für den europäischen Markt verfügbar. Der ST14 Battery und MT42 Battery sind CE-zertifiziert und für den untertägigen Einsatz zugelassen. Neben den Förderfahrzeugen gehören auch Bohrwagen der Größe M und E, also für mittlere bis große Querschnitte zur Generation 2.

Aufgrund der positiven Speichereigenschaften und des Entwicklungspotentials setzt Epiroc auf Li-Ionen Batterien mit NMC Zusammensetzung. Um Service und Verfügbarkeit möglichst einfach zu gestalten, wurde zusammen mit Northvolt AB ein modulares Batteriesystem entwickelt.

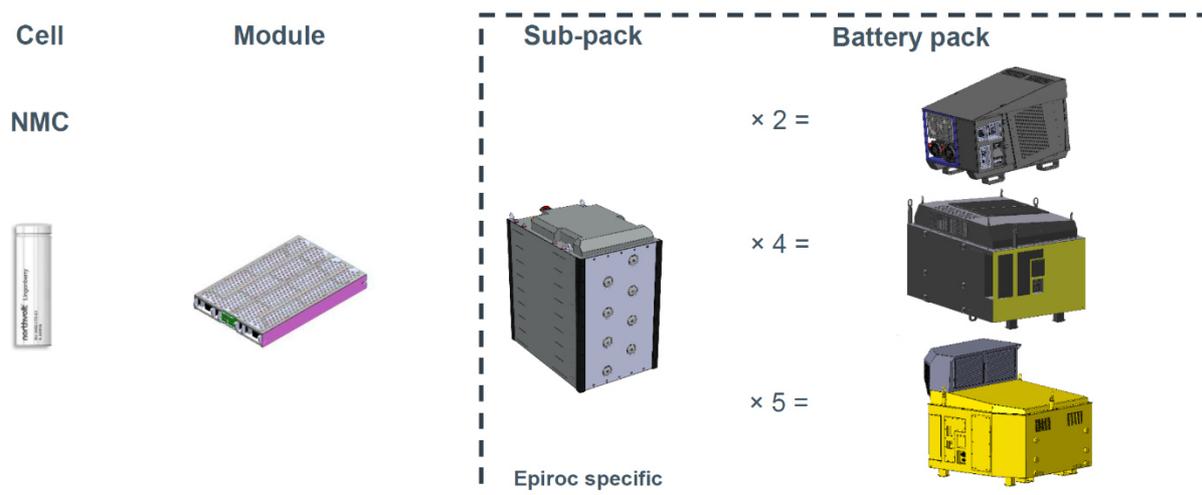


Abbildung 1: Batteriesystem Epiroc

Jedes Batteriesystem besteht aus Standardzellen, als kleinstes Element, welche in sogenannten Modulen parallelgeschaltet werden. Je nach geforderter Kapazität werden bis zu acht Module in einem Subpack installiert. Subpacks stellen das größte Bauteil dar, welches in allen Epiroc Batteriefahrzeugen genutzt wird. Je nach Gerätegröße und Bauweise werden die Subpacks zu Batteriepacks zusammengesetzt. Ein Batteriepack besteht allerdings nicht nur aus Batteriezellen, sondern auch aus einem Batteriemanagementsystem und Dämpfung. Das Batteriemanagementsystem ist ein mehrstufiges Sicherheitssystem und überwacht die Batterien auf Basis der einzelnen Zellen. So kann der Status der einzelnen Zellen ständig überwacht werden und im Falle einer Störung abgeschaltet werden. Um es gegen Firstfall zu schützen, ist jedes Battery Pack mit einer Stahlkonstruktion über den eigentlichen Batterien und dem Managementsystem ausgestattet.

Epiroc bietet zwei Konzepte zur Finanzierung eines Batteriefahrzeuges an. Im ersten Falle kann das Fahrzeug sowie die Batterie als Investment gekauft werden. Im zweiten Fall kann das Fahrzeug als Investment gekauft und ein BaaS (Battery-as-a-Service) Vertrag mit Epiroc abgeschlossen werden. Da dies erfahrungsgemäß das für den Bergwerksbetreiber vorteilhaftere Konzept ist, wird im Folgenden nur hierauf eingegangen.

Das BaaS Konzept von Epiroc ist ein Full-Service-Angebot für das Batteriesystem. Basierend auf den genutzten kWh zahlt der Betreiber eine monatliche Rate, diese enthält folgende Leistungen seitens Epiroc

- laufzeitbasierte Gewährleistung
- Überwachung, Dokumentation und Gewährleistung der angegebenen Batterieleistung
- Recycling der Batterie
- Regelmäßige Serviceeinsätze zur Instandhaltung

Das BaaS Konzept bietet dem Betreiber Vorteile bei der Batterielaufzeit. Auch das Recycling der Batterien stellt mit BaaS keine Belastung mehr für den Betreiber dar. Zudem kann er stets von Technologiesprüngen profitieren. Steigt die Speicherdichte der Batterien und die „geleaste“ Batterie wird ausgetauscht, führt dies zu längeren Laufzeiten.

Die Laufzeit der Batterie zwischen den einzelnen Ladezyklen hängt stark von der Anwendung ab. Besonders die Steigung der Fahrstrecke und die durchschnittliche Geschwindigkeit beeinflussen die Laufzeit signifikant. Abbildung 2 zeigt den Leistungsunterschied je nach Beschaffenheit der Fahrstrecken. Es wird von einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 10 km/h und einer Förderstrecke von 300 m (one-way) ausgegangen.

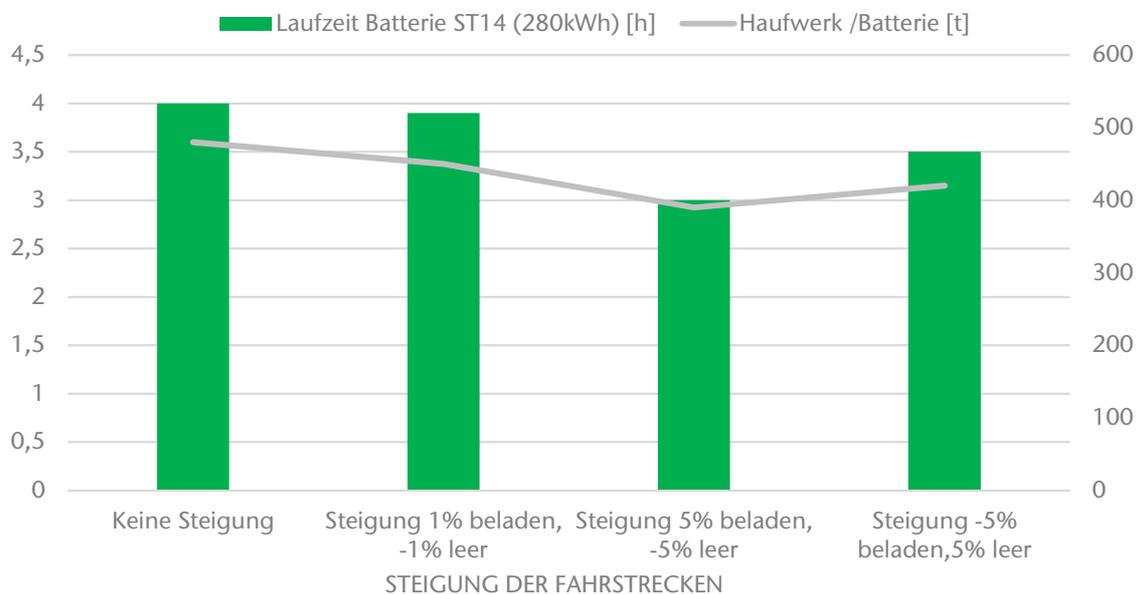


Abbildung 2: Leistungsberechnung Epiroc Scooptram ST14

Die Laufzeit der Batterie eines Scooptram ST 14 liegt in den beschriebenen Anwendungsfällen bei etwa drei bis vier Stunden. Die Batterie kann in etwas unter zwei Stunden wieder aufgeladen oder gewechselt werden. Für das Batteriewechselsystem ist eine Krananlage von Nöten, der Wechselprozess nimmt etwa 15 Minuten in Anspruch.

Unter Berücksichtigung des BaaS Konzepts kann für unterschiedliche Einsatzfälle eine Total-Cost-of-Ownership (TCO) Berechnung durchgeführt werden. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse einer TCO Berechnung für einen konventionellen ST14, einen ST14 Battery mit BaaS und einen ST14 Battery mit Kauf einer Batterie und Servicevertrag vergleichend dargestellt. Die TCO sind über 6 Jahre berechnet worden. Um einen umfassenden Kostenvergleich durchzuführen, sind folgende Kostenpunkte berücksichtigt worden:

- Investitionskosten
- Energiekosten (Diesel, Strom)
- Kosten BaaS
- Kosten Infrastruktur (Tankstation, Krananlage und Ladestation)
- Recyclingkosten (bei Kauf der Batterie)
- Instandhaltungskosten

Bei der Berechnung ist von einem Batteriewechselsystem ausgegangen worden. Sollte die Batterie direkt am Gerät geladen werden können, können Kosten für die Infrastruktur eingespart werden. Da die Einsparungen für Bewetterung in vielen deutschen Bergwerken aufgrund von bestehenden Bewetterungssystemen und geringen Teufen schwierig zu quantifizieren sind, sind diese zunächst nicht berücksichtigt worden. Sie sollten allerdings bei einer genauen Betrachtung hinzugezogen werden.

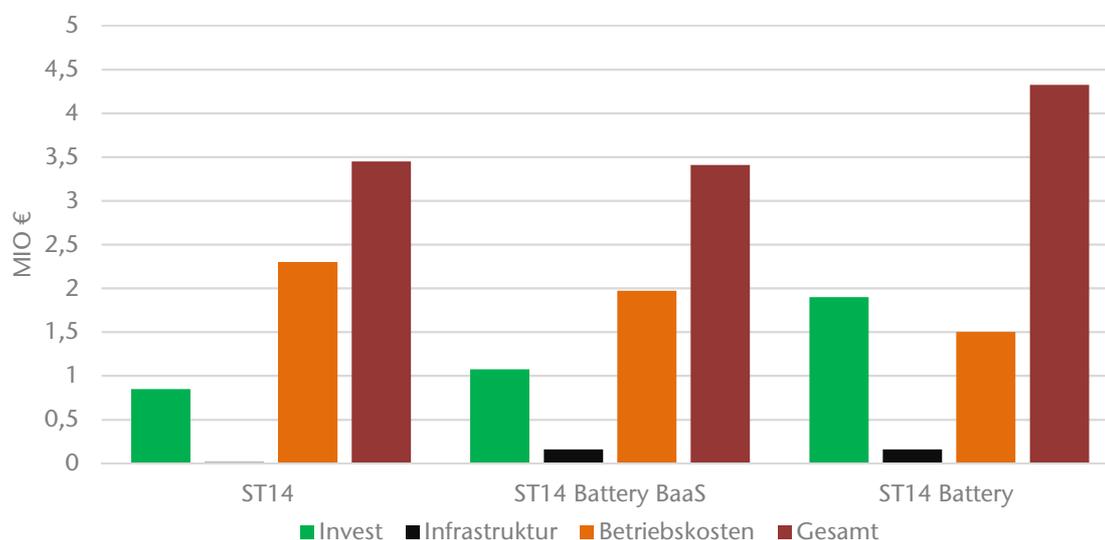


Abbildung 3: Total Cost of Ownership Berechnung über 6 Jahre

Wie aus dem vergleichenden Diagramm hervorgeht, ist der ST14 Battery mit BaaS trotz höherer Investitionskosten die wirtschaftlichste Option. Die Zusatzkosten in der Anschaffung lassen sich durch die niedrigen Betriebskosten ausgleichen. Die Kosten für BaaS sind hier inkludiert. Die Abbildung 3 zeigt deutlich, dass die Gesamtkosten nicht höher sind als bei einem konventionellen Lader, wenn ein Batteriefahrzeug in den Gesamtprozess Abbauzyklus integriert werden kann. Dies hängt von den Energiekosten und der vorhandenen Infrastruktur ab. Für die Berechnungen sind Industriepreise für Diesel und Strom herangezogen worden.

Die überschlägige Kostenrechnung zeigt, dass der Einsatz von elektrifizierter Fördertechnik technisch sowie ökonomisch sinnvoll ist. Der Einsatz von batteriebetriebenen Geräten unter Tage bleibt ein gemeinsames Projekt von Bergwerksbetreibern und Epiroc und muss sinnvoll in den Gesamtprozess „Bergwerk“ integriert werden. Epiroc unterstützt Sie gerne bei der genauen Betrachtung der Auflade-Zyklen der Batterien und der benötigten Infrastruktur, damit Sie die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der elektrifizierten Fördertechnik voll ausschöpfen können.

Antje Mätthaus
antje.matthaeus@epiroc.com
Epiroc Deutschland GmbH
Helenenstr 149
45143 Essen

Wettertechnische Zusammenhänge in einer elektrifizierten Grube – theoretischer Ansatz

J. Kegenhoff

Korfmann Lufttechnik GmbH

Aus der Sicht des Wettersteigers scheint eine elektrifizierte Fahrzeugflotte unter Tage wesentlich zur Verbesserung der Luftqualität beizutragen. Insbesondere durch die verschärften Arbeitsplatzgrenzwerte scheint so der wesentliche Faktor „Diesel-Emissionen“ eliminiert zu sein. Doch welcher Unterschied ist wirklich zu erwarten? Diese Frage kann eigentlich nur jeder Grubenbetrieb für sich selbst beantworten. Jedoch ist ein rein theoretischer Ansatz sicherlich interessant zu untersuchen und, wenn auch nur teilweise, aussagekräftig. An einer fiktiven Grube ohne explosive Gasvorkommen wird der wettertechnische Unterschied einer komplett elektrifizierten gegenüber einer konventionell mit Diesel betriebenen Flotte betrachtet. Durch die stark veränderten Vorgaben des Arbeitsschutzes sind als Konsequenz entweder die Frischluftmengen zu erhöhen oder die Schadstoffemissionen zu verringern.

Tabelle 1: Rechenbeispiel Abdeckung Grenzwerte

Diesel-emissionen	Alt	Neue Grenzwerte	oder	Motor-Optimierung		Prozess-Optimierung		Zusätzliche Alternativlösungen Elektrofahrzeuge Bänder etc. Beispiel
				Bsp.1	Bsp.2	Bsp.1	Bsp.2	
Fahrzeuge Diesel	10	3	10	5	10	10	8	4 Dieselfahrzeuge 5 Elektrofahrzeuge
Frischluftmenge	100%	100%	330%	100%	200%	200%	180%	110%
Arbeitsprozess	100%	30%	100%	50%	100%	120%	100%	100%

Bei einer gleichen Wirtschaftsleistung wären die Luftmengen im Dieselbetrieb erheblich zu erhöhen, was zu massiven infrastrukturellen Veränderungen der Wettertechnik führen würde. Dies betrifft insbesondere Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, da die Grenzwerte für Stickoxyde sowie Dieselmotoremissionen erheblich gesenkt wurden. Dies nicht nur im deutschsprachigen Raum, sondern ebenfalls international. Verschiedene Hersteller haben in den letzten Jahren schadstoffarme Fahrzeuge entwickelt, so dass die „Emissionsfreie Flotte“ (fast) verfügbar ist. Die maßgebliche Fragestellung aus der reinen Sicht der Bewetterung heißt: Welche Auswirkung bedeutet eine emissionsarme Fahrzeugflotte im Vortrieb gegenüber einer konventionell betriebenen?

Für diesen Vergleich wird ein Vortrieb in einem beispielsweise kleinen Erzbergwerk betrachtet.

Es wird ein Hauptwetterweg angenommen mit etwa 15 km Länge, sowie zwei Vortriebe in Sonderbewetterung. Das Bergwerk selbst stellt keine außergewöhnlichen weiteren Bedingungen für den Betrieb selbst oder der Wettertechnik dar. Mittels Bohren und Sprengen erfolgt der Vortrieb in zwei Schichten pro Tag. Zwei Varianten werden verglichen: Ein Vortrieb mit 300 m Fahrweg eines Laders zur Kippstelle sowie mit 3km Fahrweg und Nutzung von Trucks für den Abtransport. Dies jeweils mit rein elektro- und dieselbetriebenen Fahrzeugen. Für die wettertechnischen Berechnungen ist ein vereinfachter Ansatz mit einem Verdünnungsfaktor für DME von $3,4 \text{ m}^3/\text{min}/\text{DkW}$ angesetzt. Pro beschäftigte Person $2 \text{ m}^3/\text{min}$. Im freien Querschnitt außerdem eine Mindestluftgeschwindigkeit von $0,3 \text{ m/s}$. Der Vortrieb in Sonderbewetterung hat einen Querschnitt von etwa $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ bei etwa 300 m Länge. Die Abschlagslänge pro Sprengung liegt bei etwa 5 m, mit einem Abraum von etwa 350 - 375 t. Mit 55 m^2 Querschnitt und 15 km Länge ist der Hauptwetterweg angenommen.

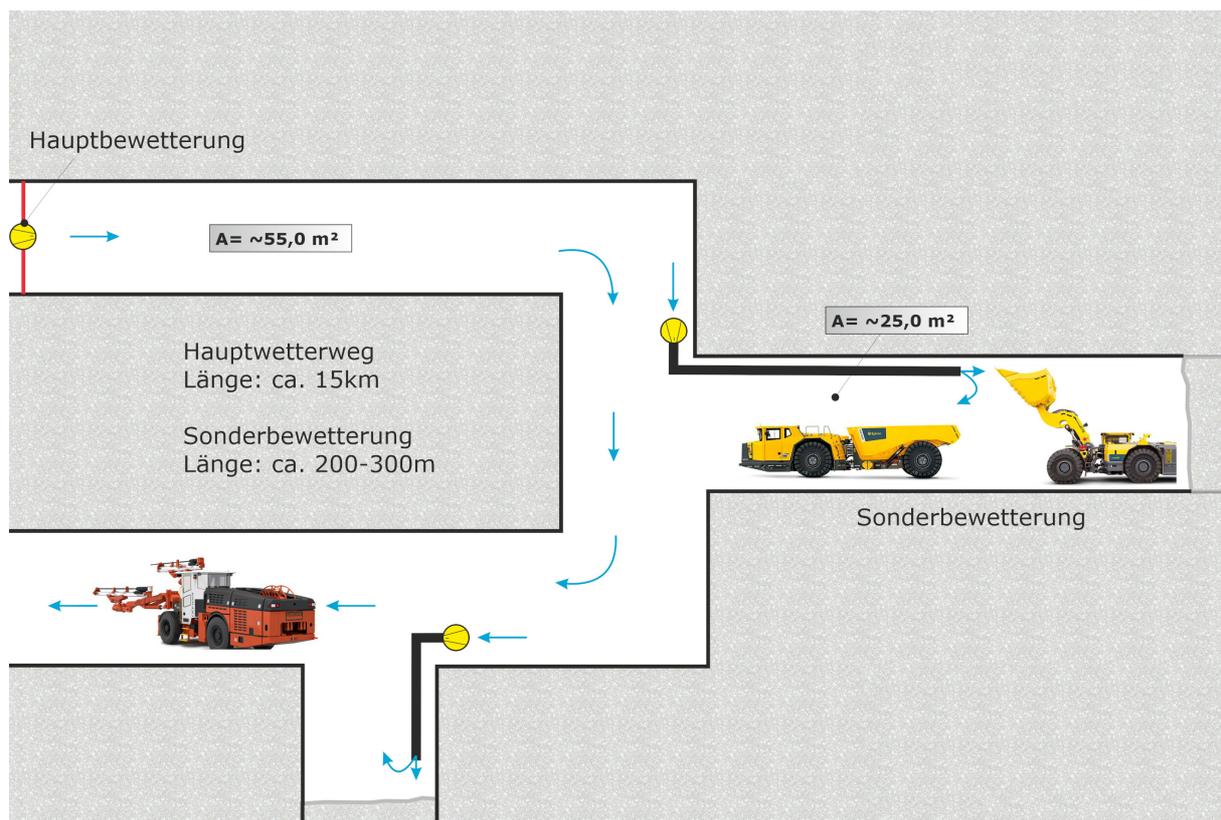


Abbildung 1: Schematische Darstellung der betrachteten Bewetterung

Folgende Fahrzeugdaten werden für die verschiedenen Arbeitszyklen und Berechnungen angesetzt:

Tabelle 2: Übersicht berücksichtigter Fahrzeuge

Berücksichtigte Grundlagen Diesel-Fahrzeuge			
Elektro	Diesel		
Bohrwagen Typ DD422iE	Bohrwagen Typ DD422i	122	DkW
Lader Typ ST14 Battery	Lader Typ ST14 (14t)	250	DkW
Truck Typ MT42 Battery	Truck Typ MT42 (42t)	388	DkW

Beginnend mit der Sonderbewetterung sind die Unterschiede der notwendigen Frischluftmengen zwischen Elektrik und Diesel immens. So ist nach den notwendigen Vorgaben in diesem Beispiel bei der elektrifizierten Flotte die Mindestluftgeschwindigkeit maßgebend. Dieser Unterschied wird noch erheblich größer beim Einsatz von Trucks und längeren Fahrstrecken, wie die Berechnung für die zweite Variante einer 3000 m langen Transportstrecke aufzeigt.

In diesem betrachteten Beispiel sind die Prozesse tabellarisch aufgeführt und leistungstechnisch gegenübergestellt.

Hierbei wird jeweils die Variante 1 (VAR. 1) zur Variante 2 (VAR. 2) unterschieden. Die Merkmale entsprechen hierbei:

- VAR. 1 – Ohne Trucks, Lader kippt direkt an Kippstelle ab;
1 Lader pro Vortrieb
- VAR. 2 – Mit Trucks, 2 Trucks und ein Lader pro Vortrieb im Einsatz
(nur ein Truck in der Vortriebsstrecke)

Die einzelnen beschriebenen Phasen gliedern sich dabei wie folgt auf:

- Phase 1: Bohren und Sprengvorbereitung
- Phase 2: Sprengen und Auswettern
- Phase 3: Löse, Laden und Abtransport

Tabelle 3: Luftmengen Sonderbewetterung

VAR. 1				
	Batterie- Betrieb		Diesel- Betrieb	
Sonderbewetterung maßgebliches Luftvolumen	7,5	m ³ /s	14,3	m ³ /s
Luftgeschwindigkeit in Querschnitt Sonderbewetterung	0,3	m/s	0,57	m/s
Luftmenge für Personal (4 pro Sonderbewetterung)	0,13	m ³ /s	0,13	m ³ /s
VAR. 2				
Sonderbewetterung maßgeblichen Luftvolumen	7,5	m ³ /s	36,4	m ³ /s
Luftgeschwindigkeit max. Sonderbewetterung	0,3	m/s	1,45	m/s
Luftmenge für Personal (6 pro Sonderbewetterung)	0,20	m ³ /s	0,20	m ³ /s

Maßgeblich wirkt sich gerade der Abtransport des Haufwerks auf die notwendige Bewetterung aus. Gerade hierfür ist eine größere Luftmenge erforderlich die bei einer elektrifizierten Flotte fast vollständig wegfällt. Allerdings darf nicht nur der Arbeitszyklus des Schütterns betrachtet werden. Soll die Strecke nach dem Sprengen zügig ausgewettert sein, ist die für den elektrifizierten Betrieb ausgelegte Ventilatorleistung eventuell zu gering und spielt durchaus eine maßgebliche Rolle um zu lange Wartezeiten zu verhindern.

Für die elektrifizierte Flotte kann die Ventilatorenleistung erheblich reduziert werden, vorausgesetzt keine anderen Parameter erfordern höhere Luftmengen. Somit reduzieren sich nicht nur die Investitionskosten für Sonderbewetterungen und derer notwendiger Infrastruktur, sondern auch die Verbrauchskosten der notwendigen Energie. Hierbei muss natürlich der gesamte Zyklus berücksichtigt werden, da der maßgebliche Arbeitsprozess nicht den kompletten Tagesablauf darstellt. Mittels angepasster Bewetterung kann somit in den weiteren Arbeitsprozessen durch reduzierte Ventilatorleistung nachhaltig Energie eingespart werden (Stichwort: Frequenzgeregelter Motoren).

Mit den vereinfachten Ansätzen der Arbeitszyklen 1,2 und 3 über zwei Schichten sind erhebliche Leistungsminderungen für die Bewetterung ersichtlich. Die Leistung der Phase „Auswettern“ ist natürlich stark von der gewünschten notwendigen Zeit abhängig. Dies kann maßgeblich für die Auslegung des Sonderbewetterungslüfters sein.

Tabelle 4: Phasenübersicht Luftmengen und Leistungen Sonderbewetterung

VAR. 1		VAR. 2	
	Batterie-Betrieb	Diesel-Betrieb	
Nennleistung Sonderlüfter (ca.-Werte)	22 kW	37 kW	Diesel-Betrieb 90 kW
Luftmenge Phase 1	maßgeblich: 0,3 m/s 7,5 m ³ /s	maßgeblich: 0,3 m/s 7,5 m ³ /s	maßgeblich: 0,3 m/s 7,5 m ³ /s
Notwendige Lüfterleistung Phase 1	13 kW	15 kW	13 kW
Luftmenge Phase 2	maximales Volumen 7,5 m ³ /s	maximales Volumen 14,3 m ³ /s	maximales Volumen 7,5 m ³ /s
Notwendige Lüfterleistung Phase 2	13 kW	31 kW	13 kW
Luftmenge Phase 3	maßgeblich: 0,3 m/s 7,5 m ³ /s	maßgeblich: Diesel 14,3 m ³ /s	maßgeblich: 0,3 m/s 7,5 m ³ /s
Notwendige Lüfterleistung Phase 3	13 kW	31 kW	13 kW
			Diesel 36,4 m ³ /s
			83 kW

Tabelle 5: Gesamtleistungsübersicht Hauptbewetterung

VAR. 1		VAR. 2	
	Batterie-Betrieb	Diesel-Betrieb	
Gesamtleistung über Phase 1 (4 Stunden)	96 kWh	108 kWh	Diesel-Betrieb 108 kWh
Gesamtleistung über Phase 2 (abhängig von Auswetterzeit)	286 kWh	333 kWh	Batterie-Betrieb 229 kWh Diesel-Betrieb 229 kWh
Gesamtleistung über Phase 3 (4 Stunden)	96 kWh	168 kWh	Batterie-Betrieb 96 kWh Diesel-Betrieb 844 kWh
Mehrleistung Hauptlüfter Diesel-Variante pro Zyklus		130 kWh	Diesel-Betrieb 760 kWh
Mehrleistung Hauptlüfter Diesel-Variante über ein Jahr (2 Schichtbetrieb; 2 Zyklen pro Tag)		95.048 kWh	Diesel-Betrieb 554.800 kWh

Tabelle 6: Gesamtleistungsübersicht Sonderbewetterung

	VAR. 1		VAR. 2	
	Batterie-Betrieb	Diesel-Betrieb	Batterie-Betrieb	Diesel-Betrieb
Gesamtleistung über Phase 1 (4 Stunden)	52 kWh	60 kWh	52 kWh	60 kWh
Gesamtleistung über Phase 2 (abhängig von Auswetterzeit)	124 kWh	229 kWh	124 kWh	159 kWh
Gesamtleistung über Phase 3 (4 Stunden)	52 kWh	124 kWh	52 kWh	332 kWh
Mehrleistung Sonderbewetterung Diesel-Variante pro Zyklus		185 kWh		332 kWh
Mehrleistung pro Sonderbewetterung Diesel-Variante über ein Jahr (2 Schichtbetrieb; 2 Zyklen pro Tag)		135.075 kWh		235.334 kWh

Tabelle 7: Phasenübersicht Luftmengen und Leistungen Hauptbewetterung

VAR. 1		VAR. 2	
	Batterie-Betrieb	Diesel-Betrieb	
Nennleistung Sonderlüfter (ca.-Werte)	30 kW	45 kW	Diesel-Betrieb 220 kW
Luftmenge Phase 1	maßgeblich: 0,3 m/s 16,5 m ³ /s	maßgeblich: 0,3 m/s 16,5 m ³ /s	maßgeblich: 0,3 m/s 16,5 m ³ /s
Notwendige Lüfterleistung Phase 1	24 kW	27 kW	24 kW
Luftmenge Phase 2	maximales Volumen 24 m ³ /s	maximales Volumen 31 m ³ /s	maximales Volumen 24 m ³ /s
Notwendige Lüfterleistung Phase 2	30 kW	45 kW	30 kW
Luftmenge Phase 3	maßgeblich: 0,3 m/s 16,5 m ³ /s	maßgeblich: Diesel 28,6 m ³ /s	maßgeblich: 0,3 m/s 16,5 m ³ /s
Notwendige Lüfterleistung Phase 3	24 kW	42 kW	24 kW
			Diesel 116,7 m ³ /s
			211 kW

Die reine Bewetterungsleistung ist bei optimaler Regelung durchaus nachhaltig zu bewerten. Gegenüber der konventionell betriebenen Dieselflotte eines Vortriebs ist bei batteriebetrieb nicht nur eine Investitionsminderung des Sonderbewetterungslüfters von etwa 15 % einzusparen, sondern auch die 1,7-fache Energiemenge. Je nach Anzahl der Vortriebe, weiteren Emissionen, etc. kann auch die Hauptbewetterung durchaus geringer ausgelegt werden, bzw. kann mehr Flexibilität aufweisen. Natürlich muss die Hauptwettermenge des Bergwerks alle Schadstoffsummen abdecken, nicht nur die Aufsummierung der Vortriebs- Sonderbewetterung. Folgend die rechnerische Betrachtung der Hauptwettermengen in Bezug auf zwei Sonderbewetterungen:

Tabelle 8: Luftmengen Hauptbewetterung

VAR. 1				
	Batterie-Betrieb		Diesel-Betrieb	
Hauptbewetterung max. Luftvolumen	16,5	m ³ /s	28,6	m ³ /s
Luftgeschwindigkeit max. Hauptbewetterung (55m ²)	0,3	m/s	0,52	m/s
VAR. 2				
	Batterie-Betrieb		Diesel-Betrieb	
Hauptbewetterung max. Luftvolumen	16,5	m ³ /s	116,7	m ³ /s
Luftgeschwindigkeit max. Hauptbewetterung	0,3	m/s	1,45	m/s

Die Mehrleistung von 554.800 kWh gilt für eine exakt auf den Zyklus abgestimmte Hauptbewetterung. Sollte eine abgestimmte Regelung nicht möglich sein, muss von dem Maximalwert der Bewetterung (Phase 2: 30 kW gegenüber 220 kW) ausgegangen werden. Die Mehrleistung hierfür würde sich auf 1.109.600 kWh erhöhen. Der reale Energieverbrauch kann sich also durchaus bis auf 50 % reduzieren.

Ein beachtlicher Vorteil bei Reduzierung der Hauptwettermengen ist der Einfluss auf die notwendige Infrastruktur der Grube. Da mit erhöhter Wettermenge der notwendige Druckaufschlag der Ventilatorstation quadratisch steigt, können dazu abhängige Wetterbauwerke entsprechend leichter ausgelegt sein. Im Gegenzug ist es natürlich ebenso möglich die Druckerhöhung voll auszunutzen und somit die Wettermengen voll auszureizen und zu nutzen.

Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass die rein theoretische Betrachtung eine Reduzierung der Hauptwetter ermöglicht. Für eine exakte Abstimmung auf die Arbeitsprozesse in einer größeren Grube ist dies wesentlich komplizierter. Die Realität folgt leider nicht der einhundertprozentigen Planung, so dass gewisse Zeitpuffer und Reserven eingerechnet werden müssen.

Eine größere Flexibilität erlauben hier mehrstufige Blockbauweisen von Hauptlüftern. Möglichkeiten zur automatisierten Steuerung sind damit ebenfalls in einer größeren Spannweite gegeben, so dass mit einer solch kombinierten Station die maximale Arbeitsreichweite erlangt werden kann.

Das rein theoretisch betrachtete Beispiel zeigt deutliche Konsequenzen für die Bewetterung bei emissionsarmen Fahrzeugen. Ob diese einfachen Vergleiche in der jeweiligen Praxis eines realen Grubenbetriebes anzusetzen sind, hängt von vielen weiteren Faktoren ab. Nur im Zusammenhang des gesamten Grubenbetriebs betrachtet, kann die Auswirkung der gewählten Motorisierung auf die Bewetterung bewertet werden. Viele weitere Faktoren spielen in diesem Zusammenhang eine Rolle wie:

- Anzahl der Vortriebe und weiterer Arbeitsstätten
 - Luftmengen auch für andere Orte aus anderen Gründen notwendig (Werkstätten, Erkundungen, etc.)
- Größe und Infrastruktur der Grube
 - Weglängen, Wetterschottungen, elektrische Versorgung, Steigungen, Auswetterzeiten
- Andere Emissionsquellen
 - Staub, Lärm, andere Gefahrstoffe welche die notwendigen Luftmengen erhöhen
- Klimatische Bedingungen unter Tage
 - Ist meine Grube bereits an der Klima – Arbeitsschutzgrenze? – Kühlung erforderlich?
- Mögliche Betankungs- und Batterieladeorte
 - Wie weit befinden sich diese von den Arbeitsorten?
- Wechselsysteme der batteriebetriebenen Fahrzeuge
 - Wie einfach kann ich mein Arbeitszyklus planen (Schnellwechselsystem)?
- Weitere Befahrungsfahrzeuge
 - Wieviel zusätzliche Emissionen sind im Hauptwetterweg abzudecken?
- Anforderungen der Grubenwehr

Eine grobe Hilfe um diese Zusammenhänge in die Planung der Grubenbewetterung zu bringen, gibt die Global Mining Guideline Group (GMG) im Papier:

„GMG recommend practices for battery electric vehicles in underground mining“

Aus dem die folgenden zwei Vorgehensschemata entnommen sind:

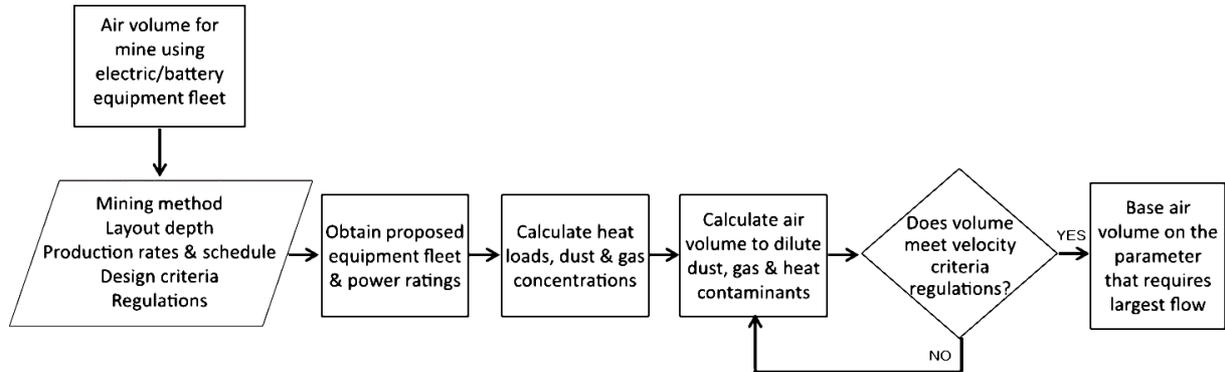


Abbildung 2: Air Volume Sizing Process for Battery-Powered Mobile Equipment [1]

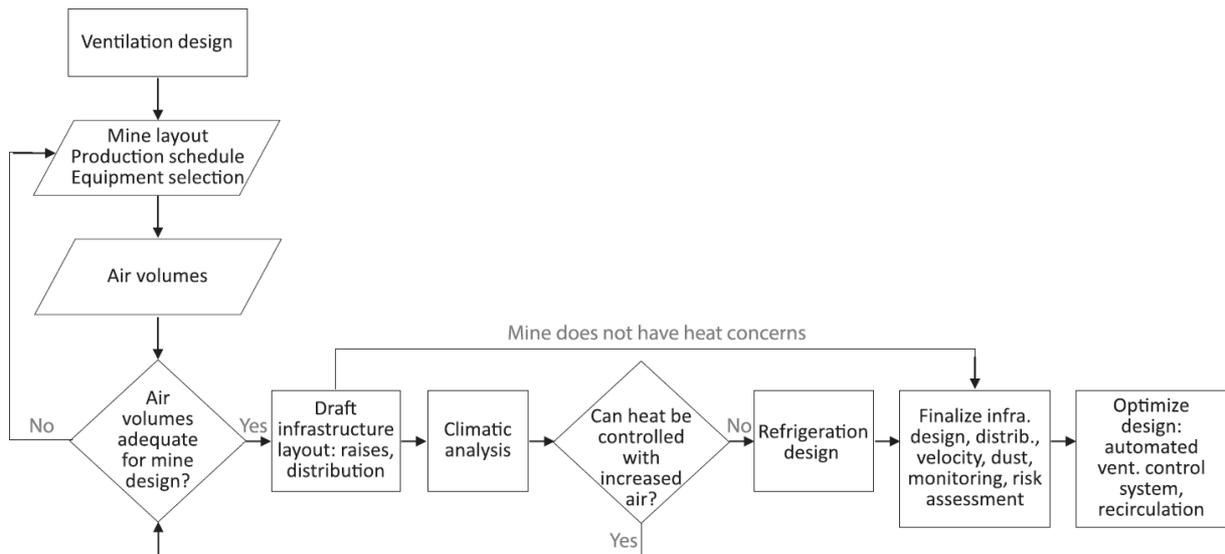


Abbildung 3: High-Level Ventilation Design Process [1]

Diese Schemata helfen um die die Grubenbewetterung zum elektrifizierten Betrieb abzustimmen.

Der nächste Schritt nach einer vollständig emissionsfreien Fahrzeugflotte, wäre sicherlich derer kompletten Automatisierung. Rein arbeitsschutztechnisch wäre somit keine Frischluftzufuhr notwendig. Doch Wartungs- und Kontrollmannschaften, Maschinenkühlung sowie die Verhinderung von Sichttrübungen für Kamerasysteme benötigen dennoch ein gewisses Grundklima welches infrastrukturell zumindest kurzfristig vorgehalten werden muss.

In vorhandenen Gruben ist die Sonderbewetterung relativ leicht zu bewerten und umzustellen. Im Gegenzug ist die Überarbeitung der Hauptbewetterung wesentlich schwieriger und muss erheblich mehr Faktoren des Grubenbetriebes abdecken. Diese Aufgabe kann nicht mehr allein von den Wetterleuten gelöst werden, sondern muss mit anderen Abteilungen gemeinsam geplant und abgestimmt werden.

Somit ist trotz aller Automatisierung die menschliche Kommunikation zumindest bei der Planung nicht aus dem Bergbau wegzudenken.

Quellenverzeichnis

- [1] Global Mining Guidelines Group (GMG), Recommend practices for battery electric vehicles in underground mining – 2nd edition [20180621_UG_Mining_BEV-GMG-WG-v02-r01]

Jens Kegenhoff
jens.kegenhoff@korfmann.com

Korfmann Lufttechnik GmbH
Hörder Str. 286
58454 Witten

Wie lange können es sich Grubenbetriebe noch leisten, nicht zu automatisieren?

Eine Einschätzung

A. Jakobs

Sandvik Mining and Rock Technology

Zusammenfassung

Der Bergbau erfährt, wie auch andere Industriezweige, in den letzten Jahre die vierte industrielle Revolution. Weltweit hat der Transformationsprozess von einem mechanisierten zu einem automatisierten Rohstoffabbau begonnen. Trotz großer anfänglicher Herausforderungen, profitieren bereits einige frühzeitige Anwender vom großen Potential der Digitalisierung und Automatisierung im Bergbau und sind ihrem Wettbewerb einen Schritt voraus. Die Unternehmen, die diesem Trend nicht folgen, werden es auf Dauer schwer haben, wirtschaftlich mit den Pionieren dieser Zukunftstechnologie mitzuhalten.

1 Einleitung

Die Redensart „First to be the second“ beschreibt ein abwartendes Verhalten bis zur endgültigen Marktreife eines Produktes, um dann als zweiter von den Vorteilen der eingeführten Technik zu profitieren, ohne das Lehrgeld bis dahin gezahlt zu haben. Diese eher konservative Denkweise wird oft mit dem Bergbau in Verbindung gebracht. Doch obwohl die ersten automatisierten Fahrlader und Muldenkipper schon Anfang dieses Jahrtausends erfolgreich ihren Regelbetrieb in Bergwerken rund um die Welt aufnahmen, erreichte in Deutschland bisher noch kein System diesen Status.

Wie auch in anderen Industrien, z.B. der Automobilindustrie, hat die Automatisierung im Bergbau schon seit langem ihren Siegeszug angetreten. Allein Sandvik hat global bereits mehr als 60 Bergwerke mit Produkten im Bereich der Digitalisierung und Automation ausgestattet und die Nachfrage ist weiterhin stark zunehmend. Auch in Europa, besonders in den skandinavischen Ländern sowie in Irland, tragen Automationssysteme bereits dazu bei, den Betreiber sicherer, produktiver und am Ende kosteneffizienter Rohstoffe fördern zu lassen, um somit am Weltmarkt wettbewerbsfähig zu bleiben.

2 Die Bergbauindustrie fährt autonom

Sandvik konnte mit Codelco (Chile) bereits 2005 den ersten Kunden für die Automatisierung von Fahrladern gewinnen. Automine® wurde seitdem mehr und mehr zum Inbegriff für Automatisierung im Bergbau. Ende 2018 waren weltweit schon mehr als 400 Sandvik Fahrlader und Muldenkipper im automatisierten Einsatz.

Alle Betreiber eines Automine® Systems vereinen eine große Neugier und Bereitschaft, neue Technologien einzuführen. Die Hauptgründe für die Einführung dieser Technik variieren jedoch von Bergwerk zu Bergwerk. Anfänglich steht zumeist die Erhöhung der Sicherheit und der Wunsch nach ansteigender Produktivität im Vordergrund.

Die Firma Glencore betreibt z.B. in Timmins (Ontario, Kanada) die tiefste Basismetallgrube der Welt. Die Kupfer- und Zinkgrube „Kidd Operations“ liegt in einer Teufe von bis zu 3.000 m und das Personal braucht von übertage bis zum tiefsten Abbau mehr als eine Stunde Fahrzeit. Der hohe Gebirgsdruck sorgt neben hohen Temperaturen für seismische Aktivität nach dem Sprengen und die Abbaue können nicht lange offengehalten werden. Glencore entschied sich für Sandvik Automine® um sicher und effizient eine möglichst hohe Tonnage unter diesen herausfordernden Bedingungen zu fördern [8].

Auch wenn die Bedingungen nicht in jedem Bergwerk so extrem sind wie bei diesem Beispiel, ist die Motivation zur Automatisierung doch in den meisten Betrieben ähnlich. Die Dauer der Einführungsphase verläuft hingegen durchaus unterschiedlich. In Abbildung 1 wird die Abhängigkeit der Implementierungsdauer von verschiedenen internen und externen Faktoren dargestellt. Hierbei spielen die wirtschaftliche Situation, die Unterstützung durch Aufsichtsbehörden und firmeninterne Entscheidungsträger, aber auch Risikobereitschaft und Reife des Bergwerkes in Bezug auf Automatisierungsthemen eine Rolle [6].

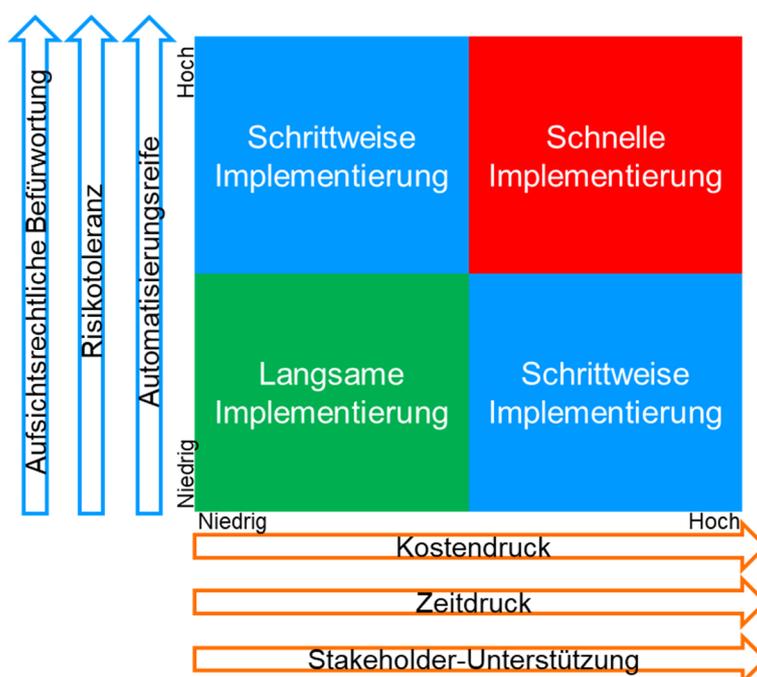


Abbildung 1: Faktoren, die die Wahl des Implementierungsansatzes beeinflussen (ursprüngliche Darstellung in englischer Sprache: GMG) [6]

Die Blockbruchbau Grube Northparkes in Australien beschäftigte sich beispielsweise bereits in den 1990igern, damals noch im Besitz von Rio Tinto, mit ersten Automationssystemen. Nach dem Besitzerwechsel zu China Molybdenum (CMOC) wurden 2012 die ersten automatisierten Fahrlader eingesetzt. Seit 2015 werden letztendlich alle auf der Grube eingesetzten Fahrlader von einer Warte aus automatisiert betrieben (Abbildung 2).



Abbildung 2: CMOC Grubenwarte für Laderautomatisierung [1]

Eine sehr schnelle Implementierungsphase des ersten Automationssystems erfolgte indes auf dem Bergwerk New Afton der Firma New Gold Inc. in Kanada. Der Blockbruchbaubetrieb ermöglicht zwar geringe Bergbaukosten, aber mit einem immer größer werdenden Block stieg die Gefahr durch Schlammeinbrüche an den Abzugstrichtern stark an. Im Jahr 2016 wurde für 20 % der Abzugstrichter ein hohes Risiko festgestellt, so dass an diesen Ladestellen aus Sicherheitsgründen auf ferngesteuertes Laden auf Sicht umgestellt werden musste. Diese Maßnahme verringerte jedoch die Tagesleistung signifikant. Nach einem einmonatigen Automine® Test mit einem Sandvik LH514 Anfang 2017 entschied sich New Gold für den Einsatz von zwei automatisierten Sandvik LH410, von denen der erste bereits Ende 2017 in Betrieb genommen wurde. Die Amortisationszeit dieser neuen Fahrlader wurde nach dem Automine® Test auf 54 Tage geschätzt, was zu einer sehr schnellen Entscheidungsfindung führte [7].

In Mali hat im Jahr 2019 das erste vollautomatisierte Goldbergwerk der Welt die Produktion aufgenommen. Das Syama Projekt der Firma Resolute Mining wurde bereits sehr früh und ohne Kompromisse als „Bergwerk der Zukunft“ geplant. Neben der Grubendigitalisierung mit Hilfe des Sandvik Optimine® Systems kommen automatisierte Produktionsbohrwagen, Fahrlader und Muldenkipper zum Einsatz. Als Herzstück der Gesamtautomatisierung kann hierbei das Server gesteuerte Verkehrsmanagement System auf einer der beiden Rampen angesehen werden, welches einen kontinuierlichen Förderbetrieb, 24 Stunden am Tag und 7 Tage die Woche, ermöglicht. Die Muldenkipper passieren sich hierbei in Nischen auf der Rampe, werden untertage über Scanner navigiert und über Tage über GPS Navigation zur Abkipfstelle geleitet [11].



Abbildung 3: Projektübersicht Syama [11]

Auch wenn sich in Australien und Nordamerika die meisten der bisher knapp 50 Automine® Projekte befinden, hat dieser Trend ebenfalls Europa erfasst. So setzt der schwedische Bergbaukonzern Boliden Automine® Systeme in Schweden und Irland ein. In der irischen Zinkgrube Tara wurde im Jahr 2019 z.B. der erste 63 t Muldenkipper (TH663i) automatisiert in Betrieb genommen [9].

3 Was hält Bergbaubetriebe noch von der Automation ab?

Wie in Abbildung 1 dargestellt, gibt es verschiedene Treiber, die die Implementierung eines Automationsprojektes beeinflussen können. Jedoch stellt sich die Frage, warum sich trotz des großen Potentials der Automatisierung, viele Bergbaubetriebe immer noch abwartend verhalten. Die Antworten scheinen vielschichtig zu sein, nachfolgend sollen einige Ansätze diskutiert werden.

3.1 IT-Voraussetzungen und Cybersecurity

Die Informationstechnik hat in Bergbaufirmen seit langem auf vielen Ebenen Einzug gehalten. ERP-Systeme vereinfachen die Ressourcenplanung und Verwaltung von internen Prozessen und IoT-Lösungen helfen, Daten aufzunehmen und sinnvoll zu nutzen. Auch untertage nimmt die Zahl von Anwendungen zu. Die Anbindung von Bergbaumaschinen zur Erhebung von Telemetrie Daten, z.B. durch „My Sandvik Productivity“, setzt keine permanente WLAN Abdeckung voraus. Durch eine punktuelle Installation, z.B. an der Kippstelle, können somit Maschinendaten über das Internet eingesehen und ausgewertet werden. Die Datenübertragung erfolgt hierbei mit der gleichen Sicherheit wie beim Online-Banking, so dass die Gefahr von Hackerangriffen generell als gering eingeschätzt werden kann. Der Betreiber muss jedoch in Zusammenarbeit mit dem Anbieter die IT-Voraussetzungen schaffen, um einen sicheren Datenzugriff ohne Konflikte mit der Firewall oder grundsätzlichen Fragen der Datenschutzgrundverordnung einrichten zu können.

Um Fahrlader oder Muldenkipper autonom durch die Grube fahren zu lassen, muss eine permanente WLAN Abdeckung erfüllt sein, und die Datenübermittlung hat bestimmten Voraussetzungen in Bezug auf Bandbreite, Varianz und Latenz zu entsprechen. Viele Gruben sind noch nicht dementsprechend ausgerüstet, so dass je nach Größe und Komplexität der Reviere zum einen hohe Investitionen erforderlich sind. Zum anderen ist eine intensive Kooperation mit der lokalen IT-Abteilung von Nöten um eine reibungslose Einführung ermöglichen zu können.

3.2 Personalkapazität

Die IT-Abteilungen in Bergbauunternehmen haben traditionell nicht viel mit untertägigen Prozessen zu tun, sondern beschäftigen sich eher mit ERP-Systemen, Finanzthemen, Serverstrukturen und anderen nicht bergbauspezifischen Aufgaben. Die Einbeziehung von IT-Spezialisten wird aber durch die Einführung von IoT-Lösungen untertage immer öfter notwendig. Da in vielen Unternehmen jedoch noch keine IT-Kapazitäten für den Untertagebetrieb eingerichtet wurden, stellt sich die Einführung von komplexen Automationssystemen oft schwierig dar. Ein „IT-Steiger“, der sich federführend um alle Digitalisierungs- und Automationsprojekte kümmert und als Schnittstelle zwischen IT-, Bergbau- und Technikabteilung fungiert, wäre in vielen Betrieben sinnvoll.

3.3 Anwendungsspezifische Bedenken

Um eine neue Technik einführen zu können, müssen deren Grundsätze, Vor- und Nachteile gegenüber dem bestehenden System verstanden werden. Da Bergbauprozesse zwar meistens vergleichbar mit denen von anderen Projekten sind, aber dennoch Unterschiede aufweisen, muss sowohl das projektspezifische Risiko, als auch das Potential der Investition, bewertet werden um eine Entscheidung für oder gegen ein Automationsprojekt treffen zu können.

Hierbei können Befahrungen anderer Bergwerke, sowie Zeit- und Vergleichsstudien helfen. Wenn es jedoch noch keine positiven Referenzen der Automation für eine bestimmte Bergbaumethode gibt, kann nur ein Versuchseinsatz wie in der New Afton Grube (siehe oben) Gewissheit bezüglich der Produktivität und Effizienz geben. Für den Betrieb im Bruch- und Weitungsbau gibt es zum Beispiel zahlreiche Referenzen, im Kammerpfeilerbau gibt es zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Artikels noch keine Automine® Projekte. Speziell im schnell voranschreitenden Kammerpfeilerbau im Salz- und Kalibergbau ist der Vorbau von Access Points eine Herausforderung. Dieser steht jedoch das große Potential entgegen, gerade bei langen Fahrwegen zusätzliche Ladezeit über Schichtwechsel zu generieren.

4 „War for Talents“ – Die GrösSste herausforderung

Die Anforderungsprofile für technisches Personal in Bergbaubetrieben verändert sich durch die Digitalisierung und Automatisierung zunehmend auf verschiedenen Ebenen. Die Kenntnisse von IT-Experten werden auch untertage immer wichtiger um den Stand der Technik gerecht zu werden. Die Bergbauindustrie steht bezüglich dieses Bedarfs aber im Wettbewerb mit vielen anderen Industriezweigen. Die Auswahl an interessanten Tätigkeiten für Absolventen der Informatik oder ähnlichen Studienfächern ist groß und viele potentielle Arbeitgeber haben ihre Niederlassungen in attraktiven Großstädten. Bergwerke sind jedoch dort, wo die Lagerstätten vorgefunden werden und liegen nicht selten weit abseits von Metropolregionen. Dadurch ist die Herausforderung der Bergbauunternehmen im „War for Talents“ teilweise noch größer als in anderen Branchen.

Bergbaubetreiber und Unternehmer, die Digitalisierung und Automatisierung einführen, werden für Absolventen zunehmend interessanter werden und somit ihre Chancen im Kampf um Talente maßgeblich erhöhen. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Australische, global tätige Bergbauunternehmer Barmenco. Im Dezember 2019 testete Barmenco erstmals erfolgreich den Betrieb eines Automine® Tele-Remote Systems in der Nova Nickel Mine von der 1000 km entfernten Barmenco Zentrale in Perth (Abbildung 4).



Abbildung 4: Automatisiertes Laden von 1000 km Entfernung [4]

Die Steuerung erfolgt hierbei über eine Internetverbindung anstatt über Glasfaserkabel. Das „Barmingo Remote Operating Centre“ (BROC) wird dem Unternehmer und seinen Kunden die Möglichkeit geben, schnell auf veränderte Anforderungen reagieren zu können und Produktivität und Effizienz zu optimieren. Außerdem versetzt es Barmingo in die Situation, durch innovative Schichtmodelle auf gestiegene Erwartungen des Personals, bezüglich eines familienverträglicheren Arbeitsplatzes, eingehen zu können. Wenn zunehmend Maschinen von einem Büro in einer Großstadt betrieben werden können und somit weniger Personal für Wochen oder Dekaden in entlegene Orte geflogen werden muss, könnte neben einer Kostenersparnis auch eine bessere Zufriedenheit und Gesundheit des Personals die Folge sein.

Rio Tinto, die Regierung von Westaustralien und South Metropolitan TAFE (eine registrierte Ausbildungsorganisation) starteten 2019 ein gemeinsames Ausbildungsprogramm im Bereich der Automatisierung mit Vergabe eines Zertifikats für „Autonomous Control and Remote Operations“. Rio Tinto unterstützt das Programm mit 2 Millionen australischen Dollar und meldete 30 Mitarbeiter für die Teilnahme an um besser für die kommenden Aufgaben gerüstet zu sein [3].

Das Profil einiger Mitarbeitergruppen Bergbau wird sich im Gegensatz zu heute ändern. Als Bediener von Großmaschinen werden infolge des Automatisierungstrends Computer affine Mitarbeiter benötigt werden, die von einer Grubenwarte eine oder mehrere Maschinen steuern bzw. observieren (siehe Abbildung 2 und Abbildung 4). Bergbauunternehmen werden sich mit neuen Strategien beschäftigen müssen, Mitarbeiter mit den richtigen Qualifikationen zu finden. Junge Menschen, für die Computerspiele und Spielkonsolen zum Alltags gehören, könnten für diese Aufgaben in Betracht kommen. Weltweit gibt es z.B. mittlerweile 250 Millionen registrierte Nutzer des „Ego-Shooter“-Games „Fortnite“ [10] und die Besucherzahlen auf der Computerspielmesse Gamescom steigen jährlich an.



Abbildung 5: Jugendliche Gamer auf der Gamescom 2019 [5]

Es kann also davon ausgegangen werden, dass abgesehen von den benötigten Akademikern auch technisches Bedienpersonal zu finden sein müsste, welches die Bereitschaft und Kenntnisse mitbringt, automatisierte Fahrzeuge zu steuern. Zur Weiterbildung sollten durch Betreiber und OEM moderne Trainingsmöglichkeiten, z.B. Simulatoren, bereitgestellt werden.

5 Welcher Wert für den Betreiber liegt in der Automation?

Die Bergbaubetriebe, die bereits den Weg in Richtung Automation gegangen sind, haben diesen durchaus aus unterschiedlichen Gründen eingeschlagen. Alle berichten jedoch von Erfolgen in den vier großen Bereichen Produktivitätssteigerung, Maximierung der Auslastung von Aufbereitung und Equipment, Kostenreduzierung und erhöhter Sicherheit für die Bergleute.

Resolute Mining berichtet bezüglich des Syama Projektes in Mali davon, 15 Millionen US\$ in die Automation von Bohrgeräten, Fahrladern und Muldenkippern investiert zu haben. Der monetäre Effekt der Automation macht sich mit einer Kostenreduktion von 135 US\$ pro Unze Gold bemerkbar [2]. Eine erhöhte Produktivität ergibt sich im Wesentlichen durch einen kontinuierlichen, 24-stündigen Ladebetrieb am Tag, weniger Ausfallzeiten, gleichmäßige Produktion, weniger Angriffspunkte, ein optimiertes Monitoring und die gegebene Skalierbarkeit des Systems auf mehr Maschinen pro Steuersystem. Die Kostenreduktion ergibt sich aus einer geringeren Schadenshäufigkeit und -intensität, einer kleineren Flotte und einer somit geringeren Vorabinvestition. Das Bergwerk verfügt über Ressourcen von 8,2 und Reserven von 3,4 Millionen Unzen Gold und die geplante Jahresproduktion liegt bei 300.000 Unzen pro Jahr [11]. Somit ergibt sich pro Jahr ein Einsparungspotenzial von ca. 40,5 Millionen US\$ durch die Automation.

Sollten sowohl die nachgewiesenen Reserven als auch die indizierten Ressourcen über den Lebenszyklus der Grube vorgefunden und abgebaut werden, ergäbe sich ein gesamtes Einsparungspotenzial gegenüber manueller Equipment Bedienung von mehr als 1,5 Milliarden US\$.

Das Syama Projekt setzt globale Maßstäbe für die Automation von Bergbau Equipment. Da die komplette Automatisierung des Bergwerkes bereits in der Planungsphase berücksichtigt wurde, kann das Projekt auch nahezu alle Vorteile dieser neuen Technology zur Gänze nutzen. Aber auch andere Projekte veröffentlichen große, und vor allem schnelle, Erfolge beim Einsatz von automatisierten Bergbaumaschinen.

Glencore konnte in Kidd Creek konnte seit Einführung des Automine® System die Anzahl der effektiven Produktionsstunden der Lader um ca. 30 % und die Ausnutzung jedes einzelnen Laders um 12 % steigern. Resultierend daraus konnte die Flotte um drei Fahrzeuge reduziert werden [8].

CMOCs Prestige Projekt Northparkes konnte in seinem Blockbruchbau „E48“ seit dem Einsatz einer Flotte von sechs automatisierten 14 t Fahrladern (fünf elektrisch, einer dieselbetrieben) im Jahr 2015 die Förderung um ca. 20 % erhöhen. Die Tägliche Produktivität der Fahrlader konnte um 24 % gesteigert, die Kosten pro Tonne um 23 % reduziert werden. Zusätzlich konnten zuvor häufiger auftretende Kopfverletzungen der Bediener komplett eliminiert werden [1].

Das Bergwerk New Afton (New Gold Inc.) konnte seit Einführung des Automine® Systems ebenfalls beachtliche Erfolge präsentieren. Bei einer Fahrdistanz von ca. 100 m vom Abzugstrichter zum Rolloch kann automatisiert 60 % schneller gefahren werden als beim Betrieb mit einer Funkfernbedienung auf Sicht. Des Weiteren konnten frühere Kosten für Gewaltschäden von durchschnittlich 10.000 US\$ pro Monat eingespart werden. Die Lebenszeit der Reifen ließ sich zudem um ca. 30 % steigern [7].

Alle Projekte, bei denen bisher Automine® Systeme eingesetzt wurden, konnten die Produktivität, Maschinenauslastung und Bergbaukosten maßgeblich optimieren. Eine Verbesserung der maßgeblichen Leistungsindikatoren in zweistelligen Prozentzahlen und eine resultierende Verkleinerung der benötigten Flotte sind hierbei durchaus üblich. Zudem ist auch nach ca. 2,5 Millionen Automine® Betriebsstunden noch kein meldepflichtiger Unfall bekannt.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Maschinenteknik selbst wird permanent weiterentwickelt und in Bezug auf Sicherheit, Produktivität und Effizienz optimiert. Doch nur, wenn die Verfügbarkeit und Auslastung von Maschinen in bisherigen „Totzeiten“ (z.B. während Schichtwechsel und Pausen) nutzbar gemacht wird, können weitere Potentiale ausgeschöpft werden. Hierfür ist der Einsatz von Automatisierung eine notwendige Bedingung.

Während die ganze Welt sehr differenziert den möglichen Einsatz von vollautomatischen Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr verfolgt und diskutiert, sollte die Bergbauindustrie noch stärker den Vorteil kontrollierbarer untertägiger Arbeitsbereiche zur Einführung eines automatisierten Fahrbetriebes nutzen. In Zeiten des allgemeinen Fachkräftemangels könnte dieser Innovationsschub weiterhin helfen, in Zukunft auch in Deutschland das Interesse von jungen Fachkräften an der Bergbauindustrie zu fördern.

Die Automatisierung von Bergbaumaschinen ist schon lange keine Vision mehr, sondern Realität und Stand der Technik. Die Einführung dieser Technologie sollte gewissenhaft geprüft und geplant werden, um sie nach und nach gewinnbringend in den weitestgehend manuellen Betrieb eines Bergwerkes zu integrieren, ohne etablierte Prozesse zu behindern. Langfristig wird jedoch kein Weg an dieser Entwicklung vorbeiführen.

Je länger Bergbaubetreiber mit der Einführung der Automation warten, desto länger verzichten sie darauf, Tag für Tag das enorme Potential dieser Zukunftstechnologie im Vergleich mit ihren Wettbewerbern ausschöpfen zu können.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Australian Mining, 2019. Automation pays off for Northparkes [online]. Verfügbar auf < www.australianmining.com.au > [Abgerufen: 22.12.2019].
- [2] Australian Mining, 2019. Remote mining operations on remote control [online]. Verfügbar auf < www.australianmining.com.au > [Abgerufen: 22.12.2019].
- [3] Australian Mining, 2019. Rio Tinto launches Australian-first automation qualification [online]. Verfügbar auf < www.australianmining.com.au > [Abgerufen: 22.12.2019].
- [4] Barmenco, 2019. Barmenco successfully pilots Remote Operations Centre – BROCC [online]. Verfügbar auf < barmenco.com.au > [Abgerufen: 23.12.2019].
- [5] Euronics, 2019. Unsere Highlights der Gamescom 2019 [online]. Verfügbar auf < <https://trendblog.euronics.de> > [Abgerufen: 01.01.2020].
- [6] Global Mining Guidelines Group (GMG), 2019. GUIDELINE FOR THE IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS SYSTEMS IN MINING [online]. Verfügbar auf < <https://gmgroup.org/> > [Abgerufen: 23.12.2019].
- [7] Gourley, E, 2019. Block cave economics [online]. Verfügbar auf < <https://solidground.sandvik/> > [Abgerufen: 28.12.2019].
- [8] Miller, M, 2016. Deep dive [online]. Verfügbar auf < <https://solidground.sandvik/> > [Abgerufen: 23.12.2019].
- [9] Small, J-P, 2019. Automation transformation [online]. Verfügbar auf < <https://solidground.sandvik/> > [Abgerufen: 28.12.2019].
- [10] Taylor, DB und Chokshi, N, 2019. This Fortnite World Cup Winner Is 16 and \$3 Million Richer, *The New York Times*, 29. Juli (Section B), S. 7
- [11] Welborn, J, 2019. Mine Gold. Create Value. Mines and Money London, 26. November.

André Jakobs

andre.jakobs@sandvik.com

Sandvik Mining and Rock Technology
Gladbecker Straße 427
45329 Essen

Projekt MaMMa – Digitalisierung am Beispiel der vorausschauenden Wartung

M. Schindler, Prof. Dr. A. Rausch

TU Clausthal

S. Schoone, Univ.-Prof. Dr. E. Clausen

RWTH Aachen

1 Motivation und Problemstellung

In umfangreichen IT-Ökosystemen ergibt sich häufig die Problemstellung der Konnektivität zwischen Datenanbieter und Datenkonsumenten. Hin zu einem Bergbau 4.0 taucht diese Problemstellung bei der Entwicklung von innovativen Technologien für die Digitalisierung und Automatisierung ebenfalls vermehrt auf. Wie die Kommunikationsgrenzen zwischen Datenanbieter und -konsumenten zukünftig überwunden werden kann, ist Inhalt eines der vom EIT RAW Materials geförderte Innovationsprojekte: MaMMa – Maintained Mine & Machine. Neben dem Datentransport auf technischer Infrastrukturebene gibt es viele Herausforderungen im Bereich der Integration unterschiedlichster Sensor- und Aktordatensätze, sowie bereits bestehender Insellösungen. Das definierte Projektziel ist die Ermöglichung von intelligenten und agierenden Wartungssystemen für den untertägigen Bergbau am Beispiel der Fördertechnik und der anschließenden Übertragung auf andere Bereiche.

In diesem ersten Kapitel wird erläutert, wie das Bergwerk als IT-Ökosystem verstanden werden kann und das untersuchte Teilsystem aus dem Bereich der Fördertechnik aus datentechnischer Sicht eingeführt. Im zweiten Kapitel wird beschrieben, welche Auswirkungen die Einführung von Cloud- und Servicebasierten Plattformen für heutige Systeme haben. Anschließend wird im dritten Kapitel der im MaMMa-Projekt verfolgte Ansatz eingeführt, sowie abschließend auf die daraus resultierenden zukünftigen Herausforderungen eingegangen. Die behandelte Thematik wird durchgehend von einer bergmännischen und einer software-engineering Perspektive beleuchtet.

1.1 Das Bergwerk als IT-Ökosystem

Klassische Ansätze des Software Engineerings lassen sich für die großen und komplexen softwareintensiven Systeme von heute nicht gut skalieren. Softwaresysteme können aufgrund ihres hohen Vernetzungsgrades nicht mehr isoliert betrachtet werden. Stattdessen sollten sie als Teil eines größeren IT-Ökosystems konzipiert werden. In Analogie zu biologischen Ökosystemen basieren IT-Ökosysteme auf dem Gleichgewicht zwischen Individuen (Autonomie) und Regelwerken (Kontrolle), die Gleichgewichte innerhalb eines IT-Ökosystems definieren. Die Aufrechterhaltung und kontinuierliche Weiterentwicklung von IT-Ökosystemen erfordert ein tiefes Verständnis dieses Gleichgewichtes. [14]

Neben diesen Aspekten spielt auch die Mischung von interdisziplinären und technologie-, sowie nicht-technologie getriebener Perspektiven eine wichtige Rolle. [13]

Bei der Übertragung dieses Verständnisses auf einen bergbaulichen Betrieb spielen die einzelnen Wertschöpfungs- und Prozessketten eine wichtige und besondere Rolle. Die unterschiedlichen autonomen Teilsysteme erstrecken sich entlang dieser Ketten und definieren damit sehr klare Systemgrenzen mit einem definierten Ziel und Regelwerk. Wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, kann ein Ausschnitt aus einem Mosaik aus beteiligten Teilsystemen, Akteuren und sich gegenseitig beeinflussenden Abhängigkeiten bestehen.

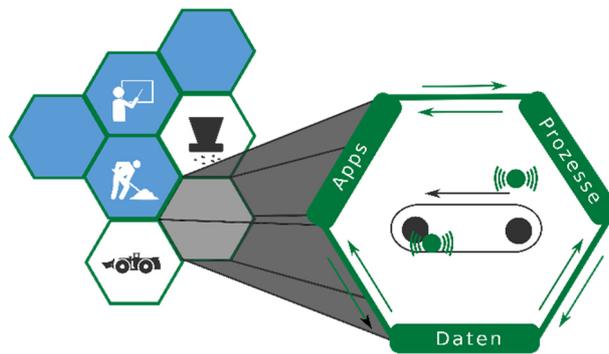


Abbildung 1: Das Bergwerk als IT-Ökosystem

Ein Teilsystem singular betrachtet, welches in der Folge wiederum in seine einzelnen Komponenten zerlegbar ist, für die dann wiederum eine iterative Betrachtung möglich ist, lässt sich durch seine Daten, Prozesse und Anwendungen (Apps) beschreiben. In diesem expliziten Fall der Anwendungen wird der Begriff des Services inkludiert.

Unter Serviceorientierung bzw. serviceorientierte Architekturen (SOA) verstehen wir eine Basisarchitektur, welche „fachlich funktionale Schnittstellen von Softwarebausteinen als verteilte, wiederverwendbare, lose gekoppelte und standardisiert zugreifbare Dienste“ [21, S.85] anbietet.

Ein weiteres Muster in diesem Zusammenhang sind Microservices [21]. Microservices sind weitgehend entkoppelt und laufen eigenständig. Dies spiegelt sich auch in der Entwicklung von Ihnen wieder, sie werden meistens separat und unabhängig entwickelt, gewartet und in Ausführung gebracht.

Die Autonomie bzw. die klare Systemgrenze ist heute z.B. durch den Maschinenersteller oder den Prozess gegeben, so dass übergeordnete Regelsysteme, wie sie auch im Bereich der Automatisierung üblich sind, Anwendung finden und so leicht das Gleichgewicht z.B. durch den Abgleich von Soll- und Ist-Kennwerten möglich ist. Auch mögliche Wartungspläne lassen sich so erstellen und steuern.

Ziel des Projektes ist es, ein IT-Ökosystem aufzubauen und das Gleichgewicht zwischen autonomen Teilprozessen und -systemen und der Beherrschbarkeit des Gesamtsystems durch ein besseres Verständnis der beeinflussenden Komponenten und Akteure zu gewährleisten.

1.2 Teilsystem Bandförderer

Kontinuierliche Bandförderer in einem untertägigen Bergwerk stellen einen zentralen Verbindungspunkt zwischen dem Abbaubereich, der Weiterverarbeitung und auch darauffolgender Arbeitsschritte dar. Dies impliziert nicht nur eine logistische besondere Anforderung an die genutzten Systeme, sondern erfordert auch eine hohe benötigte Prozesssicherheit, um einen optimalen Arbeitsablauf eines Bergwerkes gewährleisten zu können. Somit sind diesen Fördermitteln im untertägigen Bergbau schon immer eine wichtige Rolle zuzuschreiben. [2]

Unter den für den Einsatz von Bandförderern limitierenden Faktoren, wie Länge der Förderstrecke, Neigungswinkel und Häufigkeit der Richtungswechsel, ergeben sich folgende Vorteile, die den Einsatz begünstigen:

- Universell einsetzbares Fördermittel → Stückgüter/Schüttgüter
- Hohe Fördergeschwindigkeit ermöglicht großen Massentransport über lange Entfernungen
- Einfache Konstruktion
- Möglichkeit vieler Sensorapplikationen
- Vergleichsweise geringe Lärmemissionen
- Möglichkeit der Automatisierung [4]

Diese, sich auf den untertägigen Bergwerksbetrieb positiv auswirkenden Eigenschaften, resultieren darin, dass Bandförderer die wichtigsten Stetigförderer geworden sind [11]. Aufgrund des häufigen Einsatzes, der zentralen Position im gesamten bergmännischen Prozess und der durch die Bauweise gut umsetzbaren Sensorapplikationen, beziehen sich folgende beispielhafte Ausführungen auf ein Förderband gestütztes Teilsystem.

1.2.1 Möglichkeiten der Datenerhebung auf Bandförderer

Die Vielzahl an parallel ablaufenden und sich gegenseitig bedingenden Prozessen in einem Bergwerk erschwert, wie vorangegangen beschrieben, die Einführung einer IT-Gesamtlösung. Daher wird im Folgenden der Einsatz eines Bandförderers als ein einzelnes Teilsystem eines untertägigen bergmännischen Ökosystems betrachtet. Dabei kann der Bandförderer nicht nur als ein zentraler Bestandteil der ablaufenden Arbeitsprozesse in der Systemstruktur eines Bergwerkes angesehen werden, sondern ermöglicht durch die zentrale Lage in eben diesen Prozessen und der Maschinenbauweise den Einsatz unterschiedlichster Sensortechnik.

Nachfolgend werden einige Beispiele, von schon heute eingesetzten und auch zukünftig potentiellen sensortechnischen Möglichkeiten vorgestellt, um exemplarisch die Vielfältigkeit der unterschiedlichen erfassten Datensätze zu demonstrieren.

Beim Einsatz von Sensoren wird zwischen aktiven und passiven Sensoren unterschieden. Passive Sensoren erfassen spezifische physikalische Eigenschaften ohne den Einsatz von Aktoren, während aktive Sensoren zusätzliche Aktoren nutzen, um physikalische Eigenschaften nutzbar machen zu können. Ein Beispiel hierfür sind der Einsatz von Strahlungsquellen wie Licht- und Röntgenquellen für Nahinfrarot- oder röntgenbasierte Messtechniken.

Übergreifend über aktive und passive Sensoren sind die verfügbaren einsetzbaren sensortechnischen Lösungen sehr umfangreich und decken den Großteil physikalischer Messeffekte und/oder das elektromagnetische Spektrum ab. [2]

So kann eine Vielzahl an Informationen über die im Einsatz befindlichen Maschinen und über die transportierten Materialien gesammelt werden. Dazu gehören unter anderem:

- Gewicht des Materials
 - Bandwaage [6]
- Charakterisierung der geförderten Materialien
 - Physikalische und elektromagnetische Effekte [6]
 - Kombinierte Rasterelektronenmikroskopie [1]
 - Kameras [2]
 - Detektoren [2]
- Temperaturen
 - Temperatursensoren [3]
- Drehzahl und Geschwindigkeiten
 - Beschleunigungssensoren [3]
- Massenstromanalyse
 - Kombination Waage und Beschleunigungssensoren [6]
 - Photoelektrische Sensoren [6]

Diese exemplarische Aufzählung von Möglichkeiten zur Erhebung von Daten kann, wie bereits erfolgt, einem jeweiligen Nutzen, physikalischen Effekt oder bestimmten Bereich für die Analytik zugeordnet werden [12]. Um die informationstechnische Verwendung folgend aufzuzeigen, werden die unterschiedlichen Datensätze neu geclustert und Markrosystemen (Maschinendaten / Materialdaten / Sicherheitsdaten / Systemdaten) des Teilsystems Bandförderer zugeordnet.

1.2.2 Erhobene Sensordaten eines Teilsystems (Bandförderer) eingeteilt in Makrosysteme

Diese Vielzahl von möglichen sensortechnischen Datenerfassungen werden zudem erweitert durch zusätzliche Maschinendaten, die alleine von der Bandbenutzung ableitbar sind. Dies führt dazu, dass ein Zielhorizont der Datenerhebung und somit der Datenkonsument der unterschiedlichen Sensordaten in unterschiedliche Makrosysteme weiter unterteilt werden kann.

Bei Betrachtung der datentechnischen Umgebung eines maschinenbezogenen Teilsystems können die zur Verfügung stehenden Sensoren und Datensätze in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum einen sollen die vorliegenden und in den Maschinen inkludierten Maschinendaten genutzt werden. Der Vorteil dieser Daten ist, dass diese ohne sensortechnische Erweiterung in Echtzeit erfasst werden können.

Dazu gehören unter anderem:

- Geschwindigkeit
 - Bandgeschwindigkeit
 - Motorgeschwindigkeit
 - Drehzahl
- Zeit
 - Uhrzeit
 - Betriebszeit
- Motorleistung

Zum anderen ist die sensortechnische Erfassung von Maschinendaten, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, über weitere, gezielt in das Maschinenumfeld applizierte Sensoren, möglich.

Hierbei handelt es sich unter anderem um:

- Temperatur
- Geräuschentwicklung
- Körperschall
- Spannung
- Drehzahl

Hinzu kommen weitere sensortechnische Erhebungen, die in der Peripherie des betrachteten Teilsystems aktiv sind und als Hauptziel einen anderweitigen Datensatz und Datenkonsumenten adressieren. Diese Daten können beispielsweise für die Qualitätskontrolle, die Regelungstechnik, die Sicherheitstechnik, die Wittertechnik und vieles mehr verwendet werden.

Möglichkeiten der Datenerhebung können sein:

- IR Kameras
- Körperwellen
- Gassensoren
- Lasersensoren
- Taster
- Feuchtigkeit
- Farbsensoren
- Visuelle Kameras

Ergänzt wird diese Vielzahl an generierten Datensätzen noch durch die gleiche Menge an Datensätzen der vor- und nachgelagerten Maschinen und Systeme zum jeweiligen Teilsystem. Der Bandförderer, als durch Systemgrenzen aus dem Gesamtprozess extrahiertes Einzelsystem, ist beispielsweise in Abbildung 2 als reduzierte Datenhierarchie dargestellt.

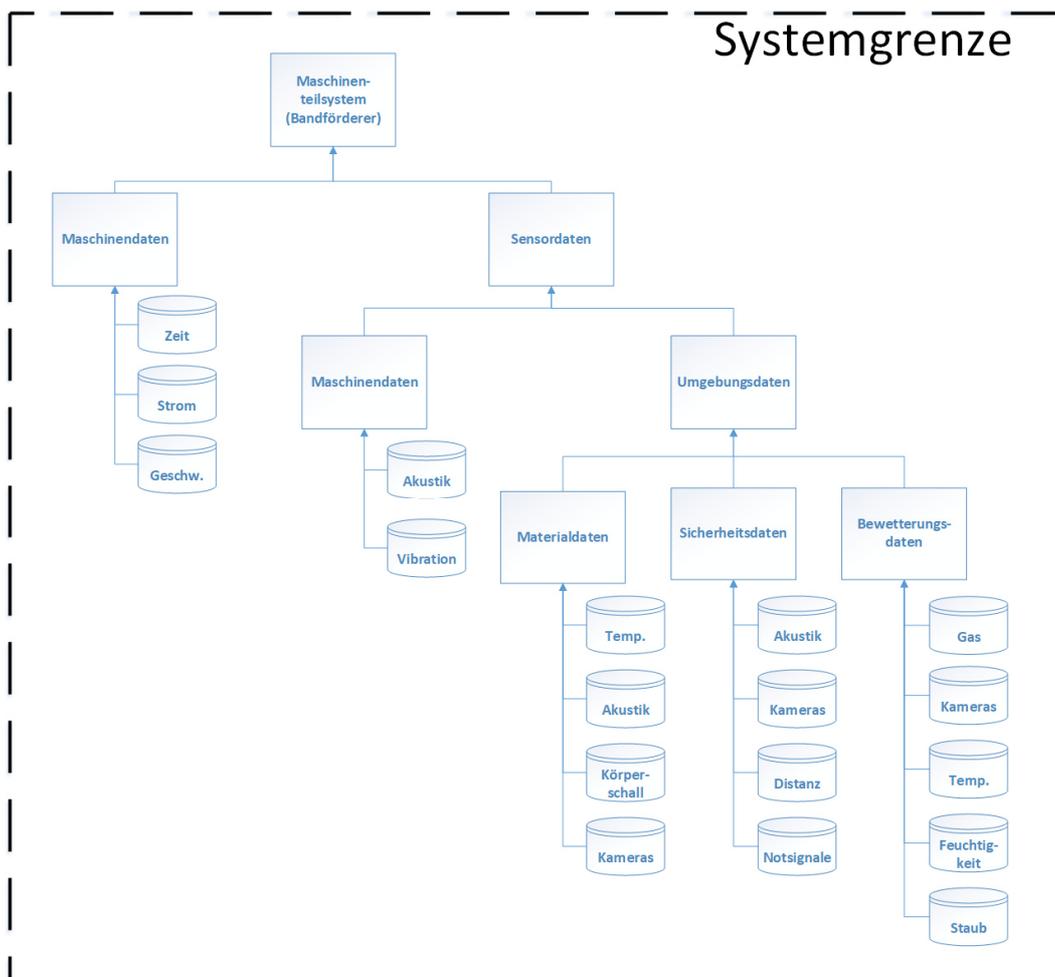


Abbildung 2: Beispiel einer Datenstruktur und Hierarchie eines Teilsystems aus dem untertägigen Bergbau - Bandförderer

Diese beschriebenen Möglichkeiten der sensortechnischen Datenerhebung, die hier zusammengefasst in einzelne Makrosysteme in unterschiedliche Anwendungsfälle der Datenerhebung dargestellt werden, sind in ihrer technischen Nutzung sehr von dem jeweiligen Technologiegrad, dem Fördersystem, dem Maschinenhersteller und dem Bergwerksbetreiber abhängig. Selbst innerhalb eines Betriebes können unterschiedliche Technologiegrade vorliegen. Unabhängig davon, sollen die im Teilsystem Bandförderer erhobenen Daten zur Prozessanalytik nutzbar gemacht werden. Durch eine erhöhte Informationsdichte kann die Komplexität der Prozessanalytik vollständiger aufgezeigt werden. Schon die Definition von Prozessanalytik der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) nach [7] beschreibt das Ziel wie folgt:

„Gegenstand der Prozessanalytik sind chemische, physikalische, biologische und mathematische Techniken und Methoden zur zeitnahen Erfassung kritischer Parameter von chemischen, physikalischen, biologischen und Umweltprozessen. Ziel der Prozessanalytik ist die Bereitstellung von relevanten Informationen und Daten für die Prozessoptimierung, -automatisierung, -steuerung und -regelung zur Gewährleistung einer konstanten Produktqualität in sicheren, umweltverträglichen und kostengünstigen Prozessen.“

Die Zielsetzung lässt sich in gleicher Weise auf die Gewinnungs-, Aufbereitungs- und insbesondere Wartungsprozesse im Bergbau übertragen. Diese Vielschichtigkeit und der große Umfang der abzubildenden Prozesse zeigt die Komplexität der ganzheitlichen IT-Ökosystemdarstellung in bergmännischen Gewinnungsbetrieben auf. Durch die Applikation geeigneter Sensoren können bergbauliche Prozesse erfasst, überwacht und gesteuert werden. Vielmehr noch bildet die sensortechnische und kontinuierliche Erfassung von Prozessinformationen eine notwendige Grundlage für die zukünftige Automatisierung bergbaulicher Gewinnungsbetriebe. [8]

Diese Ziele können nur durch eine umfangreiche Datennutzung erreicht werden (Abbildung 3).

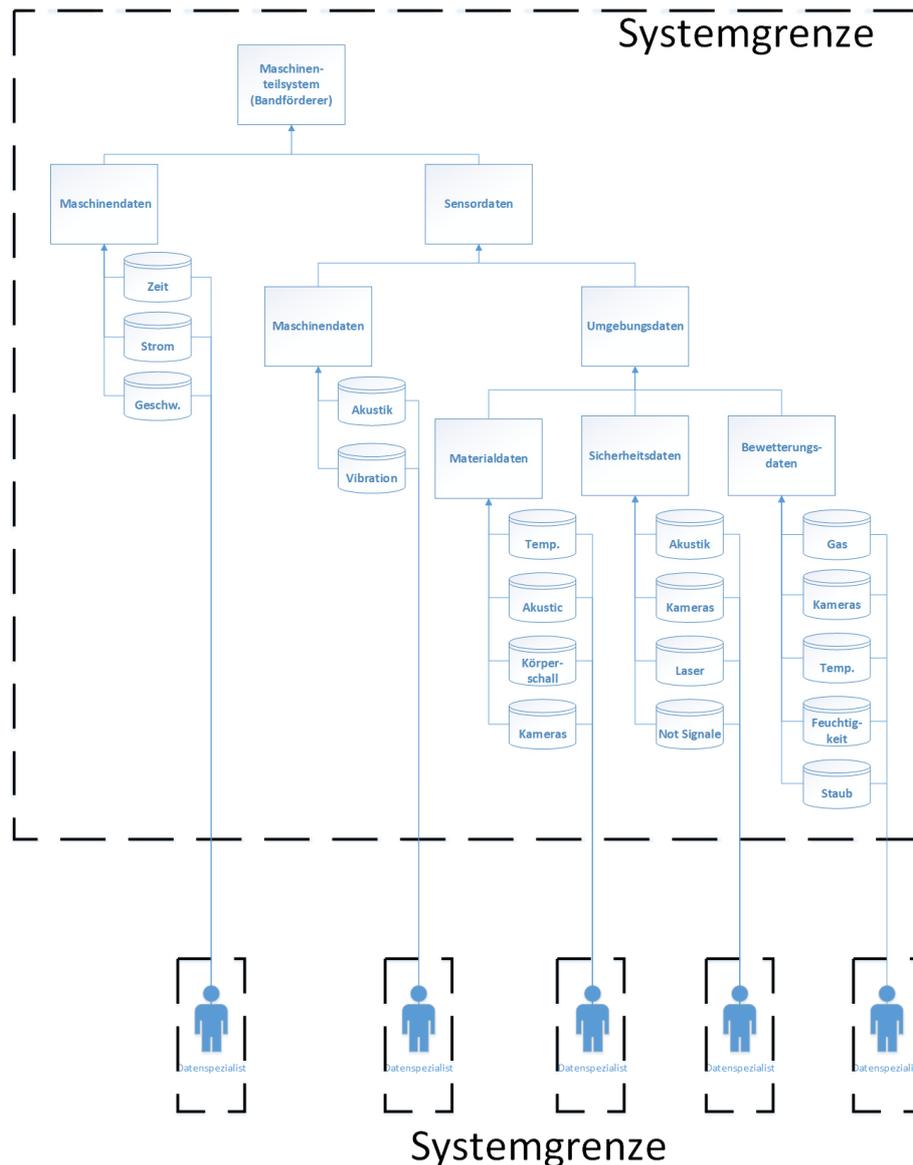


Abbildung 3: Exemplarische Nutzung der Datenmakrostrukturen bezogen noch Arbeitsziel

Abbildung 3 bezieht sich auf die singuläre Datennutzung nach jeweiligem thematischem Makrosystem. Die unterschiedlichen erhobenen Sensordaten werden von dem jeweiligen dazu eingesetzten Datenpezialisten zur Prozessoptimierung oder Wartung genutzt. Häufig werden hierfür aufeinander abgestimmte Systeme und Strukturen verwendet. Dabei ist ein Informationsaustausch innerhalb der Systemstruktur zwischen den Datennutzungspfaden weder vorgesehen noch wird er ermöglicht und in den klar voneinander abgetrennten Systemen der Datennutzung definiert. Somit wird eine Änderung der Systemstruktur der Datennutzung angestrebt, um einen flexiblen Daten- und Informationsaustausch zu ermöglichen. [9]

1.3 Abbildung auf Software Engineering Prozesse

Die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Systeme lassen sich sehr gut auf bewährte und klassische Wasserfallmodelle [15] oder dem V-Modell XT als Entwicklungsstandard¹ und klassischen Konzepten des Software Engineerings [16] abbilden. Nach einer umfassenden Anforderungserhebung wird das Lastenheft, welches vom Auftraggeber bereitgestellt wird, verfeinert und in ein Pflichtenheft vom Auftragnehmer überführt. Dieses Dokument legt klar die zu realisierenden funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen, die gesetzlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen und alle weiteren für die Umsetzung notwendigen Anforderungen fest.

Der Vorteil hierbei ist die klare Systemgrenze, so dass solche Entwicklungen ohne großen Aufwand an externe Unternehmen gegeben werden können, die Systeminfrastruktur auf die Bedürfnisse und Anforderungen ausgelegt und der Funktionsumfang entsprechend auf die im Pflichtenheft spezifizierten Anforderungen beschränkt ist. Dies führt zu klaren Abnahmekriterien und definierten Softwareentwicklungsprojekten.

Der Nachteil, der sich aus diesen Vorgehensmodellen ergibt, sind die langen Projektlaufzeiten und die zeit- und ressourcenintensiveren Anpassungen sich ändernder Anforderungen oder Rahmenbedingungen. Durch die klare Abgrenzung von Systemen oder Komponenten, welche aufgrund der Auftragsvergabe nur natürlich ist, ist in vielen Fällen eine direkte Interaktion von Systemen außer über den bereits in der Anforderungserhebung berücksichtigten nicht möglich, was zu erneuten zeit- und kommunikationsintensiven Integrationsprojekten führt.

2 Einführung von Cloud und Servicebasierten Plattformen

Im vorangegangenen Kapitel 1 wurde das Bezugssystem und somit das betrachtete Teilsystem definiert. Darauf aufbauend wurden mögliche Bestandteile und Möglichkeiten der Datenerhebung und die klassische Datennutzung beschrieben. Mit der Einführung der Prozessanalytik und dem damit einhergehenden Ziel der Prozessoptimierung,-automatisierung und möglicherweise -digitalisierung stellte sich die Aufgabe einer Strukturänderung der Datennutzungsstruktur, die folgend beschrieben wird.

2.1 Datennutzungsstrukturen

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, besteht ein bergbauliches Gesamtsystem aus einer Vielzahl unterschiedlichster voneinander abhängiger, aber autonom voneinander funktionierenden/ablaufenden Teilsystemen. Dieses, gesamtheitlich miteinander verknüpfte System, basiert auf den beschriebenen Teilsystemen, welche in Makrosysteme weiter unterteilt werden können.

¹ https://www.cio.bund.de/Web/DE/Architekturen-und-Standards/V-Modell-XT/vmodell_xt_node.html, letzter Abruf: 27.12.2019

Diese Makrosysteme stehen für eine einzelne Datennutzung der Sensorapplikationen, die unterteilt dann als einzelne Mikrosysteme dargestellt werden können.

Abbildung 4 nimmt den Datenoutput aus in der Abbildung 3 aufgestellten Datenhierarchie wieder auf. Exemplarisch wird für die Darlegung der strukturellen Änderung und Problemstellung der Dateninput singular für einen Sensor aus den Strukturpunkten – Maschinendaten / Materialdaten / Systemdaten – dargestellt.

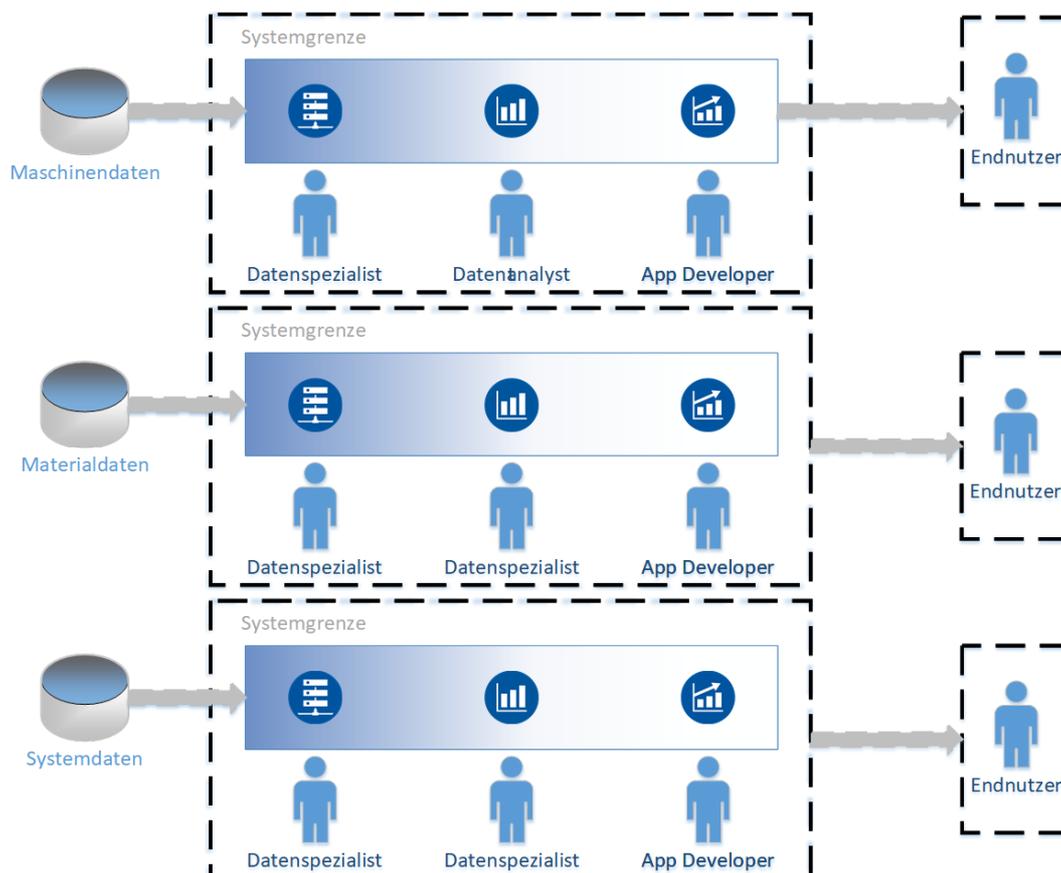


Abbildung 4: Datennutzungspfad vom Sensor zum Endnutzer von einem Datenstream

In der in Abbildung 4 dargestellten linearen Datennutzung wird der Datennutzungspfad eines Sensors an den Datenspezialisten übergeben, der zu Beginn definierte und für weitere Prozesse abgestimmte Vorverarbeitungsschritte durchführt. Häufig wird dadurch in einem ersten Verarbeitungsschritt die Menge der Datenpunkte verringert und an den Datenanalysten übergeben. Dieser Spezialist analysiert, mit seinem betrieblichen Fachwissen, die aufbereiteten Daten und erarbeitet Nutzungsmöglichkeiten und Ableitungen aus den ihm zur Verfügung gestellten Daten. Bei diesem erneuten Verarbeitungsschritt der Daten, wird die Menge der Datenpunkte erneut verringert. Auf die in der Analyse erarbeiteten Algorithmen und Auswertungen baut der App Developer seine Endnutzerorientierte Visualisierung auf und generiert so ein fertiges Produkt. Dieses Produkt wird als eine abgeschlossene und geschlossene Anwendung dem Endnutzer zur Verfügung gestellt.

Dieser häufig linear stattfindende Arbeitsvorgang findet in klar definierten Systemgrenzen statt. Der Datenspezialist erfasst die Daten mit einem auf dem Sensorhersteller klar abgestimmten und häufig empfohlenen System. Der Datenspezialist und der Analyst stimmen sich über zur Verarbeitung der Daten genutzte Tools oder Systemsprachen ab und legen die Ergebnisse auf die innerbetriebliche Anforderung des App Developers aus. Das Endprodukt, welches die Systemgrenzen verlässt, ist ein auf den Arbeitsauftrag abgestimmtes Ergebnis und außer durch Neubeauftragung oder durch vom Entwickler zur Verfügung gestellter Systembetreuung im seltenen Falle flexibel änderbar. Dies hat einige strukturbezogene klare Abgrenzungen zur Folge und kann somit für eine gewisse Stabilität stehen. Ein Gegenargument für solch eine dargelegte Datennutzung ist das so nur eingeschränkt nutzbare Potential der umfangreich gesammelten und/oder zur Verfügung stehenden Daten. [9]

Nachteile sind:

- Der Dateninput ist klar definiert und verbleibt im vorher zugeordneten Strukturpunkt (Maschinendaten / Materialdaten / Systemdaten)
- Die auf den Einzelvorgang ausgelegte algorithmische Auswertung ist nur für das auf den Auslegungsfall definierte Umfeld nutzbar
- Der User kann sich nur das definierte Outputsignal/ grÖÖÙe anzeigen lassen
- Eine systemgrenzenüberschreitende Nutzung ist nicht möglich und somit auch die Erzeugung von Synergieeffekten erschwert oder nicht möglich
- Systemorientierte Emergenzen nicht ermöglicht

Dieses so eingeschränkt genutzte Potenzial der erhobenen Daten führte dazu, dass in einem ersten Schritt Plattformen eingeführt wurden, um eine flexiblere Datennutzung zu ermöglichen.

2.2 Einführung von Plattformen in die lineare Datennutzungsstruktur

Die Einführung einer Plattform in das vorherig vorgestellte Datennutzungsschema (Abbildung 5) inkludierte mehrere Änderungen auf die potentielle Ausschöpfung der erzeugten Daten und die vorliegenden Systemgrenzen.

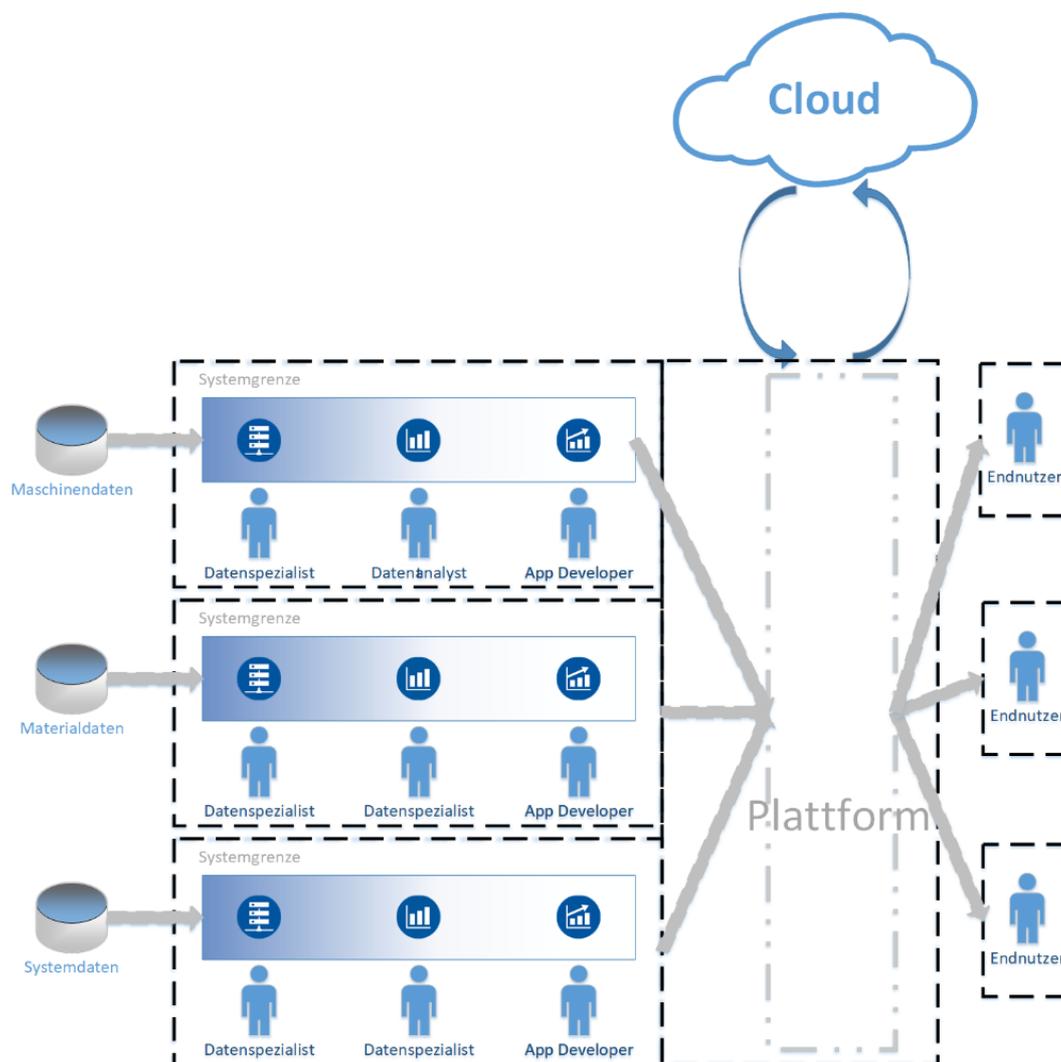


Abbildung 5: Einführung einer Plattform in den Datennutzungspfad

Die, durch die Plattform eingeführte, Systemgrenzenerweiterung führt dazu, dass eine erweiterte Datennutzung ermöglicht werden kann. Es werden die Systemgrenzen zwischen Entwickler / Dienstleister und User (bzw. zwischen Datenlieferant und -konsument) über die einfache Nutzung der Ergebnisse / bereitgestellten Endprodukte abgebildet. Durch die Einspeisung der Produkte in ein plattformbasiertes System werden neue Möglichkeiten der Produktnutzung ermöglicht. Nun kann ein Nutzer sich mehrere Endprodukte über ein Tool anzeigen lassen (Dashboard) und somit Synergien erzeugen. Dies ermöglicht die Entwicklung von visuellen Sensoren, indem die Endprodukte und die somit inkludierten Informationen für neue Anwendungen und Informationsgrundlagen abgeleitet werden. Trotzdem sind noch klare Systemgrenzen vorhanden, die ein effektives Interagieren und systemgrenzenübergreifendes Arbeiten erschweren. [9]

3 Der MaMMA Ansatz

An der zuvor beschriebenen strukturellen Änderung durch die Einführung von plattformbasierten Datennutzungssystemen, orientierte sich das vom EIT RAW Materials geförderte Up-scaling Projekt MaMMA (Maintained Mine and Machine)².

3.1 Entwicklung MaMMA

Die Hauptleistung einer Cloud-basierten Plattform ist die Verschiebung der Systemgrenze von einem geschlossenen hin zu einem offenen System (6).

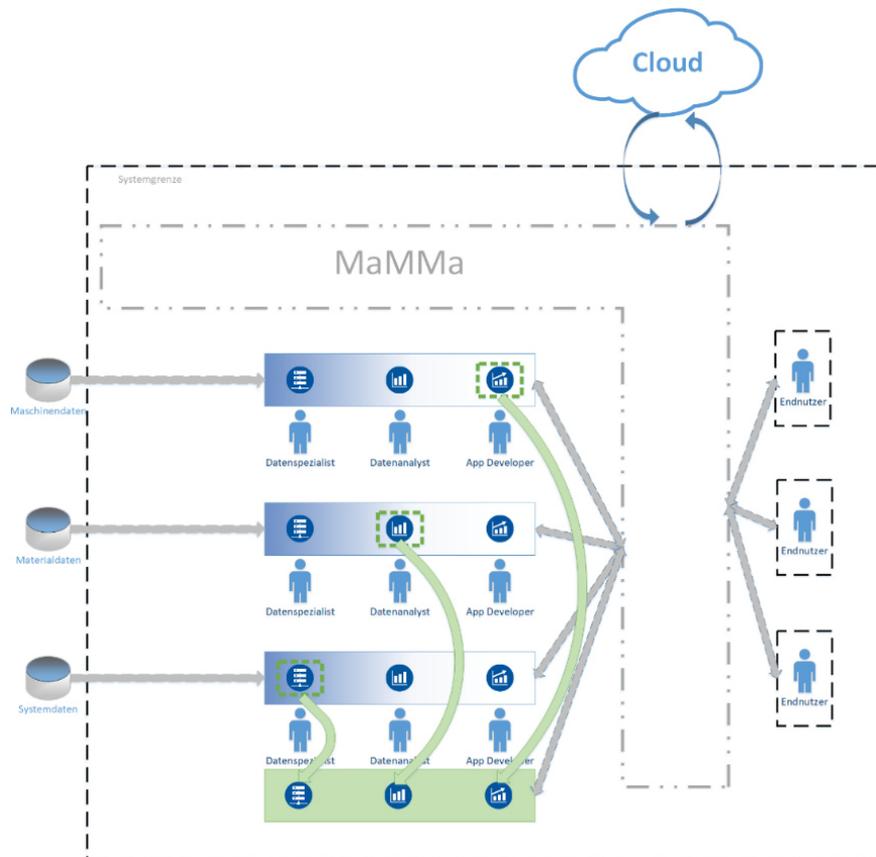


Abbildung 6: Schematische Darstellung neuer Möglichkeiten der Datennutzung durch MaMMA

Eine neue Systemstruktur wird durch die nun bestehende Erweiterung ermöglicht. Nicht nur das lineare Einspeisen und Bereitstellen von vorbearbeiteten Daten oder der kombinierten Bereitstellung von verschiedenen Endprodukten, bezogen auf die Makrosysteme, soll so ermöglicht werden. Eine Interaktion vom Endnutzer mit der Plattform zum flexiblen Abrufen der unterschiedlichen analysierten Datensätze und Endprodukte über flexible/interaktive Dashboards wird genutzt, um einen vergrößerten Nährwert der vorhandenen Daten zu erzeugen. Dies soll zu einer umfangreicheren Prozessanalytik führen, um die Prozessoptimierung und somit auch die Wartung zu verbessern. [10]

² <https://mamma-project.eu/>

3.2 Geteilte Daten und Services

Die Implementierung der Plattform, welche das MaMMA-Konzept beinhaltet, zielt auf eine weitere Funktionserweiterung der Datennutzung ab. Im vorangegangenen Kapitel wurde die Möglichkeit der Interaktion mit in der Plattform integrierten Funktionen und analysierten Daten erwähnt (Abbildung 6). Die Überwindung der Systemgrenzen zwischen den Datennutzungspfaden und enthaltenen datenverarbeitenden Subsystemen (Datenspezialist / Datenanalyst / App Developer) ermöglicht die Umsetzung einer digitalisierungsgetriebenen Entwicklung DevOps (engl. Development Operation), (vgl. Kapitel 3.2 und 4). Dieser prozessverbessernde Ansatz in der Entwicklung von Software, Datenanalytik und Serviceentwicklung ermöglicht eine schnelle und flexible Datennutzung über die einzelnen Segmente einer Datennutzung hinweg. Dies ermöglicht einen rückwärts verlaufenden Eingriff auf die einzelnen datenverarbeitenden Schritte und soll durch die Rekombination aller gesammelten Informationen die Entwicklung von virtuellen Sensoren realisieren. Damit können die so neu erarbeitenden Zusammenhänge genutzt werden, um die Datenpunktdichte weiter anzureichern und Emergenzen aufzuzeigen.

3.3 Skalierbarkeit und Abbildung auf Software Engineering Prozesse

Durch die Entwicklung von cloud- und serviceorientierten Technologien ist eine technische Infrastruktur geschaffen, welche es erlaubt, Systeme oder Komponenten auf verschiedene Art und Weise zu integrieren. Es ist nicht zwingend erforderlich, dass alle Schnittstellen das gleiche Protokoll verwenden, oder gar das Gesamtsystem in der gleichen Programmiersprache geschrieben ist, ein bestimmter Standard über den gesamten Technologiestack eingehalten wird oder alle Daten in einem bestimmten Format in einer zentralen Datenbank vorgehalten werden müssen.

Durch Technologien, die den sog. Consumerbereich geprägt haben und daher mittlerweile ein fester Bestandteil unseres täglichen Lebens sind, erlauben eine hohe Skalierbarkeit mit dem Ergebnis, dass durch die definierten und spezifizierten Prozesse eher „virtuelle“ Systemgrenzen existieren. Die in Kapitel 1 motivierte hierarchische Zerlegung des Systems ist durch diese Technologien möglich.

Daraus resultieren jedoch neue Herausforderungen, die neue Methodiken, Konzepte und Mechanismen auf höheren Abstraktionsebenen erfordern. Zum einen handelt es sich hierbei um die Herausforderungen aus dem Bereich des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT) [17].

Dazu gehören u.a.:

1. Identitätsmanagement einzelner Sensoren und deren Datensätze,
2. Lifecyclemanagement von Daten, Anwendungen und Prozessen,
3. Security Management zur Sicherstellung der Datenintegrität und Sicherheit und
4. die Abbildung von semantischen Zusammenhängen über alle Ebenen, Systeme und Akteure hinweg, durch Meta-Modellierung und Anreicherung mit Meta-Daten.

Diese Herausforderungen führen nicht nur dazu, dass die Rolle des Daten-spezialisten, des Analysten und auch des Entwicklers sich ändern, sondern auch z.B. mehr auf agile Entwicklungsmethodiken gesetzt wird [18], so dass z. B. kürzere Releasezyklen erreicht werden können. Außerdem rückt der Endanwender oder Nutzer in den Vordergrund, der essentieller Bestandteil eines IT-Ökosystems ist. Denn Teil des Systemverständnisses ist es, dass das IT-Ökosystem einen Nutzen für den Anwender / Nutzer darstellt. Andernfalls ist die Rolle des Nutzers oder des Systems an der Stelle infrage zu stellen.

4 Zusammenfassung und zukünftige Herausforderungen

Die Notwendigkeit von technischen Lösungen zur umfangreichen Datennutzung und dem benötigten strukturellen Wandel wird im MaMMA-Projekt anhand der Einführung eines IT-Ökosystems für die Erstellung von Wartungsplänen an einem exemplarischen Use Case (Bandförderer) aufgezeigt. Um die Komplexität dieses Vorhabens darzustellen, wurden anhand eines Teilsystems die unterschiedlichen schon vorhandenen sensortechnischen Datenerhebungsmöglichkeiten und ihre Nutzungsstruktur exemplarisch herausgearbeitet. Mit der Einführung von IT-Plattformen konnte die Datennutzung flexibler und umfangreicher gestaltet werden.

Der im vorherigen Kapitel beschriebene MaMMA-Ansatz bietet eine wichtige technische Grundlage für die angeführten Herausforderungen und reduziert die Hürde für kleine, agile und nutzerorientierte Softwareentwicklungsprojekte. Bei der Betrachtung einer Umsetzung sind diese technischen und technologischen Lösungen nur eine Problemstellung. Bei der Implementation, wie es auch begleitend im MaMMA-Projekt durchgeführt wurde, lassen sich folgende neue Herausforderungen ableiten.

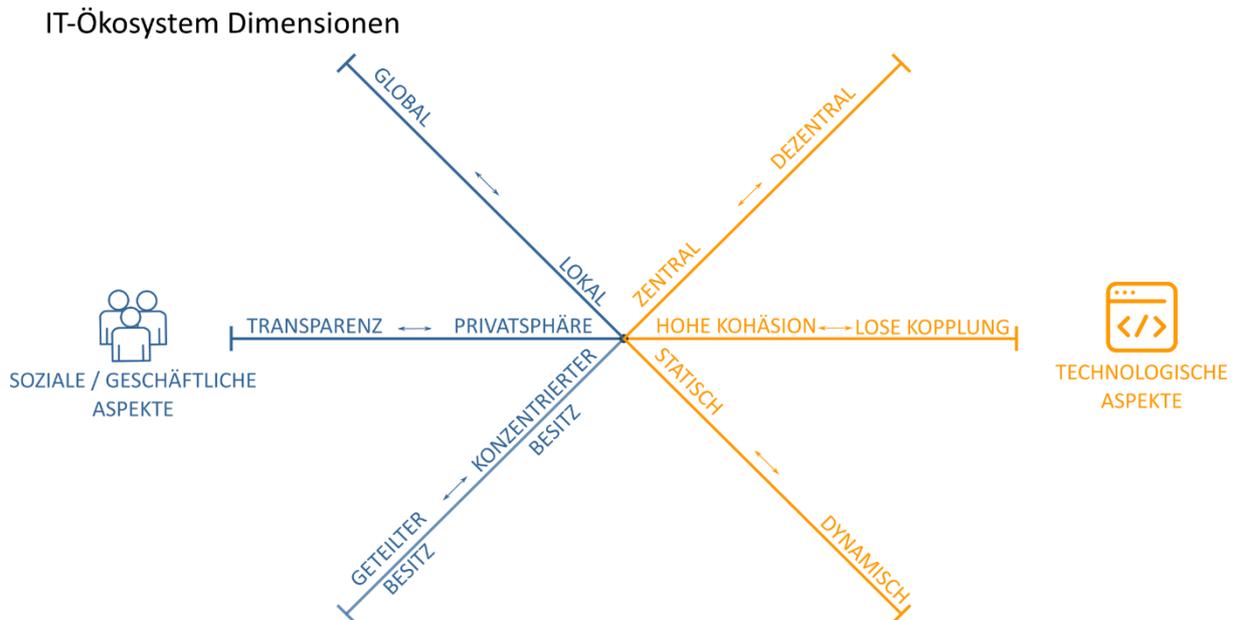


Abbildung 7: Klassifikation von IT-Ökosystemen

Wie in Abbildung 7 beschrieben, existieren neben den technologischen Aspekten auch Aspekte, welche eher durch soziale oder geschäftliche Ziele und Stakeholder getrieben werden. Die bezogen auf die hier betrachtete Domäne, was sich an dieser Stelle auch nicht wesentlich zu anderen Domänen unterscheidet, wichtigen Spannungsfelder sind zum einen der Besitz nicht nur von Maschinen, Infrastruktur oder Ressourcen, sondern auch vielmehr von Daten und Algorithmen und Prozessen. Dies geht häufig einher mit dem Bestreben nach mehr Transparenz, aber dennoch der Wahrung der Privatsphäre oder Betriebsinterna, was nicht zuletzt darin resultiert, dass eine globale Vernetzung und Nutzung von Know-How und Wissen angestrebt wird, jedoch durch die natürliche Lokalität und der zur Verfügung stehenden Ressourcen von z. B. klein- und mittelständischen Betrieben dies heute mit den existierenden Methodiken nicht realisiert werden kann.

Wie auch im Rahmen des MaMMa-Projektes evaluiert wurde, ist es nicht alleine eine technische Hürde, die überwunden werden muss. Wie bereits erläutert, können die technischen Hürden durch neue Technologien stark herabgesetzt werden, so dass Verfahren aus dem Bereich KI (künstliche Intelligenz) oder des maschinellen Lernens im Kontext von Big Data mit adäquaten Aufwand umgesetzt werden können [19]. Dies hilft jedoch wenig, wenn sich die Problemstellung der Freigabe von Daten ergibt.

Erreicht werden soll eine intelligente, anpassungsfähige und flexible Systemstruktur, welche ein emergentes Verhalten ermöglicht. Emergente Softwaresysteme sind aus kleinen Teilen aufgebaute Systeme, bei denen das System Eigenschaften hat, die seine Teile allein nicht haben. Diese Eigenschaften entstehen nur, wenn die Teile miteinander und mit der Umgebung interagieren.

Ein wichtiger Teil der hier betrachteten, emergenten Ökosysteme ist die Optimierung von Teil-systemen und des Gesamtsystems. Emergente IT-Ökosysteme verhandeln ihre Arbeitskonfiguration innerhalb gegebener Rahmenbedingungen und führen damit autonom lokale Optimierungen und Anpassungen durch.

Eine weitere Herausforderung stellt die Wartung und Weiterentwicklung emergenter Systeme dar. Für konventionelle Systeme haben sich in den letzten Jahren DevOps-Ansätze [20] herausgebildet, also Ansätze, die Entwicklung (Development) und Betrieb (Operations) miteinander kombinieren. Allerdings setzen diese Ansätze im Wesentlichen auf die automatisierte Überwachung zur Unterstützung menschlichen Handelns, was in einem komplexen emergenten Ökosystem zwar möglich, aber dennoch der Ausnahmefall sein sollte: Hier sind zwar zum Teil auch menschliche Eingriffe notwendig, z. B. um neuartige Software-Komponenten oder auch in Teilsystemen gelernte Muster dem Gesamtsystem bekannt zu machen oder, wenn erforderlich, die lokalen Systeme vor Ort zu analysieren und Fehler zu bereinigen. Die Einführung solcher Ansätze stellt nicht nur für mittelständische Bergwerke eine Herausforderung dar, denn es setzt einen grundsätzlichen strukturellen Wandel voraus.

Aus den bisherigen Ergebnissen lassen sich zwei wesentliche Herausforderungen ableiten:

1. Welche Rolle spielt der Mensch innerhalb und zukünftig in einem bergmännischen Ökosystem?
2. Durch welche Methodiken und Mechanismen lässt sich auch für die sozialen und geschäftlichen Aspekte ein Gleichgewicht erzeugen, so dass auch in diesem Bereich die Hürden abgebaut werden können?

Natürlich sind die Fragen nach der „richtigen“ IT oder Kommunikationsstruktur im untertägigen Bergbau nicht weniger wichtig, sie bilden vielmehr die Grundlage für die in diesem Papier beschriebenen Ansätze.

Vor einigen Jahren hat man noch probiert den hohen Automatisierungsgrad aus der Industrie in die heimischen Wohnzimmer zu holen, mittlerweile inspiriert die Einfachheit von Apps und Smart Home Technologien die Industrie.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Kiziroglou, Michail E.; Boyle, David E.; Yeatman, Eric M.; Cilliers, Jan J.: Opportunities for Sensing Systems in Mining., IEEE Transactions on Industrial Informatics 13 2017
- [2] Wotruba, Hermann; Knapp, Henning; Neubert, Kilian; Schropp, Christian: Anwendung der sensorgestützten Sortierung für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe, Chemie Ingenieur Technik 86 (2014), Nr. 6, ISSN 0009286X
- [3] Pfannenstiel: Stand und Entwicklungstendenzen der Massengutförderung"
- [4] F. Claes: Abgrenzung zwischen Gurtband- und \Wagenförderung im Steinkohlenbergbau" ebenda Nr.'13 8.67'1-675
- [5] Hulthén, Erik: Real-time optimization of cone crushers: Zugl.: Göteborg, Univ., Diss., 2010. N.S., 3131 (2010)
- [6] C. Taylor; W. Reid: Improved Mining Safety, Communications and Productivity Through the Use of Fiber Optics
- [7] GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER: *Arbeitsrichtlinie des Arbeitskreises Prozessanalytikder GDCh*. 2013
- [8] T. Vraetz: Entwicklung und Anwendung eines innovativen Konzepts zur Inline-Charakterisierung von Stoffgemischen in kontinuierlichen Massenströmen mittels der Acoustic Emission Technologie, RWTH Aachen, Diss.,2018, 1. Auflage Aachen: Verlag R. Zillekens, 2018 Aachener Schriften zur Rohstoff- und Entsorgungstechnik, Band 96 ISBN: 978-3-941277-36-6
- [9] M. Jaekel: Die Macht der digitalen Plattformen, Springer Verlag Wiesbaden GmbH 2017, ISBN: 978-3-658-19178-8
- [10] B. Vogel-Heuser; T. Bauernhansl; M- ten Hompel: Handbuch Industrie 4.0 Bd.4; Springer Verlag Deutschland 2017, ISBN: 978-3-662-53254-6
- [11] Schindler: Gurtfördertechnik – Stand der Technik und aktuelle Entwicklung, Studienarbeit, Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1998
- [12] K. Nienhaus; T. Pretz; H. Wotruba: Sensor Technologies: Impulses for the Raw Materials Industry, Schriftenreihe zur Aufbereitung und Veredlung 50, RWTH Aachen, Shaker Verlag 2014
- [13] Messerschmitt, David G.; Szyperski, Clemens [2003]: Software ecosystem. Understanding an indispensable technology and industry. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [14] Rausch, Andreas and Dirk Niebuhr. "DemSy - A Scenario for an Integrated Demonstrator in a Smart City." (2010).
- [15] H. D. Benington, "Production of Large Computer Programs," in Annals of the History of Computing, vol. 5, no. 4, pp. 350-361, Oct.-Dec. 1983.
- [16] Balzert, Helmut. Lehrbuch der softwaretechnik: Basiskonzepte und requirements engineering. Springer-Verlag, 2010.
- [17] Wortmann, Felix, and Kristina Flüchter. "Internet of things." Business & Information Systems Engineering 57.3 (2015): 221-224.
- [18] Beck, Kent, et al. "Manifesto for agile software development." (2001): 2006.
- [19] Bachmann, Ronald, Guido Kemper, and Thomas Gerzer. Big Data-Fluch oder Segen?. mitp/bhv, 2014.
- [20] Jabbari, Ramtin, et al. "What is devops?: A systematic mapping study on definitions and practices." Proceedings of the Scientific Workshop Proceedings of XP2016. ACM, 2016.
- [21] Gharbi, Mahboub; Koschel, Arne; Rausch, Andreas; Starke, Gernot [2018]: Basiswissen für Softwarearchitekten. Aus- und Weiterbildung nach iSAQB-Standard zum Certified Professional for Software Architecture - Foundation Level. 3., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Mirco Schindler
mirco.schindler@tu-clausthal.de
Prof. Dr. Andreas Rausch
andreas.rausch@tu-clausthal.de

Sunny Schoone
sschone@amt.rwth-aachen.de
Univ.-Prof. Dr. Elisabeth Clausen
eclausen@amt.tu-clausthal.de

TU Clausthal
Institute for Software and Systems Engineering
Arnold-Sommerfeld-Straße 1
38678 Clausthal-Zellerfeld

RWTH Aachen
Institute for Advanced Mining Technologies
Wüllnerstr. 2
52062 Aachen

Challenges of Human Machine Interfaces in highly automated equipment

Dr. C. Müller

MobileTronics GmbH

F. Hovgaard

SAS Scandinavian Airlines

This paper was initially published on the 39th APCOM conference, Wroclaw 2019

1 Abstract

In aviation, accidents and incidents are followed up and investigated much more thoroughly than in any other industry. This is why the aviation industry should call the attention from other industries when it comes to draw experiences from the consequences of combining highly automated systems with human operators. Based on examples from aviation the paper transfers experience from modern aircraft to highly automated machines in mining and tunneling and gives suggestions to the engineers and developers mainly proposing them to avoid implementing automation which can bypass and/or distract the human control in a complex situation where a human brain must interact with advanced computer programming, instead of taking over full and direct control in order to solve an emergency situation.

2 Introduction

Modern vehicles, machines and also aircraft are equipped with computer based automated control to a steadily increasing extend. A major reason for automation often is often the aim to reduce the number of human errors and to relieve the operator from “repetitive or nonrewarding tasks for which humans are less suited” (Skybrary 2018).

By automation therefore, the number of operator inputs is reduced as the automation takes care of most routine tasks, but this, in turn, makes the impact of every remaining humandecision on the entire operation much higher (Mueller 1986), as by example:

- In an aircraft a single wrong manual control input is simply compensated by the next manual command; However an undetected wrong waypoint input into the Flight Management System defining the entire route may have severe consequences.
- A wrong input from the operator to lower the cutting board of a harvester results in cutting the plants too low, but it is easy and uncomplicated for the operator to detect and then compensate by a simple corrective input. A wrong preset value in the auto-level electronics results in an entire field to be cut wrongly if undetected or ignored.

- Drilling one hole from at a slightly wrong position when operating a Drill Rig manually has less impact on operations than running an automatic rig on a completely wrong electronic drill pattern.

The more automation is involved in operation, the more the human operator gets uncoupled from the basic operation of the equipment: Every driver of a car using “Driver Assistance Systems” knows how long time it takes to realize what was happening when suddenly an aural warning informs about the unavailability e.g. of the distance cruise control or the lane departure assistant due to e.g. heavy rain, snowfall or simply a failure of the system. If this happens while driving at 120 km/h (about 33 m/second) on a road lane which is only 3,5 m wide, you certainly do not want to spend unnecessary time with recognition and analyzing as you most likely need to act intuitively, swift and with full manual control in order to save your expensive new car with all the built-in electronic features and gimmicks.

Such comparable situations would even be worse during remote operation, as a remote operator is uncoupled from all local impressions which the pure data based automation is not able to provide to the operator (e.g. sound, smell, vibration, visual surroundings or environmental impressions not related to the machine itself).

In case of a severe failure or an emergency, a car driver often have the option to stop at the roadside and call assistance. This option is not available to pilots flying through extremely cold thin air at a speed of 800 km/h at an altitude of 10.000 m. The pilots must keep controlling the aircraft and at the same time begin to evaluate error messages, analyze the root cause behind the situation, exclude non-essential consequentially derived warnings, apply relevant checklists and procedures while handling communication with the passengers, cabin crew and ATC. On top of this comes decision making about a possible diversion and a lot of other challenges. Spending too much time with performing everything by the book in such situations can in some cases even worsen the situation as valuable time is lost: Especially during emergencies timely behavior often is much more important than reaching the absolute precision (King 2016). “Get the people down, the rest we organize during descend” according to a main aviation principle of “Aviate - Navigate - Communicate”.

From the above it is obvious that the more clear and unmistakable the situation can be presented to the operator (pilot), and the less complicated a direct control can be established the less time is needed to recognize and analyzing the situation, which in turn can save lives.

Reviewing only a few accidents from the past 30 years, as outlined below, a subjective impression arises that these important principles slowly are covered by complex procedures, increased automation and in some situations, an extreme information overflow, which is far away from the capacity of any human operator.

The experience from aviation as the industry with best incident and accident investigation is of major interest for operation of any kind of highly automated machinery. Understanding the consequences may help also in mining to design highly automated machines as well as remote operation centers that, in the best possible way, put the human operator into the center of every possible situation no matter the level of automation. This principle will maybe sometimes lead to a decision not to implement areas of automation in a "Man-Machine" context which however might be the right solution. (European Agency for Safety and Health at Work identifying "the human machine interface as an emerging risk" (EU-OSHA 2009).

3 Human-Machine interaction related aviation accidents

In order to be able to draw conclusions from examples a few typical aviation accidents shall be briefly discussed with their influence of the Human-Machine Interface:

3.1 QF32 near Singapore 2010

Quantas flight 32 was a passenger flight from London to Sydney via Singapore on November 4th 2010 served by an Airbus A380 aircraft. Shortly after takeoff from Singapore Changi Airport it suffered an uncontained engine failure and returned to Singapore to make an emergency landing.

During the emergency which caused a large number of aircraft systems to fail, the information management in the cockpit became a major issue: The "Electronic Centralised Aircraft Monitoring" (ECAM) system gathers data from 250,000 sensors and parameters to manage 1320 checklists (de Crespigny, 2018). It requires the pilots to work these checklists in an order prioritized by the ECAM system. "We actioned 100 checklists in the air and another 20 on the ground ... The result was that the cockpit was one of the most stressful environments it's possible to imagine." (de Crespigny, 2018). On this flight, 5 experienced pilots were on the flight deck (ATSB 2013). Nevertheless, "it took about 50 minutes for the flight crew to complete all of the initial procedures associated with the ECAM messages" (ATSB 2013). The Australian Transport Safety Bureau (ATSB) later spent 966 days investigating what exactly happened. Captain de Crespigny states about this situation: "We faced what felt like an overwhelming barrage of urgent checklists, some replaced so quickly by the next one that we didn't have time to take them in."(ATSB 2013)

Fortunately, the plane was controllable and they had time to work with this flood of messages as they nevertheless had to burn off fuel to reduce safety risk by lowering the weight and thereby runway length needed for landing.

3.2 AF447 over the South Atlantic 2008

Air France Flight 447 was a scheduled passenger flight from Rio de Janeiro, Brazil, to Paris, France, which crashed on 1 June 2009. The Airbus A330 stalled at high altitude and did not recover, eventually crashing into the Atlantic Ocean. All 228 passengers and crew died.

According to the final investigation report (BEA 2012) the plane encountered inconsistencies between the airspeed measurements most likely caused by ice crystals blocking the pitot tube sensors. The autopilot disconnected as a result. Then the crew reacted incorrectly and ultimately caused an aerodynamic stall from which it was not able to recover.

The design of the Airbus Flight Guidance System is designed to alter between different "LAWS" depending on the available sensor input to the three Air Data Computers and Autopilot. In this case the Flight Management System had changed from "NORMAL LAW" to "ALTERNATE LAW". This change of "law", which has a huge impact on the redundancy systems and the flight envelope protective system is not directly displayed to the pilot but must be interpreted by the pilot via some missing information and "X" marks in the corners of the instruments. One of the consequences of the automatic transition from "NORMAL LAW" to "ALTERNATE LAW" is that the automatic aircraft stall protection is lost.

The final investigation report explicitly mentions "The lack of a clear display ... of the airspeed inconsistencies identified by the computers" as well as "the absence of any training, at high altitude, in manual aeroplane handling" (BEA 2012) and in related airspeed inconsistency situations. Some systems generated failure messages only about consequences but never mentioned the pitot tubes as the origin of the problem.

3.3 JT610 Lion Air Flight near Jakarta 2018

The Lion Air flight JT610 was a domestic flight from Jakarta to Pankal Pinang in Indonesia. The nearly brand new Boeing 737 Max 8 aircraft crashed into the Java Sea 13 minutes after takeoff. Nobody of the 189 people on board survived.

A preliminary investigation report reveals flight control problems noticed by passengers and crew on previous flights and problems with the airspeed and angle-of-attack sensors:

The airplane was equipped with a new stall protection system. This system may have been supplied by wrong data from the faulty Angle-of-Attack sensor which caused the stall protection system to initiate a dive. This system was overriding the contradictory (correct) human inputs to recover from the dive. The plane crashed into the sea. (AVHerald 2019)

3.4 LH044 Hamburg 2008

The flight from Munich to Hamburg was operated by an Airbus A320 on March 1st 2008 in significant gusting crosswind conditions following a major storm system in Europe. The left main gear touched the runway but lifted off again, the right hand wing rose rapidly causing the left wing tip to strike the runway surface and the aircraft veer to the left before the airplane was recovered by the crew and a go around commenced (AVHerald 2010).

The investigation report states: “The investigation has shown, that not a single mistake by involved persons, not a malfunction of the airplane and not a deficiency in the organisation led to the wing contacting the ground, but a combination of multiple factors that all such incidents and accidents have of course” (AVHerald 2010).

Related to the Man-Machine Interface the investigation report mentions the fact that the standard Airbus flight control system, per design, is modulating manual pilot flight control inputs in different ways, depending on the flight situation. This means that a given manual input will have different impact on the control surfaces depending on whether the plane is airborne, in flare (shortly before landing) or in ground mode.

Both pilots made compensating inputs to the controls, however due to the first ground contact the movements of the control surfaces were limited making it impossible to compensate the roll. The manufacturer stated that “Had the sidestick input been applied 1,5 seconds earlier,... the left hand bangle would have been limited to 10 degrees” and thus no ground contact would have occurred (AVHerald 2010).

As stated above, this incident investigation could not point out a single factor as the main reason for the ground contact. The pilots did what was expected from them and the Airbus Flight Control System did exactly what it was designed to do, but in between, there might have been a lack of closed loop between "man and machine".

3.5 IT148 Air Inter near Strasbourg 1992

The flight was a scheduled passenger service from Lyon to Strasbourg in France. On 20 January 1992, the aircraft in darkness crashed in the Vosges Mountains while circling to land at Strasbourg Airport. 87 of the 96 people on board were killed.

The investigation showed that the pilots most probably made a wrong input into the Flight Control Unit (FCU). With the, at that time new, autopilot system, pilots were able to select different flight path modes: A vertical speed displayed as a two digit number where the first digit represented the whole thousands and the second digit represented the hundreds of feet the pilot wanted the aircraft to climb/descend with. (rate of climb/descend). Or a Flight Path Angle mode (FPA) where a specified angle could be set, e.g. a 3.3 degrees angle of descend.

This value was set in the same readout window as the rate of descend and the only difference in the two very different situations was the "dot" between the two digits. That means that a set value of "33" gave an input to the Flight Director to climb or descend with 3300 ft./min. whereas "3.3" was a command to follow a flight path angle of 3.3 degrees.

Both modes share the same selector knob as well as the display and have only a small push button to toggle the modes and also similar mode indicators "V/S" versus "FPA". (Johnson 1995)

It is anticipated that the pilots were typing in "33" while the FCU was in Vertical Speed Mode, which means 3300 ft/min vertical speed rather than selecting "3.3" in Flight Path Angle mode in order to achieve the regular approach slope of 3,3°. During darkness, in turbulent conditions and under high workload it is understandable that such details as a tiny dot between two digits and a small text ("VS" contra "FPA") can be overseen by two humans under a considerable stressful working pressure.

Motivated by this accident an experimental study was carried out by the Aeronautical Systems Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology in 1995 about the flight crews mode awareness (Johnson 1995). The study was carried out in simulator experiments and resulted in the conclusion that out of 12 pilots 10 were not able to detect an error in the descent rate caused by unintended activation of the Vertical Speed mode before significantly deviating from the glide path.

Later, the aircraft manufacturer modified the display so it now shows 3300 in Vertical Speed mode. This modification is a clear indication of the originally wrong user interface design.

4 Classification

In the above mentioned examples the Human-Machine-Interface was at least a contributing factor to the accidents and incidents or it caused additional workload and distraction of the human from the essential tasks.

From these examples of aviation accidents we are trying to classify Human-Machine Interface (HMI) related accidents and incidents into the following causal categories, whereas accidents and incidents mostly are multi causal and seldom only fall only into one single category:

1. Designed behavior of the automation different from what the operator would intuitively expect as in examples IT148, LH044, JT610, QF32.
2. Errors in the automation system and the impossibility of the human operator to counteract as the automation prohibits or rejects the "intuitive" inputs as wrong as it was the case probably in JT610.

3. Lack of in depth training in handling the rare situations, where the automated system will provide the pilot with e.g. false flight guidance display inputs. Such situations often calls for the pilot to act against what he has been trained to do during his basic pilot education and resulting wrong behavior of the human in extraordinary situations as in the AF 447 example; Sometimes even in combination with blindly following the advises of the automation system, even when they originate from wrong sensor data as in AF 447.
4. Distraction from the essential tasks and mental overload caused by the automation in extraordinary situations (QF32)
5. Unquestioned believe in the computer instruments “What the computer tells us should be right” as in AF447

In all cases it can be said that the highly automated systems, which are designed to help in safeguarding the aircraft and even take up for most human errors, suddenly either fails or end up in special situations none of the software designers ever have foreseen could happen. In these rare cases the pilot is expected to, in a very short time, both recognize, analyze and apply countermeasures which he never have been trained nor faced before in his career.

5 Automation and manual operation

Several accident investigations with lucky outcome revealed that the pilots were mainly relying on their experience from operation of non or less automated airplanes. In the above mentioned examples this applies especially to the QF32 case. The captain of the QF32 flight, Richard de Crespigny states: “... I figured out there had to be another way out of this mess. Sometimes we have to create our own novel solutions.” (de Crespigny, 2018). He then landed the aircraft using routines from his earlier air force training. With respect of testing the function of all remaining systems needed for landing he states “... this is not something that would normally ever be done in an aircraft with passengers aboard, but we were a long way from normal” (de Crespigny, 2018).

Another example is the famous and well known glider landing of the A320 in the Hudson river in 2009: The pilots were sure about they couldn't make it to one of the airports, so based on their expertise (Cpt. Sullenberger also had glider experience) they regarded this as the best possible solution (NTSB 2010). Would a computer ever have chosen this option?

Both crew finally made their decisions following the “TLAR” principle, because they realized that the situation never had been foreseen by the automation designers and thereby rendering the pilots alone with the problem.

“TLAR” means “That Looks About Right”. Based on your experience it allows you “to take action quickly without having to first make precise calculations. In all of life, timeliness is often better than perfection. Striving for perfection can sometimes lead to paralysis and inaction, and distract from situational awareness” (King 2016).

In several reports it is also stated that the computers gave distracting warnings while the crews were trying to recover. Some felt distracted but ignored them like QF32 during landing (de Crespigny 2018, AISB 2013). Other crews followed the wrong warnings into the disaster, not realizing that these alarms were basing on erroneous sensor data like in AF447 (BEA 2012).

An important aspect in this context is the operator training and the ability of operators to correctly assess a situation. Operators of manual machines are aware of and know by their experience and in the end by “intuition” (“TLAR”) how to handle the actuators, regardless whether actuators are control surfaces of an airplane or hydraulic cylinders of a drill boom or on an excavator.

Operators of automated equipment however are trained to precisely follow procedures or checklists and how to make the correct inputs so the automated machine can perform it’s tasks according to the programmed routines. Therefore an operator of a drill rig who only drills in auto mode only has very limited skills in manually controlling the feed or in moving the booms manually to a new position.

Automation moves the tasks of the operator from being an active part in the control loop into the role of a human monitoring function. This in turn also results in the inability of the human to take over manually within the shortest possible amount of time as he needs some time to regain full situational awareness which is required for a correct action in an extraordinary situation. This also requires training together with maintaining manual operation skills (FAA 2013).

In 2013, the American Federal Aviation Administration (FAA) issued a “Safety Alert for Operators” (“Operators” meaning airlines in this context) with the purpose “to promote manual flight operations when appropriate” (FAA 2013).

The background of this Safety Alert is described as follows: “A recent analysis of flight operations data (including normal flight operations, incidents, and accidents) identified an increase in manual handling errors. The Federal Aviation Administration (FAA) believes maintaining and improving the knowledge and skills for manual flight operations is necessary for safe flight operations.” (FAA 2013)

Under regular operating conditions, modern aircraft are not designed to be operated “fully manual”, meaning with manual control of the control surfaces and, using manual thrust control and, in many cases, switching off the Flight Directors which normally gives steering inputs to the primary flight display (PFD).

Consequently, following this safety alert by training manual flying during regular flights would mean to intentionally switch off certain systems. Such an action normally only would be performed in simulator training, as it may be regarded a safety risk during regular operations. In some critical situations the automation system even prevents the pilot from counteracting an unwanted aircraft behavior by taking over the controls with full authority and direct correlation between the manual input and the movement of the control surfaces (Lionair 2018, LH044). Such situations can occur, either because of software sequences intended for safeguarding the aircraft (LH044) or because the electronics rely on insufficient or wrong sensor input (Lionair 2018).

In such situations it is very difficult for the pilot to recognize and analyze the reason why the aircraft suddenly behaves in an unwanted way. Every pilot will instinctively try to counteract with taking over manually and regain a safe flightpath with his controls, but in some cases this is impossible because the electronics has deselected or modified the manual control inputs from the pilot. Therefore the pilot must locate and disconnect the switches for e.g. the air data computers on the overhead panel in order to regain control over the aircraft. To locate and switch off such systems craves that the pilot divert his attention totally from the flight instruments and the look-out. Such a task can be rather challenging, especially if the aircraft is in an almost vertical dive at low altitude! In a fully human centered design, despite of all technological advance, machine learning, artificial intelligence etc., the pilot or operator must have the full authority, at any time, to regain a regular and unobstructed manual operation mode without diverting his attention from his primary controls and instruments. If this is not possible, it should be considered not to include a human operator in the process at all, because the risk of Man-machine related errors then will be too high.

6 Human centered automation design

Already in 1996, NASA outlined in a technical memorandum the principles for Human Centered Automation Design (Billings, 1996):

1. Responsibility and command authority: “Automation is able to limit the operator’s authority, and in some cases it is not obvious to the operator that this has occurred.” and further: “If the human operator cannot effectively oversee and retain management authority over his tools, he has lost authority over the entire operation”.
2. Operators must be involved: As long as machines are not completely autonomous, no one questions the necessity for operator involvement at some level; the questions relate to the degree of involvement. Operators often become preoccupied by details at the expense of losing “the big picture” of their operation.

The background is the design philosophy “If it is technically and economically feasible to automate a function, automate it” (Douglas 1990, cit. by Billings 1996)

3. Operators must be informed: Glass Cockpit technology has all but erased the problem of insufficient data in the system. “Data, however is not information. It becomes information only when it is appropriately transformed and presented in a way which is meaningful to a person who needs it in a given context.”

4. Humans must be able to monitor the automation: This sounds obvious, however often automation is “strong and silent” about it’s work, leaving humans to wonder about what it is doing. The “quiet and dark cockpit” also known as “Black Panel Technology” reflects this philosophy by giving an indication only when something is not operating properly. However due to the fact that automation moves human decisions to a higher, strategic level, the automation also needs to inform the operator positively about what it is doing in order to enable the operator to supervise it’s correctness.

5. Automation must be predictable: Because of the logical complexity of modern digital systems, they may fail in ways that are quite different from “physical” systems. This increases the probability that the operator’s mental model will not fully account for it’s actual performance. Only if an automation’s normal behavior is predictable, operators are able to detect subtle signs of failure. This fact emphasizes the importance of building the mental models during training and the importance of simplicity in functional design.

6. Automation must monitor the human: Just as machines are prone to failure also the human is subject to making erroneous decisions. Human error contributes to roughly 80 % of all aviation accidents. Audible beeps are frequently used; In order to shorten the time to re-gain situational awareness, audible clear text voice output would be optimal.

7. Communication of intent: Cross monitoring between man and machine and vice versa can only be effective if the monitoring agent – whether human or machine – knows what the monitored agent is trying to accomplish, and in some cases, why! These intentions must be explicit and communicated to the other intelligent agents in the system. While communication from the machine to the human technically can be achieved by quite simple computer peripherals, communicating the true intention from a human to the machine can be a big challenge or even impossible as the computer software has to be prepared (programmed) for every – foreseeable – case.

Applying these principles to the aviation accidents in the first chapter it can easily be questioned whether the principles of Human-Centered Automation Design are met by the design of modern airplane automation systems.

7 How are things presented – the role of displays

As long as partly automated machines in dialog with human operators will be used in any industry, the interaction between human and machine will be a crucial factor.

Especially in the IT148 accident misleading display information played an important role as factor contributing to the accident which was confirmed during the related MIT study (Johnson 1995).

During regular operation, displays have to show relevant information, not raw data. In case some information has to be deemed unreliable (e.g. due to a sensor defect), it may be better to show no value at all rather than showing wrong or “last available” values, possibly together with a small “unreliable” indication. No value at all may intuitively trigger the human to use common sense or other available information for decision making.

Humans tend to believe more in electronic displays than in their personal impression. And this becomes more and more visible as more the human is uncoupled from the manual control tasks. Consequently, a wrong value on the display not questioned by common sense may lead to wrong decisions.

Similar the situation of the error messages. According to the Human Centered Automation principles, data “becomes information only when it is appropriately transformed and presented in a way which is meaningful to a person who needs it in a given context.” In the QF32 accident it can be questioned, whether all the “information” shown on the displays was really “meaningful to a person who needs it in a given context”. The context was a multi system failure situation beyond the design of the automation system. So working all these checklists caused a lot of questionable additional stress to the crew. In case of QF32 the crew worked 50 minutes on 100 ECAM checklists (ATSB 2013), being lucky that they had control of the plane. In case of the need for an immediate landing only about an average of 17 minutes are available to bring the plane on the ground.

8 Automation of a new mobile underground transport system

During the past three years, MobileTronics was developing the VirtuRail® system for rubber tired track-in-track trains for applications in mining and tunneling. In order to have all axles precisely following the first axle using electronic control systems and for automatic guidance of the train in tunnel environments, this system uses complex computer systems. In addition, safety requires that electronic brake and steering functions have to be fail-operational requiring automation system redundancy.

Steering all 18 or more axles manually to follow on one single “virtual rail” simply is impossible to be carried out manually. This means that this function only can be provided by a fully electronic system. From the beginning it was clear, that the operator has to be in the focus of the design in order to support him to maintain situational awareness under all operational conditions, even when he is not able to see along all the train. Compared to an airplane this is a simple application; However the system needs to be absolutely reliable and usable for mining and construction environments.

The Human Centered Design of the user interface was therefore developed with assistance from an aviation professional, covering his experience from operation of “traditional” airplanes, from the design of simulator training and from the operation of modern highly automated aircraft.

The goal of the automation system was to allow manual operation, driver assisted operation and ultimately also fully autonomous operation. A basic recommendation from aviation and consequence from partly confusing status information on modern aircraft was the clear and unambiguous design of the operation modes easy to understand for the operators together with a clearly visible mode indication on the electronic display:

Autonomous: Steering and speed controlled automatically, no driver interaction needed

- Automatic: Steering of all axles is performed automatically basing on the route section selected by the driver, speed controlled manually – electronic speed and steering angle safety limits apply depending on the route section parameters
- Manual: Manual steering of the first axle, the trailing axles are controlled by the track follow algorithms
- Alternate: One of the redundant automation systems is inoperable, driving is possible at reduced speed, track follow system active potentially with reduced availability
- Service: No interlocks, only accessible to maintenance staff

Steering of the trains is – like in modern aircraft – fully electronic. For steering the driver uses a safety certified electronic joystick which also contains buttons and dials for the most used operational functions. During driving, regardless whether manual or automatic, the driver does not need to take the hand from the joystick to handle all driving related functions.

For control of speed and operational brake in the first system electronic pedals were used like in a car. On pilot recommendation this was changed in the second generation to a throttle (speed) lever left of the driver seat which integrates (electric) traction, energy recuperation and brake actions.

During machine startup, the display shows an electronic check list for the checks the operator has to perform prior to start driving; The system cross checks the load on all cars to determine the correct brake pressures for each individual car and informs the driver about possible discrepancies.

While driving, the display only shows the information essential for driving like speed, energy flow, battery status. All information which is regarded normal and within the regular operation envelopes is not shown on the display. According to the “Black Panel” technology, irregularity information is only communicated when needed. For this purpose, easy to understand graphic symbols are used together with a clear traffic light like color code.



Figure 1: Screenshot of a modern E-Drive Vehicle

In Automatic mode, when the guidance system automatically steers the train in the tunnel the driver does not have to move the joystick. However, when the driver deems it necessary e.g. to prepare for meeting opposing traffic which is not yet within visibility of the sensors, the automation falls back from Automatic to Manual mode. When the driver wishes to return to Automatic, he intentionally has to push the corresponding button in the joystick.

Due to this cleanliness of design and operation, drivers only need a short training, despite of the system complexity of 12 networked controllers, guidance computers and guidance sensors. At the same time the operation experience of close to 3 years and over 200.000 km shows that no incidents or Human-Machine interaction related issues occurred in this safety related automation system.

9 Conclusions

As long as humans are interacting with automated machines of any kind, the interaction between man and machine remains the most critical part in operation (EU-OSHA 2009). The examples from aviation lead to the hypothesis that manual operation with well trained operators is safe as well as fully automatic / autonomous operation under well defined and foreseeable conditions. The mixed operation however may be problematic if the principles of Human Centered Automation Design are not met.

A skilled operator should always have the possibility to override and take over manually and if needed bypass the automated systems in order to obtain full manual control. Related to a disabled underground vehicle it may be important to be able to move it out of the way to keep the emergency escape routes clear similar to an aircraft always need to be able to land safely.

Automation system designers should learn from related experience and design not only the displays but also the entire interaction with the operator around the people, a way of design which is significantly different from the traditional engineering centered approach.

With today's artificial intelligence and machine learning it is also possible to learn electronically from operational data recorded during manual operation. A precondition for this however is that during machine learning an experienced operator is controlling the machine in a way not obstructed by computer interaction.

10 References

- ATSB 2013, Inflight uncontained engine failure Airbus A380-842 VH-OQA, Final report AO2010-089, Australian Transport Safety Bureau, 2013
- AVHerald 2019 Crash: Lion B38M near Jakarta on Oct 29th 2018, aircraft lost height and crashed into Java Sea, wrong AoA data, online at www.avherald.com
- AVHerald 2010 Report: Lufthansa A320 at Hamburg on Mar 1st 2008, wing touches runway in cross wind landing, online at www.avherald.com
- BEA 2012, Final Report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF447 Rio de Janeiro – Paris, Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile, Paris 2012
- Billings, C. Human-Centered Aviation Automation: Principles and Guidelines, NASA Technical Memorandum 110381, February 1996 de Crespigny, R. 2018 Inside the cockpit of QF32: How Australia's worst aviation disaster was averted, online at: news.com.au, retrieved 2019-01-21
- EU-OSHA 2009 The human machine interface as an emerging risk, European Agency for Safety and Health at Work, DOI 10.2802/21813 FAA 2013, Safety Alert For Operators SAFO 13002, issued 2013-01-04
- Johnson, E. 1995, EXPERIMENTAL STUDY OF VERTICAL FLIGHT PATH MODE AWARENESS, ASL of the MIT, Cambridge MA, 1995
- King, J. 2016 Why learning to fly by TLAR is important, in: Flying Magazine October 2016
- Mueller, C. 1986 "Elektronik an Landmaschinen", Diploma Thesis, Osnabrück 1986
- NTSB 2010 Aircraft Accident Report ... US Airways Flight 1549, document number NTSB/AAR-10/03 PB2010-910403, Washington DC 2010
- Skybrary 2018 Cockpit Automation – Advantages and Safety Challenges, online at www.skybrary.aero retrieved 2019-01-21

Christoph Müller
cmueller@minetronics.com

Finn Hovgaard

MobileTronics GmbH
Goethestrasse 52
49549 Ladbergen

Digitalisierung von Förderprozessen – Potentiale und Ineffizienzen untertage und übertage

M. Liebetrau

talpasolutions GmbH

Der Betrieb von Bergwerken, über- wie untertage, sieht sich seit Jahrhunderten wiederkehrenden Herausforderungen ausgesetzt. In Bezug auf den aktuellen Zustand und Einsatz von Maschinen herrscht weitestgehend Unklarheit. Die Erfassung von Indikatoren und Leistungen erfolgt in den allermeisten Fällen angenähert und über manuelle Berichtssysteme. Hier ist nicht zu erwähnen, welche Ungenauigkeit und Fehleranfälligkeit mit solchen Methoden einhergeht.

Heutzutage bestehen bereits zahlreiche Insellösungen, um einige Parameter aus der Produktion digital zu erfassen. Über Bandwagen und kontinuierliche Materialanalysen werden so zum Beispiel die Summe der Materialflüsse und/ oder Anforderungen an die Aufbereitung bestimmt. Inwiefern mobile Anlagen aber tatsächlich effizient eingesetzt oder nur weit unter ihrem eigentlichen Leistungspotential genutzt werden, wird selten detailliert evaluiert. Hinzu kommen die zahlreichen unvorhersehbaren Einflussgrößen und Variablen, die im Bergbau an der Tagesordnung stehen.

Durch die Einführung und Nutzung von digitalen Lösungen kann hier Abhilfe geschaffen werden. Interne Maschinensteuerungen generieren Tag für Tag große Datenmengen. Gespeichert oder ausgelesen werden jedoch zumeist nur wenige Mittelwerte oder Störvermerke. Neue Technologien und leistungsfähige Hardware ermöglichen es jedoch den gesamten Datenschatz zu bergen. Jeder interne Steuerungsbefehl und Sensorwert kann so konsistent mitgeschrieben werden. In Verbindung mit einer zeitlichen Referenz liefern diese Daten weitreichende Einblicke in die bedienten Prozesse und den Zustand der Maschinen.

Eine weitere Herausforderung besteht darin die Daten nicht nur zu sichern, sondern auch zu übertragen und nutzbar zu machen. Übertage wird dies teilweise durch tiefe Gruben und nicht ausreichenden Mobilfunkempfang erschwert. Untertage ist der Aufbau einer Netzwerk-Infrastruktur wie WLAN oder Datenfunk ohnehin schwierig und kostenintensiv. Wenn die Grundlagen der Datensammlung, Übertragung und geordneten Auswertung gelegt sind, kann ein wesentlicher Mehrwert erzielt werden, dessen Umfang derzeit noch nicht abschließend bewertet werden kann.

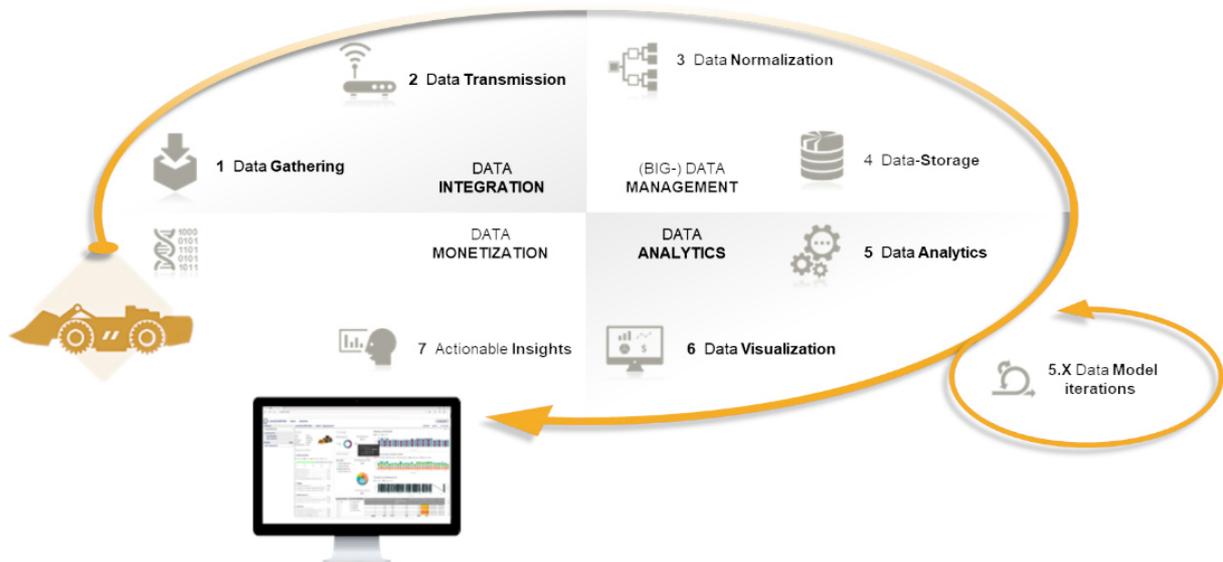


Abbildung 1: Datenwertschöpfungskette – Data Value Cycle

Das digitale Abbilden der tatsächlichen Leistung der mobilen Geräte kann die Prozesseffizienz maßgeblich steigern. Arbeitsanweisungen können präzisiert und Schulungen des Personals gezielt dazu genutzt werden, um mit minimalen Handlungsanpassungen die Einsatzfähigkeit und Produktivität der eingesetzten Mittel zu steigern. Anhand bereits erarbeiteter Fallbeispiele werden die Potentiale von digitalen Lösungen im Bergbau in beeindruckender Weise aufgezeigt. Neben diesen operativen Offensichtlichkeiten bergen Digitallösungen noch zahlreiche weitere Chancen und Herausforderungen. Beginnend mit Datensicherheit, müssen neue Maßstäbe in Sachen Datennutzung und Verwaltung gesetzt werden. In zahlreichen anderen Industrien ist dies bereits erfolgreich geschehen. Dies hat maßgeblich zum Wirtschaftswachstum der letzten Jahre und Synergien im Zuge der Globalisierung beigetragen. Als traditionelle Branche hat der Bergbau hier gleichermaßen Aufholbedarf wie enorme Chancen vor sich liegen, um die Potentiale der Digitalisierung zum Vorteil aller Beteiligten zu nutzen.

Die Vorbehalte gegenüber der Anwendbarkeit und Sicherheit von Digitallösungen gilt es zunächst aufzulösen. Zusätzlich besteht die Herausforderung darin, die Daten nicht wie bisher gezielt auf einzelne Problemstellungen und Komponenten zu beziehen. Der geborgene „Datenschatz“ birgt vielmehr die Möglichkeit Prozessketten holistisch zu betrachten. Hinzu kommt der institutionsübergreifende Nutzen, der aus den Betriebsdaten der Geräte gewonnen werden kann. Neben besseren und schnelleren Informationen zum Status seiner Produktion für den Bergbaubetreibenden, sind die Lastenprofile mit denen die Geräte im tatsächlichen Einsatz konfrontiert sind auch für den Hersteller von höchstem Wert. Diese Informations- und Nutzenkette kann bis zu den einzelnen Zulieferern der Maschinenhersteller weitergeführt werden. Nichtsdestotrotz steht vor der Generierung des vollen Potentials von Digitallösungen im Bergbau zunächst die Definition von Schnittstellen für Insellösungen, zahlreiche Datenvereinbarung, die das Nutzen bestimmter Daten für Dritte ermöglichen oder verhindern, und nicht zuletzt ein Sinneswandel in einer über Jahrhunderte hinweg etablierten und traditionellen Industrie.

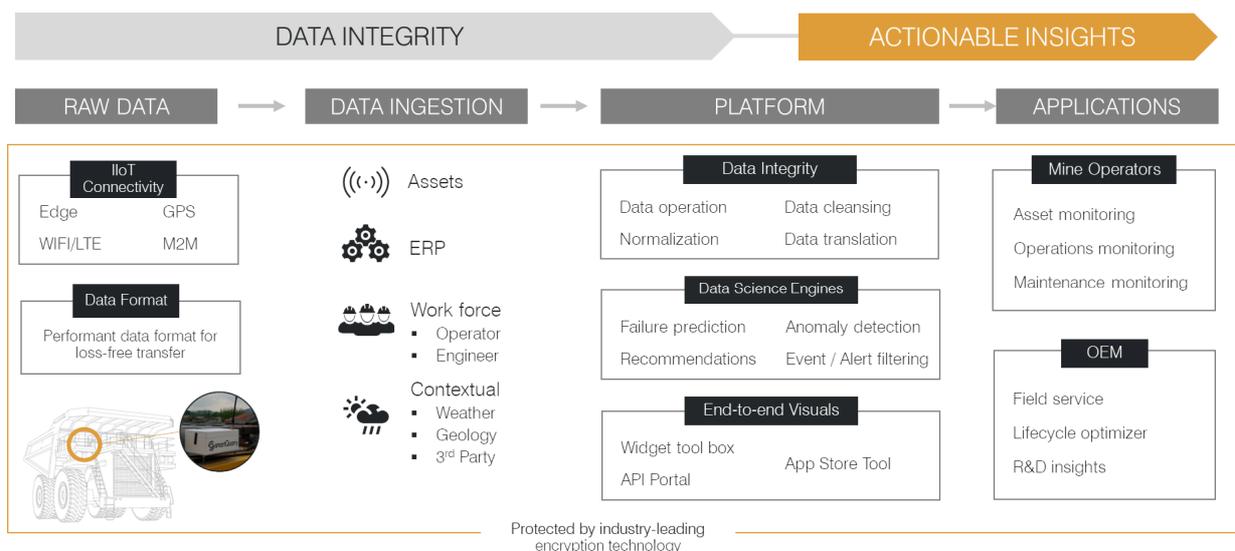


Abbildung 2: Plattformkonzept zur übergreifenden Erfassung und Nutzung von Daten

Mirko Liebetrau
mirko@talpasolutions.com

talpasolutions GmbH
Katernberger Straße 107
45327 Essen

Lokalisierung von untertägigen Transportmitteln mittels Ultra Wideband Technologie

F. Uth, A. Kianfar, R. Balthes, Univ.-Prof. Dr. E. Clausen
RWTH Aachen

1 Einleitung

Die Bergbauindustrie steht in den kommenden Jahrzehnten vor schwierigen Herausforderungen. Innerhalb der nächsten 50 Jahre wird ein globales Bevölkerungswachstum mit einem einhergehenden steigenden Pro-Kopf-Ressourcenverbrauch erwartet, der auf einem durchschnittlich weiter steigenden Lebensstandard beruht [1]. Diese Entwicklung steht vielen herausfordernden Randbedingungen gegenüber, die z.B. einen Rückgang der Wertstoffgehalte bei Erzen und komplexer werdenden Lagerstättenstrukturen bei Neuaufschlüssen umfassen. Weiterhin erfolgt die Gewinnung der mineralischen Rohstoffe oftmals an schwer zugänglichen Orten sowie in zunehmend größeren Teufen [2].

Eine vielfach diskutierte, technisch mögliche, Lösung ist der Einsatz von hochautomatisierten bzw. autonomen Maschinen in untertägigen Bergwerken. Der Einsatz derartiger Maschinen bietet die Möglichkeit, die Sicherheit von Personen sowie die Produktivität zu erhöhen. Derzeit werden teilautonome Maschinen bereits in untertägigen Bergwerken eingesetzt, allerdings in abgetrennten Bereichen und typischerweise in geringem Maßstab [2]. Eine Einführung von vollautomatisierten und autonomen, mobilen Fahrzeugen in großem Umfang erfordert den Einsatz von Lokalisierungs- und Positionierungssystemen, die sich von heutigen Systemen in Bezug auf ihre Anwendbarkeit und Genauigkeit unterscheiden. Heutige Systeme werden beispielsweise als untertägliches Navigationssystem eingesetzt und erreichen Genauigkeiten von ca. 10 m [3]. Diese Systeme sind allerdings weder für eine Lokalisierung oder Steuerung von hochautomatisierten bzw. autonomen Systemen gedacht noch dazu geeignet.

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes Sustainable Intelligent Mining Systems (SIMS) entwickelt das Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen University ein Lokalisierungssystem für mobile Maschinen, das als Grundlage für eine zukünftige Automatisierung von Fahrzeugen eingesetzt werden kann [4]. Das Ziel des Projektes ist es das entwickelte Sensorsystem im schwedischen Erzbergwerk Kristineberg des Bergbauunternehmens Boliden AB anhand von zwei Anwendungsfällen (Lokalisierung und Notfallkommunikation) in rauen untertägigen Umgebungen zu demonstrieren. Dieser Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik von untertägigen Lokalisierungssystemen, sowie zukünftig vorgesehenen Lokalisierungssystemen.

Weiterhin wird das im Rahmen des SIMS-Projektes speziell für die bergbaulichen Anforderungen entwickelte Sensorsystem, basierend auf Ultra-Breitbandfunk und Inertialnavigation vorgestellt sowie die durchgeführten Messungen und Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

2 Stand der Technik – Lokalisierung

Die Lokalisierung ist die Basis für eine Automatisierung von mobilen Maschinen in der untertägigen Rohstoffgewinnung. Zu den Anforderungen an die Lokalisierungssysteme zählen neben der kontinuierlichen und in Echtzeit zu ermittelnden Position in geforderter Genauigkeit auch die Robustheit gegenüber bergbaulichen Umgebungsbedingungen, wie z.B. Staub, Feuchtigkeit und Vibrationen [5]. Nachfolgend sind die am häufigsten in untertägigen Bergwerken eingesetzten Lokalisierungssysteme aufgeführt. Diese basieren mit wenigen Ausnahmen auf Radio-frequency identification (RFID), Wireless Local Area Network (WLAN), Ultra-Wideband Radio (UWB) und Inertial Navigation System (INS) oder einer Kombination daraus [2].

2.1 RFID

Die Radio-frequency identification (RFID) Technologie wird heutzutage zur Echtzeit-Objektidentifizierung in verschiedenen Branchen, wie z.B. der Logistik, Automobilindustrie, Handel und Gesundheitswesen eingesetzt [6]. Passive und Semi-passive RFID-Tags besitzen die Vorteile, dass sie sehr preiswert sind und die benötigte Energie aus dem gesendeten Signal bzw. aus der Umgebung aufnehmen. Ein weitverbreitetes 3D-Lokalisierungssystem basierend auf RFID Technologie ist SpotON, welches auf der empfangenen Signalstärke (Received Signal Strength - RSS) beruht [7]. LANDMARC ist ein aktives RFID-Lokalisierungssystem [8].

Zu den Anforderungen an zukünftige Systeme zählen die genaue Echtzeit-Lokalisierung im unteren Zentimeterbereich. Weitere Anforderungen sind die Lokalisierung von einer hohen Anzahl an Tags, mit einer geringen Leistungsaufnahme, geringer Größe und geringen Kosten. Diese Anforderungen werden von den derzeit verfügbaren RFID Tags der ersten und zweiten Generation nicht erfüllt [9].

2.2 WLAN

Während der letzten 10 Jahre hat die Benutzung von WLAN Standards, im Bereich von 2.4 - 2.5 GHz, für öffentlich betriebene Hot-Spots stark zugenommen. Heute werden diese auch im Bergbau und anderen Industrieanlagen verwendet. WLAN bietet typischerweise Bitraten im Bereich von 1 - 108 Mbps und einer Reichweite von 50 - 150 m, abhängig von den Umgebungsbedingungen. Ebenfalls kann die WLAN-Infrastruktur zur Lokalisierung von Tags angewendet werden. Die Genauigkeit der Positionsschätzung mittels RSS liegt im Bereich > 2 m, abhängig von der Umgebung, mit einer Updaterate von wenigen Sekunden.

Die Lokalisierung anhand der empfangenen Signalstärke (RSS) des WLAN-Signals wird durch verschiedene Faktoren, wie z.B. Bewegung und Orientierung des Tags, Überlappung von Access Points (AP), Position an Stößen und Firse etc. beeinflusst. Es existiert eine Vielzahl an Literatur zur Lokalisierung mit WLAN [10-12]. Verschiedene kommerzielle Produkte wenden beispielsweise das Time Difference of Arrival (TDOA) Verfahren zur Positionsbestimmung an, welches eine Synchronisation von den Empfängern, sowie eine Mindestanzahl von drei Empfängern erfordert um eine Position zu bestimmen [13].

2.3 UWB

Die UWB-Technologie nutzt Impulse, die sehr kurz sind (weniger als 1 ns), dabei jedoch ein breites Frequenzspektrum abdecken. Der Bereich des gesamt verfügbaren Frequenzspektrums liegt zwischen 3,1 - 10,6 GHz, welches jedoch nur entsprechend der jeweiligen Zulassungsregulierung nutzbar ist. Die Impulse belegen mit Bandbreiten von > 500 MHz ein deutlich breiteres Frequenzband als andere Funktechnologien. Durch die beschriebene hohe verfügbare Bandbreite ist eine hohe Übertragungskapazität bei einer geringen Sendeleistung von 1 mW für die einzelnen genutzten Frequenzbänder gewährleistet. Aufgrund der beschriebenen charakteristischen Merkmale bietet die UWB-Technologie im Vergleich zu WLAN einige Vorteile wie beispielsweise weniger Interferenzen mit anderen Funksystemen und eine höhere Genauigkeit bei der Positionsbestimmung [14]. Weiterhin ist die UWB-Technologie aufgrund ihrer beschriebenen Frequenzeigenschaften vergleichsweise unempfindlich gegenüber Multipath-Effekten. Der Multipath-Effekt beschreibt die unterschiedlichen Ausbreitungswege eines gesendeten Signals bei der Übertragung zum Empfänger. Hierdurch kann bei einer Überlagerung von reflektierten Signalen eine Verschlechterung der Übertragungsqualität resultieren [15]. Heute sind verschiedene UWB-Lokalisierungsprodukte von unterschiedlichen Herstellern verfügbar, die auf Lokalisierungsverfahren wie TDOA oder Time-Of-Flight (TOF) basieren [16-18]. Das Prinzip von TOF beruht auf der gemessenen Übertragungszeit des Signals vom Sender zum Empfänger. Die euklidische Distanz wird hierbei durch die Multiplikation der Übertragungszeit und der Signalausbreitungsgeschwindigkeit ermittelt. Dieses Verfahren setzt eine exakte zeitliche Synchronisation für die Genauigkeit der Positionsbestimmung voraus. Aufgrund dessen eignen sich die erweiterten Verfahren Two-Way-Ranging (TWR) oder Symmetric-Double-Sided-Two-Way-Ranging (SDS-TWR). Bei diesen Verfahren werden Ungenauigkeiten zwischen den Zeiten durch eine wiederholte Entfernungsmessung mit wechselndem Sender und Empfänger größtenteils eliminiert [19]. Die Genauigkeiten von UWB-Lokalisierungssystemen liegen im Dezimeterbereich und sind größtenteils auf direkte Sichtverbindungen (Line Of Sight) zwischen Sender und Empfänger zurückzuführen.

2.4 INS

Inertiale Navigation ist eine Navigationstechnik, die Messungen von Beschleunigungen und Drehraten nutzt, um die Position und Orientierung einer mobilen Maschine zu berechnen, bei der die Startposition und -orientierung bekannt sind. Die Beschleunigung und Drehraten werden üblicherweise mit einer Inertialen Messeinheit (IMU) erfasst und werden von einem Computer weiterverarbeitet. Das Gesamtsystem wird als Inertiales Navigationssystem (INS) bezeichnet. Dieses Verfahren der Lokalisierung wird in vielen Bereichen, wie z.B. in der Schifffahrt, Luft- und Raumfahrt sowie in der Robotik angewendet [20]. Grundlegend basiert das INS auf dem Strapdown-Algorithmus, mit dem die gemessenen Beschleunigungen und Drehraten der mobilen Maschine zu Positionen und Orientierungen der Maschine integriert werden.

Inertiale Navigationssysteme können für untertägige Lokalisierungssysteme, die z.B. auf WLAN oder UWB basieren, genutzt werden, um die Genauigkeit zu verbessern. Beispielsweise bieten INS-Informationen die Möglichkeit richtungsabhängige Störungen zu reduzieren oder in Bereichen, in denen keine Sichtverbindung zwischen funkbasierten Sendern und Empfängern gegeben ist (NLOS), die Position und Orientierung der Maschine zu berechnen und damit die Anzahl von Sensoren zu reduzieren, wodurch sich ebenfalls der Preis des Gesamtsystems reduzieren lässt. [21]. In Bezug auf die genannten Anfälligkeiten von externen Störungen bei funkbasierten Lokalisierungssystemen können INS mit dem Ziel der Optimierung von Lokalisierungssystemen eingesetzt werden. Der größte Nachteil von Inertialen Navigationssystemen ist die Sensitivität gegenüber dem Integrationsdrift, mit dem ein Signalrauschen in der Beschleunigung und Orientierung zu einem großen Fehler bei der Position und Orientierung führt. Hierdurch wird der Einsatz der meisten INS als alleiniges Lokalisierungssystem eingeschränkt.

3 Lokalisierung von untertägigen Transportmitteln im Bergwerk Kristineberg

Im Rahmen des SIMS-Projektes wurde ein untertägiges Lokalisierungssystem speziell für die bergbaulichen Anforderungen, basierend auf Ultra-Breitbandfunk und Inertialnavigation entwickelt, mit dem Ziel, den Einsatz des entwickelten Sensorsystems im schwedischen Erzbergwerk Kristineberg des Bergbauunternehmens Boliden AB anhand von zwei Anwendungsfällen (Lokalisierung und Notfallkommunikation) in rauen untertägigen Umgebungen zu demonstrieren. Die durchgeführten Messungen wurden auf der 490-Meter Sohle des Bergwerks durchgeführt. In Abbildung 1 ist das Sensorsystem auf dem mobilen Fahrzeug, bestehend aus einem UWB-Modul, IMU sowie einer Kamera und einem Prisma zur Verifikation der Messdaten dargestellt. Die für die Lokalisierung mit UWB notwendigen Module (UWB-Anker) sind auf der 490-Meter Sohle positioniert worden (siehe Abbildung 2).

Zur Analyse der Einflussfaktoren auf die Genauigkeit des Lokalisierungssystems sind die systematischen Messungen mit den folgenden Transportfahrzeuggeschwindigkeiten durchgeführt worden, wobei 30 km/h die zulässige Maximalgeschwindigkeit innerhalb des Bergwerks darstellt:

- 10 km/h
- 20 km/h
- 30 km/h

Zusätzlich zu den Lokalisierungsmessungen (Anwendungsfall 1) wurden Notfallnachrichten (Anwendungsfall 2) mit den folgenden Informationen von den entsprechenden Positionen des mobilen Fahrzeugs versendet:

- UTC-Zeitstempel
- Position (X,Y,Z)
- Notfallnachricht: ‚Machine Breakdown‘

Für den Messaufbau wurden insgesamt 10 UWB-Anker verwendet. Die UWB-Anker wurden an festen Positionen positioniert, um die Funktionalität in typischen Bergwerksumgebungen zu verifizieren. Fahrzeuge, die sich zum Zeitpunkt der Messungen in dem Messbereich aufgehalten haben sind mit roten Kästen in Abbildung 2 dokumentiert worden. Die Fahrzeuge sind Objekte, die einen Einfluss auf die direkte Sichtverbindung (LOS) zwischen Sender (UWB-Anker) und Empfänger (UWB-Tag) darstellen. Der minimal vorgesehene Abstand von 10 m zwischen den einzelnen UWB-Ankern ist hierbei eingehalten worden. Zur Validierung des Lokalisierungssystems wurde ein Referenzsystem bestehend aus einem Tachymeter und einem Prisma, das auf dem Fahrzeugdach befestigt war, verwendet. Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Bereiche in denen keine Referenzwerte aufgezeichnet werden konnten, da keine direkte Sichtverbindung zwischen Tachymeter und Prisma bestand sind in Abbildung 3 grau-schattiert dargestellt. In diesem Bereich wurde trotzdem eine Position mit dem Lokalisierungssystem ermittelt, da eine direkte Sichtverbindung zwischen Sendern und Empfängern des Lokalisierungssystems bestand. In Fällen in denen keine Sichtverbindung zwischen UWB-Tag und UWB-Anker besteht, wird die Position und Orientierung des Fahrzeugs mittels INS ermittelt. Die dargestellte Messung wurde mit 20 km/h durchgeführt. Abbildung 4 zeigt den absoluten Fehler für verschiedene Geschwindigkeiten jeweils in X- (Fahrtrichtung) und Y-Richtung. Der absolute Fehler in X-Richtung beträgt ca. 0,6 m, wohingegen der absolute Fehler in Y-Richtung bei ca. 1,6 m liegt. Dieser Unterschied basiert auf dem Messaufbau, bei dem die UWB-Anker zum Großteil in Fahrtrichtung (X-Richtung) aufgebaut waren. Weiterhin steigt der absolute Fehler in beiden Richtungen mit erhöhter Geschwindigkeit an, was auf die erhöhten Vibrationen durch das Fahrzeug zurückzuführen ist.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurden verschiedene Lokalisierungstechnologien, die für einen Einsatz in untertägigen Umgebungsbedingungen geeignet sind, vorgestellt. Außerdem wurde ein Lokalisierungssystem basierend auf UWB und INS erfolgreich in untertägigen Umgebungsbedingungen mit einem Technology Readiness Level (TRL) 6 (Prototyp in Einsatzumgebung) demonstriert. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Lokalisierungssystem basierend auf UWB und INS ein großes Potential für Anwendungsfälle wie die untertägige Lokalisierung von mobilen Fahrzeugen sowie Notfallkommunikation besitzt. Im Hinblick auf eine zukünftig weiter voranschreitende Automatisierung hin zu autonomen mobilen Fahrzeugen wird der Einsatz von Lokalisierungssystemen immer wichtiger. Sowohl Fahrzeuge als auch Personen müssen zukünftig in Echtzeit und mit einer hohen Genauigkeit lokalisiert werden, um die Arbeitssicherheit gewährleisten zu können. Das vorgestellte Lokalisierungssystem basierend auf UWB und INS besitzt die Möglichkeit, eine im Vergleich zur Multilateration geringere Anzahl von erforderlichen UWB-Ankern zu verwenden, wodurch auch die Kosten eines solchen Lokalisierungssystems reduziert werden können. UWB ist eine robuste Technologie, die im Vergleich zu anderen funkbasierten Lokalisierungssystemen wenig durch Multipath-Effekte beeinflusst wird. Auch die im untertägigen Bergbau vorliegenden Umgebungsbedingungen, wie z.B. Staub und Feuchtigkeit beeinflussen die UWB-Technologie nicht. Als funkbasierte Technologie ist UWB sowohl für Kommunikations- als auch Lokalisierungsaufgaben bezüglich einer weiteren Automatisierung von untertägigen Bergbauprozessen geeignet. Im Rahmen des SIMS-Projektes wird das vorgestellte System vom Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen zu einem Prototypen weiterentwickelt und unter Einsatzbedingungen getestet. Ziel der Entwicklung ist eine Genauigkeit von 0,5 m bei der Lokalisierung von mobilen Maschinen zu erreichen.

5 Danksagungen

An dieser Stelle würden wir gerne unseren Partnern von Boliden AB und K+S AG für die umfangreiche Unterstützung auf den Bergwerken Kristineberg und Zielitz bedanken. Das Projekt SIMS wird durch Horizon 2020 der Europäischen Union mit der Projektnummer 730302 gefördert.

The SIMS project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 730302.

6 Literatur

- [1] Lieberwirth, H. et al. 2016. Rohstofftechnologien 2065, Rohstoffwirtschaft und gesellschaftliche Entwicklung
- [2] Thrybom, L. 2015. Future Challenges of Positioning in Underground Mines, IFAC (International Federation of Automatic Control)
- [3] Moore, P. 2019. Mobilaris Onboard brings high accuracy positioning to underground mines, International Mining, <https://im-mining.com/2019/08/26/mobilaris-onboard-high-accuracy-positioning-underground-mines/>, (aufgerufen am 10.12.2019)
- [4] SIMS Sustainable Intelligent Mining Systems 2020, Available from <https://www.simsmining.eu/>
- [5] Gu, Y., Lo, A., and Niemegeers, I. 2009. "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks". IEEE Commun. Surv. 11: 13–32.
- [6] Chawla, V. et al. 2007 An overview of passive RFID, IEEE Communication Magazine, vol. 45, no. 9, pp.11-17
- [7] Hightower, J. et al, 2000 SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength
- [8] Ni, L. et al. 2004 Wireless Networks, LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, <https://doi.org/10.1023/B:WINE.0000044029.06344.dd>
- [9] Chon, H., et al. 2004 Using RFID for Accurate Positioning in Proc. International Symposium on GNSS, Sydney, Australia
- [10] Bahl, P. et al. 2000, RADAR: An inbuilding RF-based user location and tracking system, in Proc. INFOCOM, vol. 2
- [11] Ekahau, 2014. Available from <http://www.ekahau.com>
- [12] Lui, G. et al. 2011, Difference in RSSI readings made by different WiFi chipsets: A limitation of WLAN localization, in Proc. International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)
- [13] AeroScout 2014, Available from <http://www.aeroscout.com/industrial>
- [14] Bundesnetzagentur, 2015, UWB-das Kurzstrecken-Kommunikations- und Sensor-Funksystem
- [15] Chehri, A., et al. 2006, Geolocation for UWB Networks in underground mines, in Wireless and Microwave Technology Conference 2006. WAMICON '06. IEEE Annual, 2006, pp.1-4
- [16] Decawave, 2015, DW1000 Datasheet, available from <https://www.decawave.com/sites/default/files/resources/dw1000-datasheet-v2.09.pdf>
- [17] UbiSense, 2014, Available from <http://www.ubisense.net>
- [18] Time Domain 2014, Available from <http://www.timedomain.com>
- [19] Emami, S. 2013, UWB communication systems: Conventional and 60 GHz: principles, design and standards. New York, NY. Springer, 2013
- [20] Titterton, D., Weston, J., 2004, „Strapdown inertial navigation technology“, Institution of Electrical Engineers
- [21] De Angelis A. et al. 2010 Indoor Positioning by ultra-wideband radio aided inertial navigation, Metrology and Measurement Systems, 447-460

7 Abbildungen



Abbildung 1: Sensorsystem auf untertägigem Fahrzeug bestehend aus UWB-Tag, Inertialer Messeinheit (IMU) sowie Referenzsystem (Kamera, Prisma)

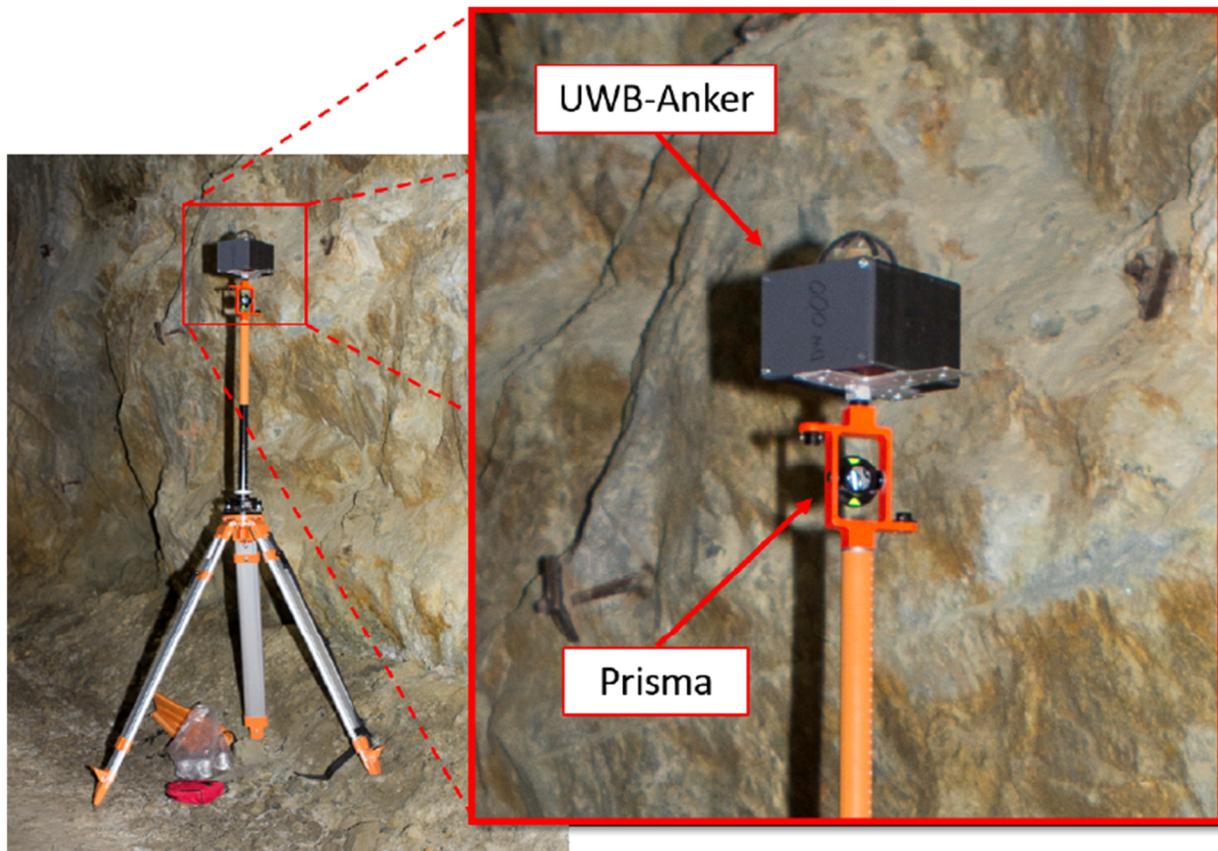


Abbildung 2: UWB-Anker zur untertägigen Lokalisierung von mobilen Fahrzeugen

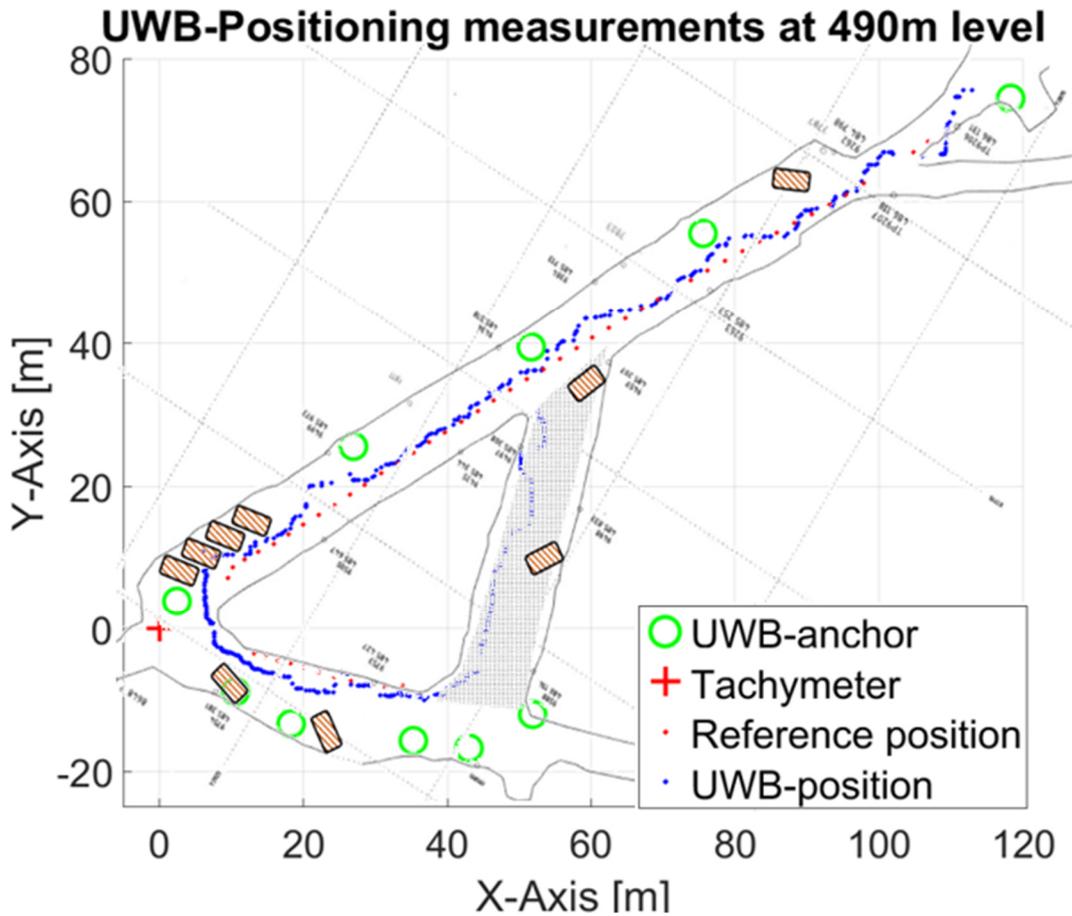


Abbildung 3: Messergebnisse 490-Meter Sohle sowie dokumentierte Störobjekte

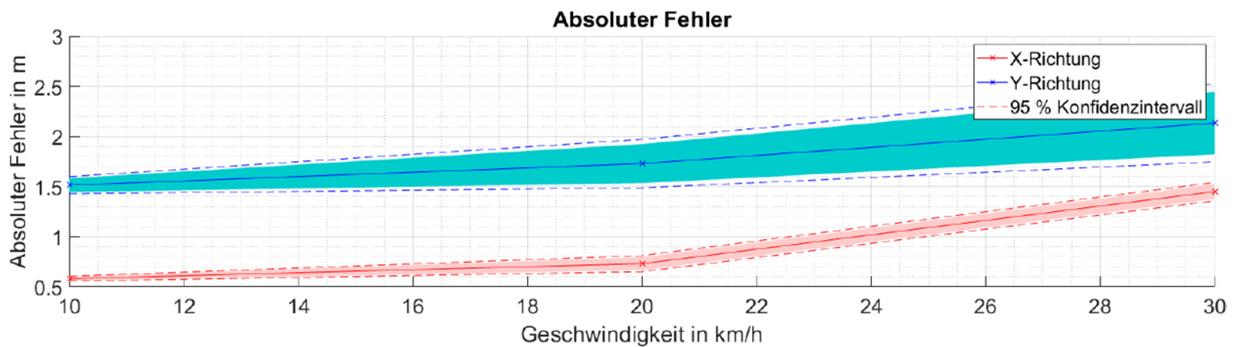


Abbildung 4: Absoluter Fehler in Abhängigkeit der Geschwindigkeit in X- und Y-Richtung

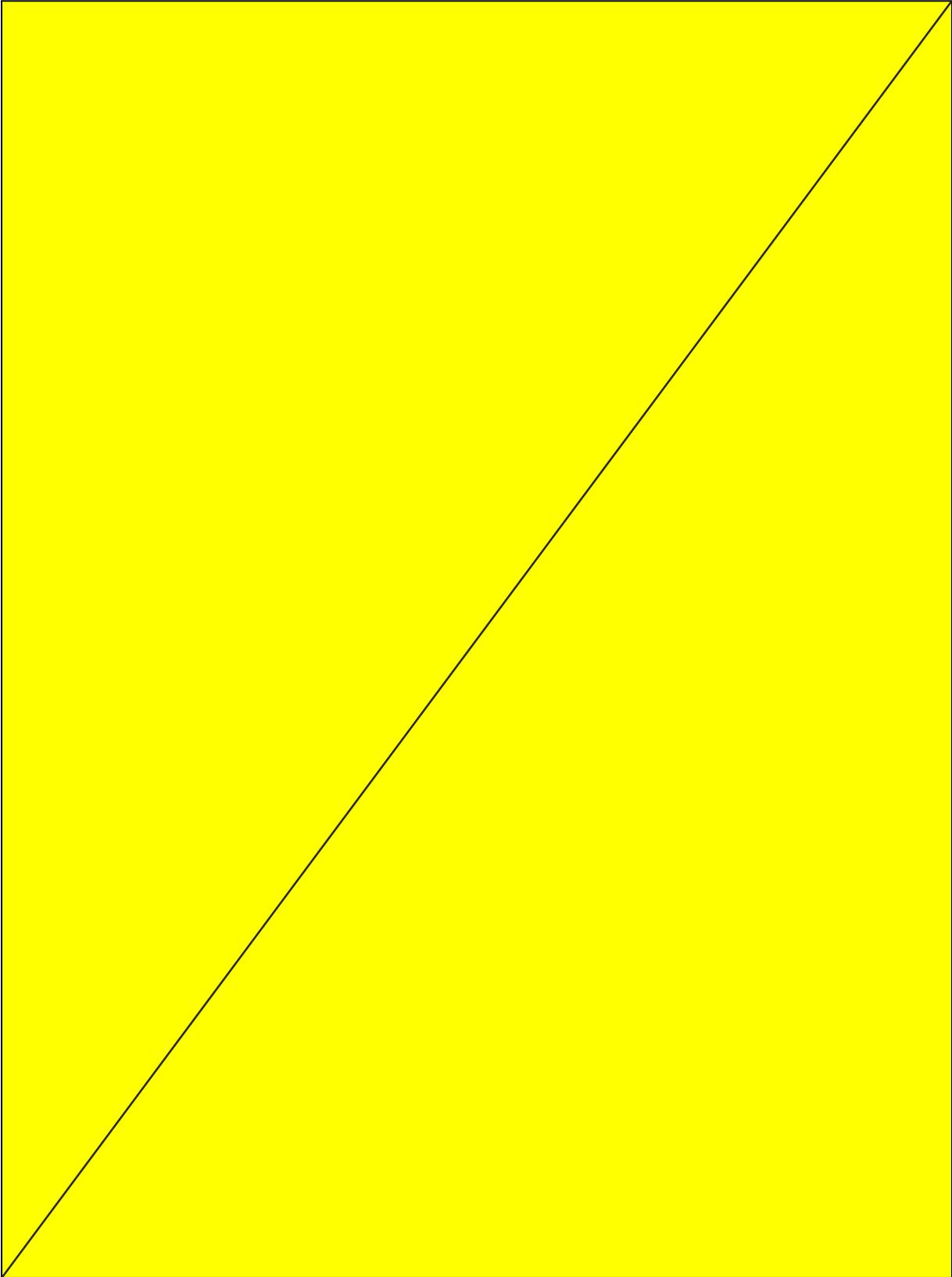
Fabian Uth
futh@amt.rwth-aachen.de
Amir Kianfar

Univ.-Prof. Dr. Elisabeth Clausen

Ralph Baltes

RWTH Aachen
Institute for Advanced Mining Technologies
Wüllnerstr. 2
52056 Aachen

Hier Werbeseite Schachtbau Nordhausen



Augmented und Virtual Reality im industriellen Einsatz - Trends und Potentiale in Zeiten von Industrie 4.0

Dr. D. Buttgerit

XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

Im industriellen Umfeld werden in der Regel sogenannte SCADA-Systeme zur Prozessüberwachung und -steuerung von Maschinen und Anlagen eingesetzt. Diese sind modular aufgebaut und bieten verschiedene Funktionalitäten zur Benutzerverwaltung, Messwerterfassung, Datenarchivierung sowie Verwaltung von Alarmen und Fehlermeldungen und schließlich zur Visualisierung kompletter Anlagen und 3D-Ortungsinformationen.

Das Stichwort "Industrie 4.0" bezieht sich auf die umfassende Digitalisierung der industriellen Produktion. Die Integration von disruptiven Technologien ermöglicht eine verbesserte Kommunikation zwischen Maschinen und Sensoren, eine tiefere Informationstransparenz der verschiedenen Datensätze, die Unterstützung durch autonome technische Assistenzsysteme und schließlich die Prozessoptimierung durch dezentrale Entscheidungsfindung (cyberphysikalische Systeme). Für die bestmögliche Analyse komplexer Datensätze sind insbesondere neuartige Lösungen zur Datenanalyse und Visualisierung notwendig.

Der Schwerpunkt dieses Vortrags liegt auf der modernen Visualisierung durch den Einsatz von State-of-the-Art Technologien zur immersiven Datenexploration und optimierten Analytik auf Basis von Echtzeitdaten aus dem Bergwerk. Seit Anfang 2016 sind tragbare und praxistaugliche Virtual/Augmented Reality (VR/AR) Geräte auf dem Markt. Die ersten verfügbaren Anwendungen zielten dabei insbesondere auf den Consumer Entertainment Markt (meist Spiele). Aber es gibt derzeit eine dynamische Entwicklung von neuen Servicekonzepten, die auf VR/AR basieren und Datenbrillen oder Smartphone-Apps für industrielle Lösungen integrieren.

Für IT-Unternehmen besteht hier enormes Potenzial für spezialisierte Applikationen außerhalb des konsumorientierten Massenmarktes mit maßgeschneiderten Services für kommerzielle Anwendungen. Damit verbunden sind neue Geschäftsmodelle mit einer Lebenszyklus- und (After-Sales-)Serviceperspektive, die ein attraktives wirtschaftliches Potenzial aufweisen. Individuelle Lösungen, z.B. für Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufgaben sowie Inbetriebnahmen, wurden für konkrete Anwendungsfälle bereits realisiert.

Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte hat XGraphic ein eigenes Software-Framework zur Realisierung kundenspezifischer Anwendungen zur Datenintegration und Visualisierung entwickelt. Es werden verschiedene Anwendungsszenarien und spezifische Lösungen für die Rohstoffindustrie vorgestellt.

Dr. David Buttgerit
buttgerit@xgraphic.de

XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH
Aretzstraße 9
52070 Aachen

Auswirkungen neuer Grenzwerte für die Luftreinhaltung auf die Grubenbetriebe der BGE

S. Voigt

BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

1 Einleitung

Auch wenn es auf den ersten Blick nicht so scheint, so ist auch der Endlagerbergbau von den zukünftigen Grenzwertrestriktionen betroffen. Obwohl dieser Bergbauzweig momentan keine Beeinflussung der Wetterqualität durch Sprengstoffumsetzung erfährt, finden eine Vielzahl dieselbetriebener Maschinen ihre Verwendung. Die Spannweite der Einsatzgestaltung reicht abhängig vom Standort von antizyklisch/kampagnenartigem Einschichtbetrieb bis hin zum 3-Schichtbetrieb.

Der Einsatz dieser Maschinen hinsichtlich der Vorgaben aus der TRGS 900 und TRGS 554 wurde in einem umfangreichen Messprogramm in den Jahren 2018 und 2019 untersucht und abhängig von den Ergebnissen Schutzmaßnahmen abgeleitet.

Aufgrund der jeweils unterschiedlichen Betriebsbedingungen auf den Bergwerksstandorten der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Schachtanlagen Konrad, Asse, Morsleben und Gorleben) wurden Messaufgaben auf allen Standorten nach den Empfehlungen des LBEG Niedersachsen durchgeführt.

2 Vorbereitung des Messprogrammes

Im Vorfeld der Messdurchführung wurde ein zentral organisiertes Projektteam gegründet, ein angemessenes Messkonzept erarbeitet, das notwendige Messequipment für die Standorte beschafft bzw. ergänzt und das am Messprogramm beteiligte Personal gemäß TRGS 400/402 erst- bzw. nachqualifiziert. Nach Erstellung entsprechender Protokoll- und Auswertungstools wurden im Rahmen der Mitbestimmung die Arbeitnehmervertretungen über das anstehende Messprogramm beteiligt.

2.1 Fachliche Begleitung

Die Auswahl der Messtechnik, der Kalibrier- und Auswertesystematik sowie der Dokumentation erfolgte unter der fachlichen Beratung und Begleitung des Institutes für Gefahrstoffforschung Bochum (IGF) der BGRCI .

2.2 Gasmesstechnik, Kalibrierung und Auswertung

Zur Erfassung der Arbeitsplatzkonzentrationen für die Gase NO, NO₂, CO und CO₂ wurden Xam 5600 Gasmessgeräte der Firma Dräger eingesetzt. Die Sensorauswahl wurde so getroffen, dass die im Rahmen der zukünftigen Grenzwerte notwendigen Messbereiche abgebildet werden konnten. Die Messwerte wurden sekundlich aufgenommen und die Messgeräte im Rahmen der Kampagne nicht als Warngeräte, sondern als aufzeichnende Messgeräte ohne Alarmfunktion eingesetzt.

Die Kalibrierung wurde mit Dräger x-dock-Stationen im wöchentlichen Rhythmus vorgenommen. Als Prüfgas kam eine zertifizierte Sondermischung der Firma Airproducts zum Einsatz.

Zur Protokollierung und Auswertung wurden hauseigene Tools verwendet.

2.3 DME-Messtechnik

Für die Verifizierung der DME-Belastung (hier elementarer Kohlenstoff EC) konnte auf BGE-seitig vorhandene Pumpen des Typs GSA SG 10-2 mit einer Durchflussrate von 10 l/min sowie GSA A-Staub-Köpfe mit 37 mm Quarzfilter zurückgegriffen werden.

Die Auswertung der Filter wurde durch das IGF-Labor in Bochum vorgenommen.

2.4 Randbedingungen der BGE-Bergwerksstandorte

Die enorm voneinander abweichenden Betriebsbedingungen der Bergwerke der BGE erforderten jeweils individuelle Messprogramme. Für die Auswahl der Messaufgaben wurden typische Betriebssituationen im täglichen Arbeitsablauf erfasst.

3 Asse

Das Bergwerk Asse ist dadurch geprägt, dass das Grubengebäude durch Verfüllmaßnahmen fortlaufend einer Verkleinerung unterliegt. Die Bewetterung erfolgt mit insgesamt ~4.500 m³/min. Die Frischwetter werden über den Schacht Asse 2 bis ins Tiefste geführt und von dort über die Wendel aufwärts zu den Betriebspunkten geleitet. Teilweise erfolgt bereits eine Frischwetterabzweigung vom Schacht in höheren Niveaus. Die Teilsohlen werden sonderbewettert. Die im Grubengebäude entstehenden Abwetter können nur über die Wendel bis zum Hauptgrubenlüfter geführt werden, was eine Kumulation von Abgasen im Wetterstrom mit sich bringt.

Betrieblich ist das Bergwerk durch den Verfüll/Versatzbetrieb und die begleitenden Prozesse geprägt. Untergeordnet finden Nachschnitarbeiten und Streckenauffahrungen statt. Weiterhin von Bedeutung sind umfangreiche Explorationstätigkeiten.

Somit kommen überwiegend Befahrungsfahrzeuge sowie kleine und mittlere Arbeitsmaschinen zum Einsatz. Der Einsatz von Fahrladern ist als antizyklisch und kampagnenartig anzusehen.

4 Konrad

Im Grubenbetrieb Konrad finden die umfangreichsten Tätigkeiten aller BGE-Grubenbetriebe statt. Das Spektrum reicht von Streckenauffahrung, Streckenausbau, Streckenverfüllung und Haufwerkstransport bis hin zu komplexen Schachtbaustellen und Infrastruktureinrichtungen. Es findet sich ein sehr diversifizierter Maschinenpark mit hoher Auslastung. Die Gesamtwettermenge liegt momentan bei ~12.000 m³/min und wird über den Schacht 1 über 3 Sohlen ins Grubengebäude verteilt. Die Bewetterung der Betriebsorte erfolgt je nach Fall durchgängig oder über Sonderbewetterungsanlagen. Die Abwetter werden momentan über 3 Hauptgrubenlüfter dem Schacht 2 zugeführt.

Mit Fortschritt der Bautätigkeiten nehmen die damit verbundenen Tätigkeiten hinsichtlich Streckenauffahrung und Haufwerkstransport entsprechend ab, was mit einem zukünftig Wandel in der Maschineneinsatzgestaltung einhergeht. Der Fokus der kommenden Jahre liegt überwiegend im Streckenausbau und der infrastrukturellen Einrichtung für das Endlager Konrad.

5 Morsleben

Das Bergwerk Morsleben befindet sich in Offenhaltung. Untergeordnet finden kampagnenartig Streckenerweiterungen statt. Die Gesamtwettermenge beträgt insgesamt ca. 4.600 m³/min. Das Grubengebäude ist sehr weitläufig. Die Frischwetter gelangen über den Schacht Bartensleben bis zur 4. Sohle und werden von dort aufwärts über das Grubengebäude verteilt. Die Abwetter des Kontrollbereiches werden über eine Schachtlutte im Schacht Bartensleben zu Tage geführt. Die größere Menge an Abwettern, die nicht im Kontrollbereich entstanden sind, gelangt über den Schacht Marie nach über Tage.

6 Gorleben

Das Bergwerk Gorleben wird zurzeit in Offenhaltung betrieben. Es finden keine Streckenauffahrungen etc. statt. Demzufolge kommen nur kleine Arbeitsmaschinen zum Einsatz. Die Gesamtwettermenge beträgt momentan ca. 3000 m³/min.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Maßnahmenableitung

Zusammengefasst wurden im Rahmen des Messprogrammes ca. 400 Messungen getätigt.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass auf allen Standorten beim Einsatz von Befahrungsfahrzeugen sowie kleinen bis mittleren Arbeitsmaschinen keine bzw. sehr wenige Grenzwertverletzungen festgestellt wurden. Die Überschreitungen sind im Rahmen ohnehin geplanter Ersatzinvestitionen beherrschbar.

Handlungsbedarf ergibt sich auf den Standorten Asse, Konrad und Morsleben beim Einsatz von Fahrladern. Unabhängig von den wettertechnischen Randbedingungen wurden die Grenzwertkriterien bei den überwiegend älteren Fahrladern verletzt. Dabei wurde nicht nur der Arbeitsplatz des Laderfahrers negativ beeinflusst, sondern auch die im Umfeld der Maschine gelegenen und nachgeschalteten Betriebspunkte. In sonderbewetterten Betriebspunkten wurde dies besonders deutlich.

Hinsichtlich der derzeit noch für den Bergbau geltenden Grenzwerte konnten keine Überschreitungen festgestellt werden. Hinsichtlich der zukünftig geltenden Grenzwerte nahm die Verletzung der Kurzzeitwerte den größten Anteil ein, gefolgt von der Überschreitung der maximalen Spitzenbegrenzung. Die Verletzung der 8h-Schichtmittelwerte trat in den wenigsten Fällen auf.

8 Abgeleitete Maßnahmen

Somit leiten sich für die Standorte folgende Maßnahmen ab:

8.1 Asse:

Derzeit werden auf der Schachanlage Asse 4 Sandvik-Fahrlader für den Haufwerkstransport aus Streckenauffahrungen/-erweiterungen sowie an der Baustoffanlage eingesetzt. Für den Bereich der Baustoffanlage soll ab Februar 2020 der Einsatz für die Baustoffanlage nicht mehr mit den 10t-Fahrladern, sondern durch zwei batteriebetriebene Kramer 5055 Elektrolader bewerkstelligt werden. Eine dritte Maschine soll im Grubengebäude vielfältig eingesetzt werden. In diesem Fall kann kapazitiv 1 Sandvik-Fahrlader substituiert werden.

Für die weitere Substitution der 10-Tonnen-Lader sollen zukünftig Dieselfahrlader mit neuester Abgasnachbehandlung oder elektrischem Antriebskonzept zum Einsatz kommen.

Weiterhin ist angedacht, einen Teil des Haufwerkstransportes durch Fahrlader von den unteren Sohlen zur Baustoffanlage mit einer pneumatischen Förderung zu ersetzen.

Als technische Schutzmaßnahme konnte in den letzten 2 Jahren ein umfangreiches stationäres Gasmesssystem unter Tage aufgebaut werden.

Die Messdaten können in der übertägigen zentralen Warte visualisiert und ausgewertet werden. Weiterhin ist es möglich, über optische und akustische Vor- und Hauptalarme einer Grenzwertüberschreitung entgegenzuwirken und organisatorisch emissionsmindernd in den Betriebsablauf einzugreifen.

Um bei der ohnehin geringen Gesamtwettermenge eine bedarfsgerechte Wetterführung gewährleisten zu können, ist eine Vielzahl von FU-Lüftern über die zentrale Warte steuerbar.

Im Rahmen der Eigenüberwachung werden mit der vorhandenen Messtechnik weiterhin Kontroll- und Erfolgsmessungen stattfinden.

Zu erwähnen sei an dieser Stelle noch, dass sich für den Bereich der Befahrungsfahrzeuge seit zwei Jahren ein elektrisch betriebener Smart im Einsatz befindet.

8.2 Konrad:

Innerhalb des umfangreichen Maschinenparks des Grubenbetriebes Konrad sind teilweise bereits emissionsarme Maschinen im Einsatz. Jedoch reicht deren Anzahl momentan noch nicht aus, um den zukünftigen Restriktionen zu genügen. Im Rahmen mittelfristiger Ersatzinvestitionen werden Altmaschinen verschiedener Typen planmäßig durch emissionsarme Modelle ersetzt.

Der Einsatz eines batteriebetriebenen 10-Tonnen-Fahrladers befindet sich in Ausschreibung.

Im Bereich der Befahrungsfahrzeuge sollen zwei elektrisch betriebene Toyota Land Cruiser beschafft werden.

Der Ausbau stationärer Gasmesstechnik befindet sich in Vorbereitung. Im Rahmen der Eigenüberwachung werden mit der vorhandenen Messtechnik weiterhin Kontroll- und Erfolgsmessungen stattfinden.

Für die langfristige Auslegung des zukünftigen Maschinenparks, insbesondere für die Auffahrung von Einlagerungskammern werden derzeit verschiedene alternative technische Lösungsansätze betrachtet.

8.3 Morsleben:

Grenzwertüberschreitungen konnten ausschließlich beim kampagnenartigen Einsatz der Fahrlader festgestellt werden. Dabei wurde nicht nur der Arbeitsplatz des Laderfahrers negativ beeinflusst, sondern auch die im Umfeld der Maschine gelegenen und nachgeschalteten Betriebspunkte. In sonderbewetterten Betriebspunkten wurde dies besonders deutlich.

Ab Februar 2020 soll im Rahmen eines 1-jährigen Testbetriebes ein batterieelektrisch betriebener Fahrlader mit 3 Tonnen Nutzlast eingesetzt werden. Mittels Schnellwechselsystem kann diese Maschine auch mit Gabelzinken ausgestattet und als Stapler genutzt werden.

Bereits im Einsatz ist ein batterieelektrisch angetriebener Hoflader mit diversen Anbaugeräten als kleine Arbeitsmaschine sowie ein Polaris Ranger als Befahrungsfahrzeug.

Ein stationäres Messsystem wurde im Jahr 2019 aufgebaut und in Betrieb genommen.

Im Rahmen der Eigenüberwachung werden mit der vorhandenen Messtechnik weiterhin Kontroll- und Erfolgsmessungen stattfinden.

8.4 Gorleben:

Für den Standort Gorleben ergaben sich keine weiteren Schutzmaßnahmen, da hier die zukünftigen Grenzwerte bedingt durch den Einsatz von kleinen Arbeitsmaschinen und die relativ geringen Betriebsaktivitäten eingehalten werden können.

9 E-Mobilität

Der Einsatz von Elektromobilität kann ein wichtiger Baustein zur Emissionsreduzierung sein. Aus diesem Grund wurden und werden in den Grubenbetrieben der BGE verschiedenste Maschinentypen in elektrischer Ausführung eingeführt. Die zukünftigen Möglichkeiten zum Einsatz dieser Technologie werden marktseitig sicherlich zunehmen. Auch wenn aus den derzeitigen Messergebnissen für Befahrungsfahrzeuge und kleine Arbeitsmaschinen nicht immer unmittelbar eine Substitution erforderlich erscheint, so kann doch jeder kleine Baustein seinen Beitrag zur Verbesserung der Wetterqualität leisten.

10 Zusammenfassung

Für die Bewertung der zukünftigen Grenzwertrestriktion für Dieselabgase wurden in den Grubenbetrieben der BGE umfangreiche Messungen durchgeführt und entsprechende Schutzmaßnahmen abgeleitet. Als Hauptemittenten traten insbesondere die Fahrlader hervor. Daraus leitet sich primär die Substitution für Teile des Maschinenparks ab.

Weiterhin werden ohnehin anstehende Ersatzinvestitionen in allen Fahrzeugklassen auch unter dem Aspekt der Emissionsminimierung getätigt.

Der Einsatz von Elektromobilität wird momentan mit verschiedensten Fahrzeugen implementiert.

Der Ausbau stationärer Gasmesstechnik einschließlich der Visualisierung in den Warten wird weiter vorangetrieben.

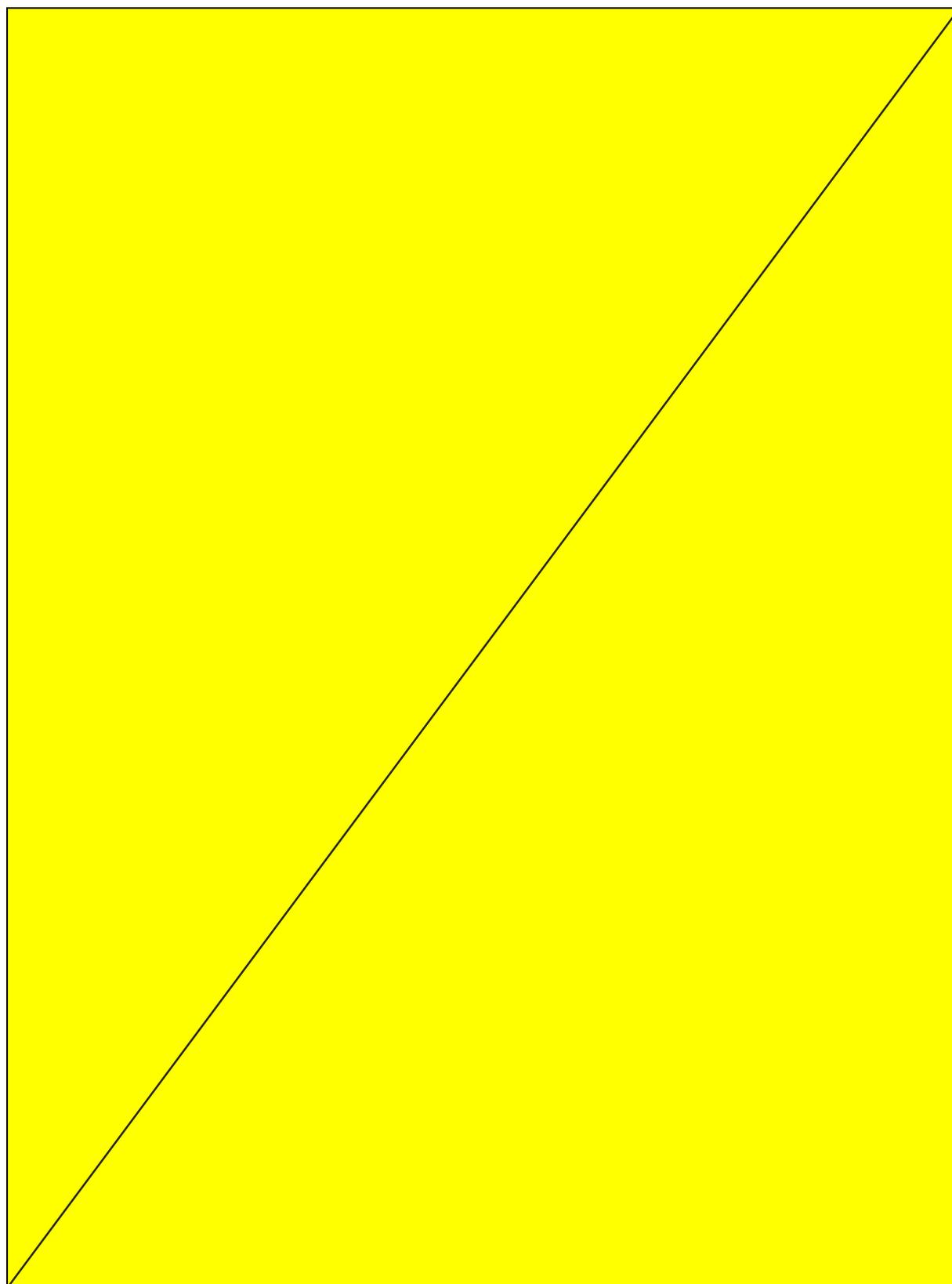
Die vorhandene mobile Messtechnik soll als Bestandteil der Eigenüberwachung im Rahmen der Erfassung der Arbeitsplatzgrenzwerte sowie der Erfolgskontrolle weiterhin turnusmäßig zum Einsatz kommen.

Mit den gewonnenen Kenntnissen und den eingeleiteten Maßnahmen ist der Umgang mit den zukünftigen Grenzwerten für die BGE als beherrschbare Herausforderung zu sehen.

Sebastian Voigt
sebastian.voigt@bge.de

BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstr. 55
31224 Peine

Hier Werbeseite Weltkulturerbe Rammelsberg



Lösungen für Ladefahrzeuge im untertägigen Bergbau zur Einhaltung zukünftig geltender Arbeitsplatzgrenzwerte

Dr. F. Straßburger
GHH Fahrzeuge GmbH

Einleitung

Die TRGS 900 regelt die Arbeitsplatzgrenzwerte für Gefahrstoffe. In ihrer aktuellen Fassung, welche zum 4.11.2016 rechtskräftig wurde, sieht diese im Vergleich zur vorherigen Verordnung auch eine deutliche Reduktion der typischerweise von dieselbetriebenen Ladefahrzeugen ausgestoßenen Schadstoffe vor. So wurden die Grenzwerte für Stickstoffmonoxid (NO) um 92 % auf 2,5 mg/m³, Stickstoffdioxid (NO₂) um 90 % auf 0,95 mg/m³ und die Partikel (alveolengängige Fraktion, also solche Schwebstoffe bzw. luftgetragenen Partikel die bis in die Lungenbläschen vordringen) um 83 % auf 0,05 mg/m³ gesenkt. Für den Bergbau wurde die Umsetzung der Grenzwerte zunächst bis 2021 ausgesetzt.

Die damit erforderliche Reduktion der genannten Schadstoffe wird unter anderem durch die in Abbildung 1 dargestellten Maßnahmen unterstützt.



Abbildung 1: Maßnahmen zur Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte

Naheliegender erscheint die Erhöhung der Wettermenge zur weiteren Verdünnung der entstehenden Emissionen des Dieselmotors, aufgrund der erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten und der entstehenden Zusatzkosten ist dies nur bis zu einem begrenzten Maß möglich. Auch die Optimierung der Wetterführung eröffnet ein begrenztes Potential. Eine weitere Möglichkeit besteht darin die Menge der ausgestoßenen Schadstoffe zu reduzieren. Dies heißt entweder moderne Abgastechnologie zu verwenden, wie der Einsatz von EU Stage V Motoren, oder man setzt auf lokal emissionsfreie Lösungen wie elektrische Fahrzeugantriebe, betrieben über ein Kabel zur Versorgung oder Batterien.

Darüber hinaus umfasst die dritte Gruppe weitere Maßnahmen, wie Optimierung der Fahrzeugnutzung oder des Sprengprozesses. Als Fahrzeughersteller unterstützt die GHH Minenbetreiber im Bereich der Reduktion der Fahrzeugemissionen, der online Maschinenüberwachung und bei der Optimierung der Fuhrparknutzung, auf diese Maßnahmen wird im Folgenden näher eingegangen.

1 Moderne Abgasnachbehandlung – EU Stage V Motorentechnologie

Am 16. September 2016 wurde die Europäischen Emissionsverordnung (EU) 2016/1628 – Stufe V veröffentlicht. Zum Stichtag 1. Januar 2019 ist diese für alle Non-Road-Mobile-Machine anzuwenden, außer für Fahrzeuge mit Motoren in der Leistungsklasse 56 – 130 kW, hier ist der 1. Januar 2020 der Stichtag. Im Vergleich zur Abgasstufe EU Stage IV verschärfen sich die Grenzwerte für die Masse der ausgestoßenen Partikel. Weiterhin wurde ein Grenzwert bezogen auf die Anzahl der ausgestoßenen Partikel mit maximal 10^{12} / kWh eingeführt. Abbildung 2 gibt eine Übersicht der Entwicklung der Grenzwerte für die Stickoxide und Partikel.

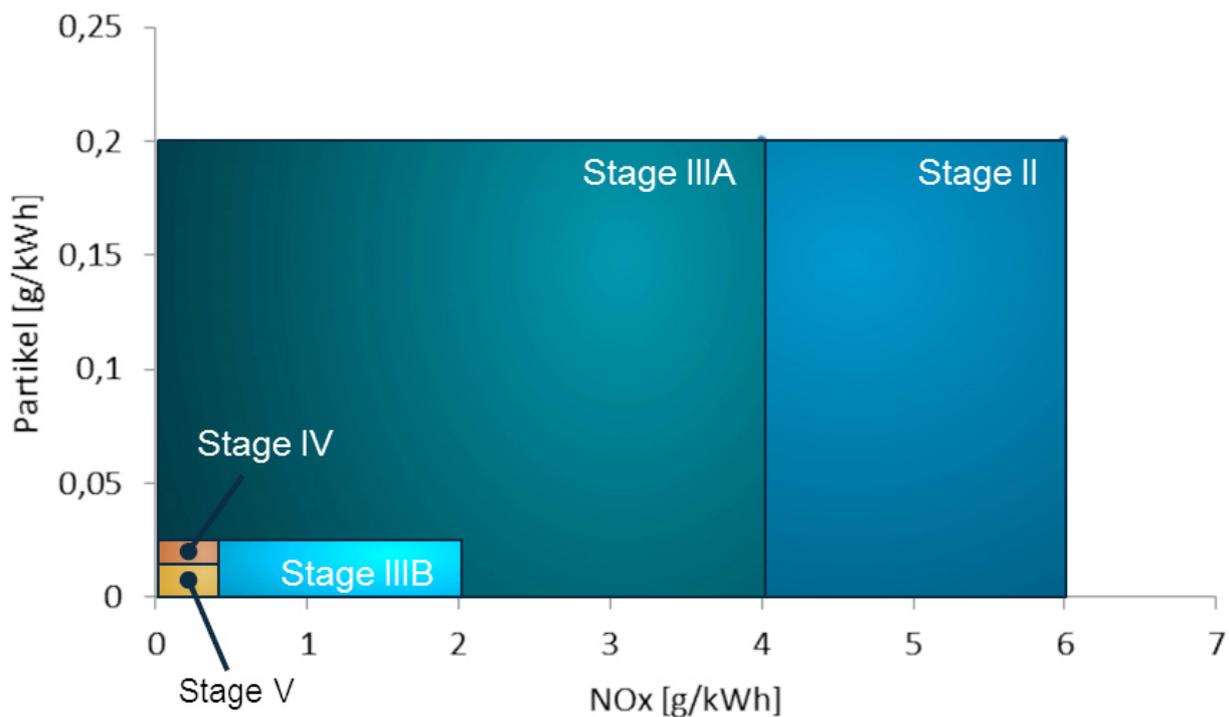


Abbildung 2: Partikel und NOx Grenzwerte der Abgasstufen

Technisch wird die geforderte Reduktion maßgeblich durch den Einsatz eines zusätzlich in die Abgasanlage integrierten Dieselpartikelfilters erreicht. Die GHH hat Ihr aktuelles Portfolio auf Seite der Muldenkipper bereits vollständig auf EU Stage V umgestellt. So wird der MK-A20 mit 20 t Zuladung und der MK-A35 mit 35 t Zuladung bereits heute neben den klassischen Tier 3 Motoren in der Abgasstufe EU Stage V eingesetzt.



**Abbildung 3: MK-A35 in EU Stage V im Einsatz bei der GSES mbH
(Abbildung: Thomas Kießling)**

Natürlich wird der im Frühjahr diesen Jahres auf den Markt kommende MK-42 mit bis zu 45 t Zuladung von vornherein mit der modernsten Abgasstufe verfügbar sein und dies mit Motoren zweier verschiedener Hersteller, Mercedes und Volvo. Auf der Seite der Fahrlader sind bereits heute der LF-14, der LF-12H und der SLP-14H in EU Stage V verfügbar, weitere Fahrzeuge sind in Vorbereitung.

Größte Herausforderung bei der Integration moderner Abgasnachbehandlungssysteme ist der erforderliche Bauraumbedarf im Vergleich zur Abgasstufe EU Stage IIIA. Bei Weiterentwicklungen bleibt vielfach nur eine exponierte Position auf dem Fahrzeug, bei Neuentwicklung ist eine saubere Integration darstellbar. Neben der eigentlichen Abgasanlage ist wie auch bereits in der Abgasstufe EU Stage IV ein zusätzlicher Tank für eine Harnstofflösung, besser bekannt als AddBlue, erforderlich. Der Harnstoff ermöglicht die selektive Katalytische Reduktion der Stickoxide. Minenseitig ist damit zusätzlich die Infrastruktur zur Bereitstellung des AddBlue zu schaffen. Der Verbrauch liegt üblicherweise bei rund 6 % des Dieserverbrauchs. Damit hat ein Fahrlader oder Muldenkipper mit 30 - 35 l Dieserverbrauch pro Stunde einen täglichen AddBlue-Bedarf von 35 - 40 l. Damit muss ein mittelgroßes Bergwerk täglich einige tausend Liter zusätzlichen Flüssigkeitsbedarf in der Logistikkette berücksichtigen.

In die Abgasanlage ist im Vergleich zur vorherigen Abgasstufe zusätzlich ein Dieselpartikelfilter integriert. Zum Betrieb dieser modernen Abgasanlagen ist weiterhin ein Dieselmotorkraftstoff mit ultrageringem Schwefelanteil erforderlich, dies ist in der EU gegeben in vielen anderen Ländern jedoch nicht. Abbildung 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Abgasanlage.

EU Stage V

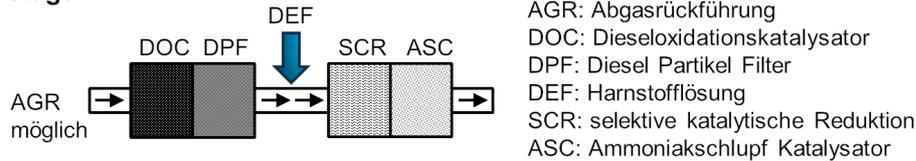


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau Abgasanlage EU Stage V

Die lokale Schadstoffbelastung ist einerseits abhängig von den Schadstoffmengen im Abgas selber, zum anderen von der Verdünnung des Abgases mit Frischwetter. Die zuzuführende Frischwettermenge ist in der TRGS 554 geregelt zu: Bis zum Nachweis der Einhaltung der AGW durch Arbeitsplatzmessungen ist für jeden Dieselmotor mindestens eine Frischwettermenge von $3,4 \text{ m}^3/(\text{min} * \text{kW})$ im jeweiligen Arbeitsbereich zuzuführen. Unter der Annahme, dass ein EU Stage V Motor Schadstoffe in Höhe der zulässigen Grenzwerte der Abgasgesetzgebung ausstößt, also $0,4 \text{ g/kWh}$ Stickoxide und $0,015 \text{ g/kWh}$ Partikel, ergibt sich das in Abbildung 5 dargestellte Bild bei einer Bewetterung mit von $3,4 \text{ m}^3/(\text{min} * \text{kW})$.

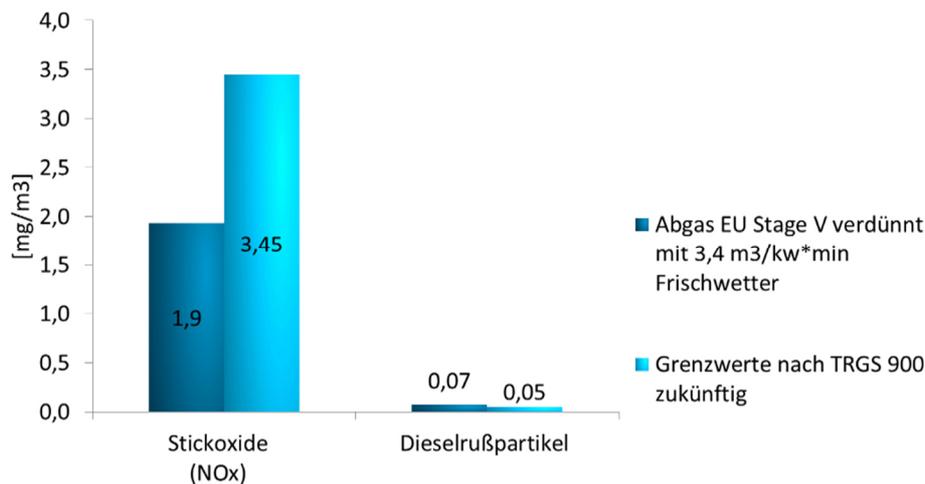


Abbildung 5: Verdünntes Abgas und Grenzwerte der TRGS 900 im Vergleich

Das verdünnte Abgas würde $1,9 \text{ mg/m}^3$ an Stickoxiden enthalten sowie $0,07 \text{ mg/m}^3$ an Partikeln. Damit würde der Grenzwert bezüglich der Stickoxide eingehalten werden, der Grenzwert bezüglich der Partikel wird mit der Bewetterung von $3,4 \text{ m}^3/(\text{min} * \text{kW})$ nicht eingehalten. Um den neuen Grenzwert bezüglich der Partikel einzuhalten wären $5 \text{ m}^3/(\text{min} * \text{kW})$ erforderlich. Auch bei produktiver Arbeitsweise wird das Fahrzeug nur intermittierend mit Nennleistung betrieben, weiterhin liegen die real ausgestoßenen Schadstoffmengen teils deutlich unterhalb der Grenzwerte der Abgasgesetzgebung, so dass die realen Schadstoffbelastungen geringer ausfallen. Bisher konnten die Grenzwerte daher teils mit deutlich geringeren Wettermengen als $3,4 \text{ m}^3/(\text{min} * \text{kW})$ eingehalten werden. Um die Frischwettermenge auf einem solch niedrigen Niveau zu halten oder auch einen Mischfuhrpark mit Fahrzeugen mit älteren Abgasanlagen zu betreiben sind weitere Maßnahmen erforderlich.

2 Optimierte Fuhrparknutzung durch Datenanalyse - GHH - InSITE

Um die Bewetterung den im realen Betrieb entstehenden Belastungen anzupassen, bzw. den Einsatz der mobilen Maschinen entsprechend der verfügbaren Bewetterung anzupassen, ist eine detaillierte Kenntnis der jeweils lokal im Bergwerk emittierten Schadstoffe nötig. Das heißt neben der Position des jeweiligen Fahrzeugs ist die Kenntnis der jeweiligen Auslastung erforderlich. GHH InSITE ist ein Werkzeug, das hierbei unterstützt.

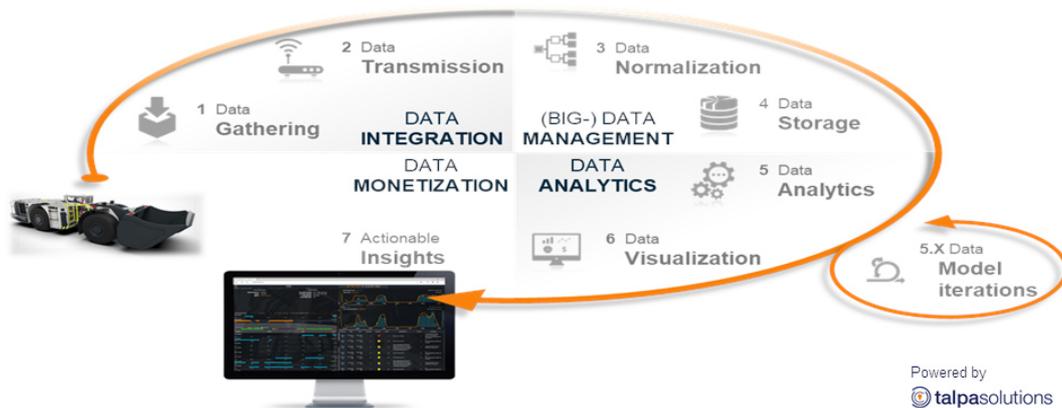


Abbildung 6: GHH InSITE (Powered by talpasolution)

Die Betriebsdaten der Fahrzeuge werden zunächst auf dem Fahrzeug über ein Datenloggersystem aufgezeichnet. Diese Daten werden dann z.B. durch ein WLAN Netzwerk Paketweise an einen zentralen Server übertragen, eine dauerhafte Netzwerk Verbindung ist hierfür nicht zwingend erforderlich, erhöht aber die Datenaktualität und damit die Präzision der Überwachung und Prognosen. Zentral auf dem Server erfolgt die Datenanalyse, diese wird üblicherweise zur Produktions- oder Zustandsüberwachung der Fahrzeuge genutzt. Bei der Einbindung einer Flotte ist ein übergeordnetes Flottenmanagementmodul des GHH InSITE umzusetzen. Wichtige Größen zur Steuerung der Prozesse und Aufgaben sind hierbei u.a.: Verfügbarkeit, Maschinennutzung, Transportleistung, Betriebskosten, Fahrtstrecken- und Zyklusanalyse oder Informationen zur vorausschauenden Wartungsplanung.

In Kombination mit der Maschinenlokalisierung ist es darüber hinaus möglich, die Schadstoffbelastung in den unterschiedlichen Bereichen des Bergwerks zu prognostizieren und pro aktiv zu steuern. So kann beispielsweise bei definierter Wettermenge und Führung die jeweilige Maschinennutzung so angepasst werden, dass die Schadstoffbelastung unterhalb der Grenzwerte bleibt.

3 Lokal Emissionsfrei – elektrische Antriebstechnik

Um die lokalen (untertägigen) Emissionen über die genannten Möglichkeiten im Bereich der Dieselantriebe hinaus zu reduzieren, können elektrisch betriebene Fahrzeuge eingesetzt werden. Dieses kann entweder kabelgebunden, über Trolley-Line oder über einen batterieelektrischen Antrieb erfolgen. Die Einführung von Fahrzeugen mit alternativen, emissionsarmen oder emissionsfreien Antriebsarten kann auch eine sinnvolle Maßnahme sein, um bei gleichbleibender Bewetterung Fahrzeuge mit älterer Abgastechnologie weiter nutzen zu können.

Zwei Antriebsstrang Beispiele der GHH werden im Folgenden vorgestellt, der LF-19EB, ein kabelgebundener Großlader in der 19 Tonnen Klasse mit Batterieunterstützung und der MK-42EB ein rein batteriebetriebener 42 t Muldenkipper.

Rein kabelgebundene elektrisch betriebene Fahrlader stellen hohe Anforderung an das Minennetz, da dieses auf die Spitzenleistung des Fahrzeugs ausgelegt sein muss. Auch das Umsetzen eines solchen Fahrzeugs ist aufwendig, üblicherweise erfolgt dies mittels separaten, dieselgetriebenen „Tow Trucks“ (Zugmaschinen) oder mobiler, dieselbetriebener Generatoren. Ein reiner Batteriebetrieb eines Großladers ist mit heutiger Batterietechnologie nur unzureichend darstellbar, da die Energiedichte heutiger Systeme für einen mehrstündigen Betrieb noch nicht ausreichend ist. Schnelladesysteme und Batteriewechselsysteme als möglicher Lösungsansatz gehen einher mit hohen Investitionskosten und es werden sicherheitstechnisch sehr hohe Anforderungen an derartige Lösungen gestellt. Eine Kombination der beiden Lösungen eliminiert die aufgezählten Nachteile der Einzellösungen.

Eine solche Kombination ist im LF-19EB umgesetzt worden. Abbildung 7 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Fahrzeugs mit seinen Hauptkomponenten. Primärenergiequelle des Fahrzeugs ist die direkte Speisung aus dem Netz über eine Kabeltrommel mit 250 m nutzbarer Kabellänge. Zusätzlich ist das Fahrzeug mit einer NMC Batterie als sekundäre Energiequelle ausgestattet. Diese Batterie dient der Energieversorgung beim Versetzen des Fahrzeuges von einem Betriebspunkt zum Anderen und ermöglicht damit ein Versetzen innerhalb des Grubengebäudes ohne zusätzliches Hilfsaggregat wie ein Schleppfahrzeug oder ein Dieselgenerator.

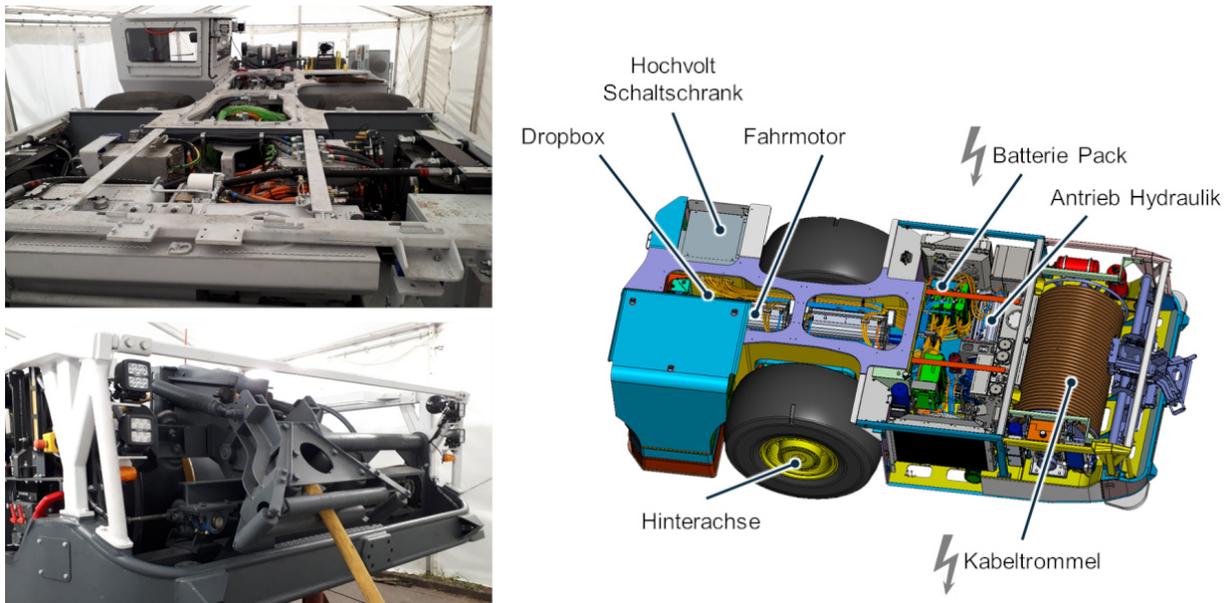


Abbildung 7: Aufbau des elektrischen Großladers LF-19EB

Neben der Funktion der Zwischenspeicherung der rekuperierten Energie mittels der Batterie bei Gefällefahrten, kann das Fahrzeug durch die Batterie kurzzeitig deutlich über der maximal möglichen Netzleistung betrieben werden. Solche Leistungsspitzen treten beispielsweise beim Einstechen ins Haufwerk auf. Abbildung 8 zeigt einen prinzipiellen Leistungsfluss als Beispiel. Häufig ist die Netzleistung die limitierende Größe für den Betrieb kabelgebundener Fahrzeuge. Durch eine Batterie besteht prinzipiell die Möglichkeit die durchschnittliche Fahrzeugleistung und die maximal verfügbare Netzleistung zusammen zu legen. Bei geringerer Leistungsanforderung wird die Batterie geladen und Energie zwischengespeichert. Diese wird in Bereichen hoher Leistungsanforderung zusätzlich zur Netzleistung aus der Batterie zur Verfügung gestellt, so dass trotz einer gegebenen maximalen Netzleistung als Rahmenbedingung die maximale Produktivität erreicht werden kann

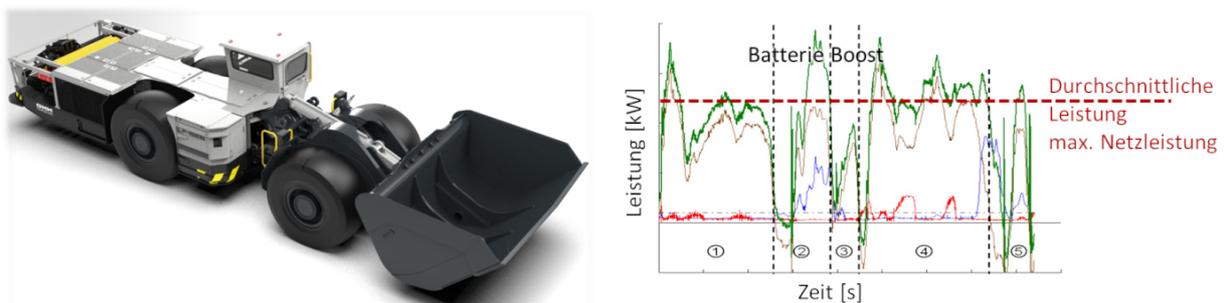


Abbildung 8: Leistungsfluss im Fahrzyklus des LF-19EB

Aufgrund der deutlich längeren Fahrtstrecken ist ein kabelgebundener Betrieb bei Muldenkippern nicht möglich. Eine Möglichkeit ist der Einsatz von Trolley Leitungen mit Pantographen wie sie beispielsweise in Kiruna bereits Mitte der 80-er Jahre an einem Bergbau Muldenkipper zum Einsatz kamen. Eine weitere Möglichkeit ist der rein batterieelektrische Betrieb. Die GHH hat mit dem MK-42EB einen solchen Antriebsstrang für einen 42 t-Muldenkipper umgesetzt. Der Antriebsstrang ist in Abbildung 9 dargestellt.

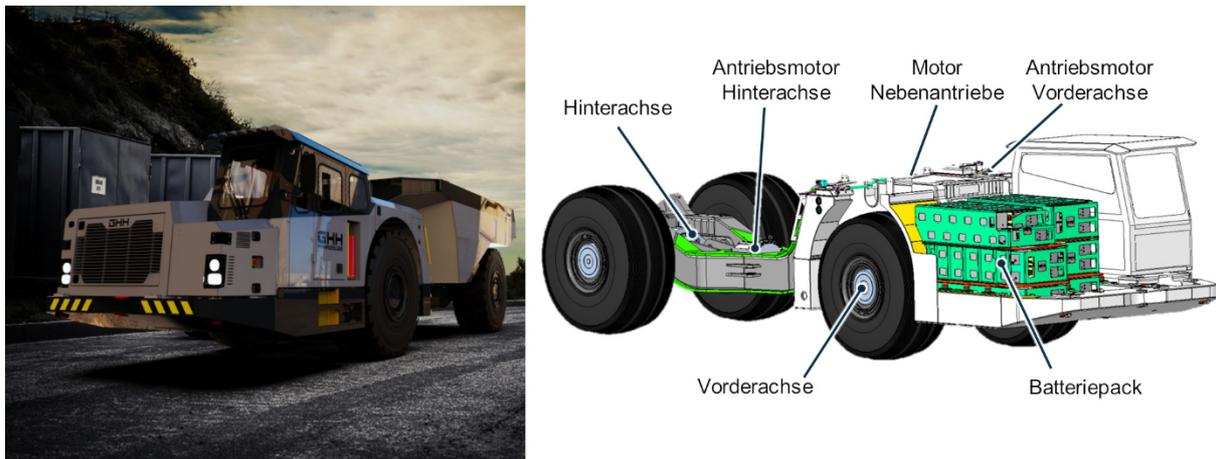


Abbildung 9: Triebstrang des batterieelektrischen 42 t Muldenkippers MK-42EB

Das Fahrzeug verfügt über zwei Achsantriebe mit zusammen 518 kW Dauerleistung und einer Peakleistung von 706 kW. Für die Nebenantriebe wie Lenkung und Arbeitshydraulik ist ein weiterer elektrischer Antrieb verbaut. Das Batteriepack verfügt über eine Energie von 364 kWh. Der MK-42EB ist ein Fahrzeug mit fest installierten Batterien und wird über ein Schnelladesystem innerhalb von nur 20 min geladen.

4 Fazit

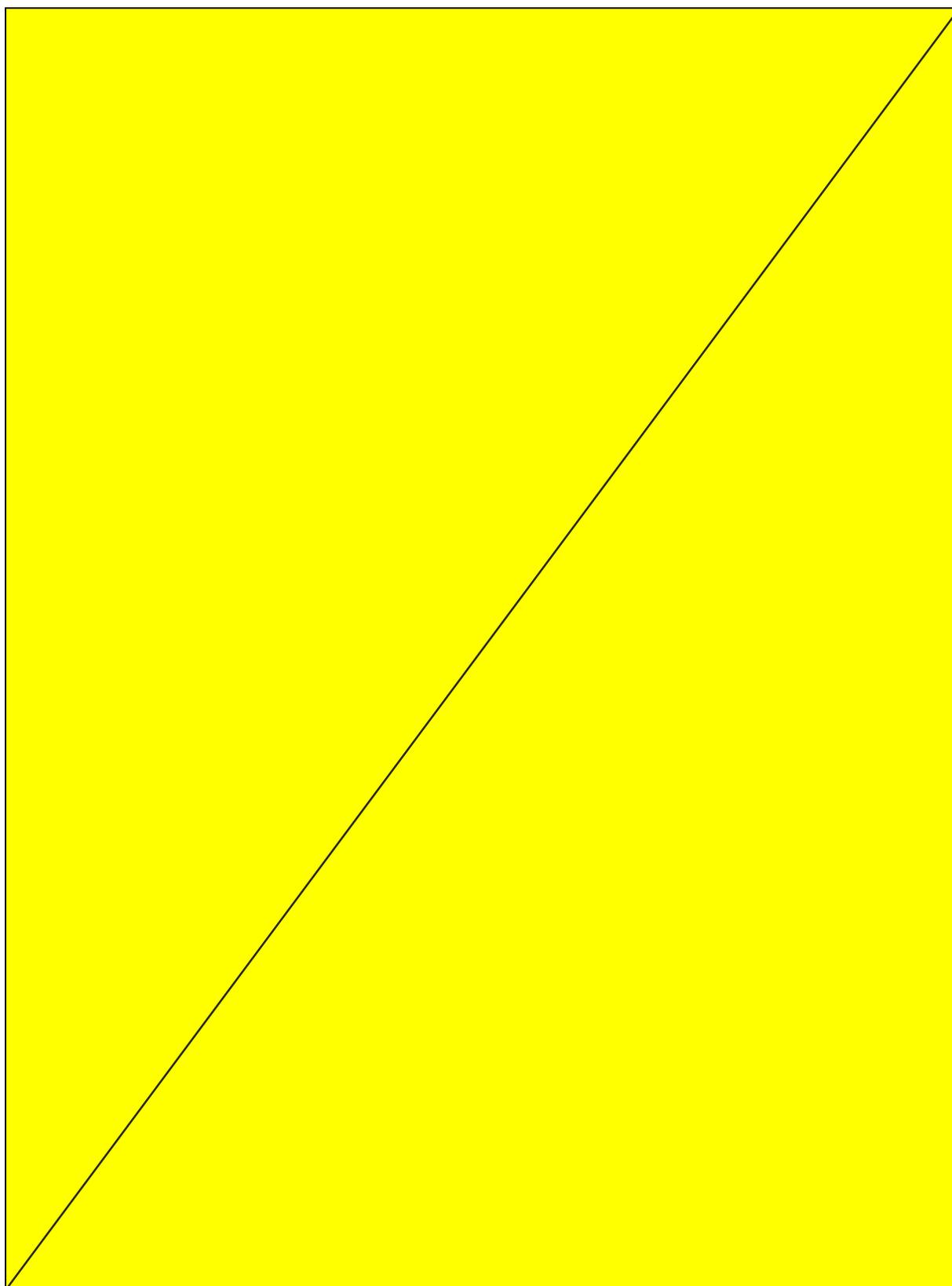
Untertägige Ladefahrzeuge sind Investitionsgüter mit langen Entwicklungs- und Nutzungsdauern. Zusätzlich steht die Rohstoffgewinnung im direkten globalen Wettbewerb. Eine kurzfristige vollständige Umstellung auf moderne Abgasnachbehandlungssysteme ist daher nicht umsetzbar. Um ein Bergwerk mit gleichbleibender den vorherigen Arbeitsplatzgrenzwerten angepassten Frischwettermenge betreiben zu können oder um eine Mischflotte bestehend aus Fahrzeugen modernster Abgastechnologie, aber auch Fahrzeugen mit älterer Abgastechnik betreiben zu können, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich um die zukünftigen Grenzwerte einhalten zu können. Eine zusätzliche Maßnahme wäre die jeweilige Maschinennutzung auf Basis von Auslastungsdaten anzupassen und so lokal den Schadstoffausstoß zu steuern. Eine weitere effektive Maßnahme ist der Einsatz alternative Antriebstechnologien wie elektrisch betriebene Fahrzeuge die es ermöglichen lokal emissionslos zu arbeiten.

Für die genannten Möglichkeiten zur Reduzierung der Abgasemissionen bei gleislosen untertägigen Großgeräten stellt die GHH Lösungen für die Einsatzgebiete Soft- und Hardrock. Diese reichen von rein dieselgetriebenen Fahrzeugen mit modernster Abgastechnologie (EU Stage V), über Hybridfahrzeuge (kabelgebunden mit Batterie) wie dem LF-19EB hin zu rein batteriegetriebenen Muldenkippern wie dem MK-42EB. Mit dem Flottenmanagement- und Produktionsdatenanalyse-system GHH InSITE wird ein digitales online Tool bereitgestellt, welches hilft die Produktionsabläufe zu optimieren, Datenanalysen bereitzustellen und die Reduzierung von Emissionen zu fördern.

Dr. Felix Straßburger
felix.strassburger@ghh-fahrzeuge.de

GHH Fahrzeuge GmbH
Emscherstr. 53
45891 Gelsenkirchen

Hier Werbeseite Fachschule für Wirtschaft und Technik



Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben

J. Rettig

DFT GmbH Deichmann Filter Technik

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Breathe the Difference

Die Unternehmensgruppe für reine Luft und Arbeitssicherheit



Tochter- und Beteiligungsunternehmen

The map shows the following subsidiaries and affiliates:

- WAT** (Wasserfiltertechnik)
- CFT** (Luftfiltertechnik)
- CST** (Lufttechnik GmbH)
- Körfmann** (Lufttechnik GmbH)
- CFT Star**
- CFT MM3**
- CFT France**
- DFT** (Luftfiltertechnik)
- CFT Polska**
- CFT Kasachstan**
- Trans-CF Technology**

3

Produktportfolio der CFH-Group

The product portfolio includes:

- Untertägige Entstaubung
- Wetterkühlung
- Wetterheizung
- Ventilation
- Komplettlösungen
- Engineering
- Schlauchfilter
- Gasreinigung

Die CFH-Group ist mit ihren Unternehmen innovativer Lösungsanbieter im Bereich Filter-, Belüftungs- und Temperierungsanlagen für die Sparten Berg- und Tunnelbau sowie für spezifische Aufgabenstellungen der Entstaubung und Rauchgasreinigung innerhalb sämtlicher Industriezweige.

2

Meilensteine einer Erfolgsstrategie



Gründung

Hermann Deichmann eröffnet ein technisches Büro im hessischen Bebra.



Deichmann Schlauch-Jetfilter

In die ersten Jahre der 80er fallen die Entwicklung und der Produktionsbeginn des Deichmann Schlauch-Jetfilters.



Deichmann Taschenfilter

Für die revolutionierende Entwicklung des Deichmann Taschenfilters wird dem Unternehmen das Patent erteilt. Wenig später startet die Produktion kompletter Filteranlagen.

8

Meilensteine einer Erfolgsstrategie



Selbsttragende Filtermedien

Zu Beginn der 90er folgt die Entwicklung und Patentierung neuartiger, selbsttragender Filtermedien, die den Materialbedarf der Filteranlagen deutlich reduzieren.



Unternehmen „Reine Luft“

Im Herbst 2015 erfolgt der Zusammenschluss von Deichmann und der CFH Gruppe. Das Produktportfolio der Deichmann Filtertechnik wird durch die CFH Gruppe mit Entstaubungslösungen für den untertägigen Berg- und Tunnelbau komplettiert.



Vom Filterlieferanten zum Systemanbieter

Zu Beginn des neuen Millenniums wird die Deichmann Umwelttechnik zum Systemanbieter weiterentwickelt. Die „Alles-aus-einer-Hand“-Philosophie eröffnet den Kunden ganz neue Möglichkeiten und stärkt die Marktposition deutlich.

9

Produktportfolio



← Individuelle Lösungen „Turn-Key“ →

 Schlauchfilter	 Gasreinigung	 Kompakt-entstauber	 Bandaufsatz-filter
 Komplett-lösungen	 Engineering	 Filterelemente und Zubehör	 Montage Supervision Service

Anwendungsbereiche



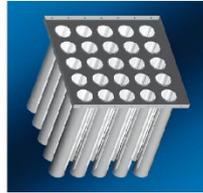
 Metallurgie	 Thermische Prozesse	 Verbrennungsprozesse
 Nahrungs- und Genussmittel	 Steine und Erden	 Müllverwertung und Recycling

11

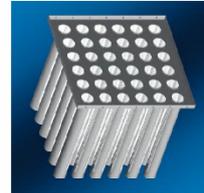
Schlauchfilter Typ SJV



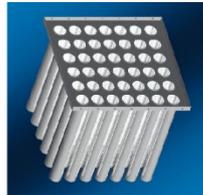
Anordnung + Aufteilung der Filterschläuche
in einer Filterkammer



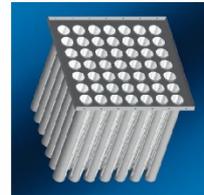
System Ø 150,
Anordnungen 5 x 5



System Ø 120,
Anordnungen 6 x 6



System Ø 120,
Anordnungen 6 x 7

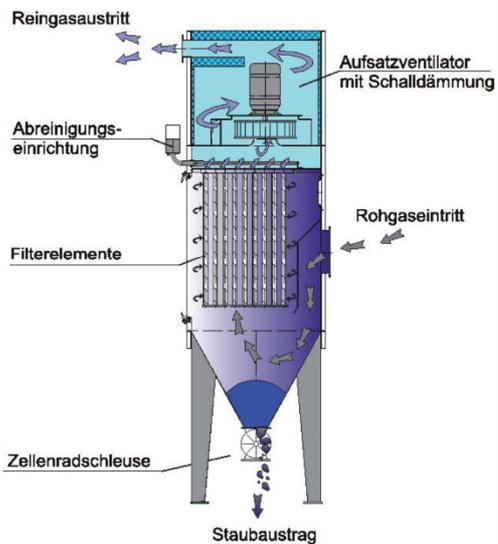


System Ø 120,
Anordnungen 7 x 7



12

Kompaktfilter Typ KJF



- Hocheffiziente Deicolon-Filterelemente
- Reststaubgehalt < 1 mg/Nm³
- Lange Standzeit
- Sehr kompakte Bauweise
- Hohe Luftvolumenströme
- Niedriger Differenzdruck
- Vollautomatische Abreinigung
- Einsatz bis 80 C
- Sonderausführung bis 200 C
- Option: ATEX-Ausführung



13

Kompaktfilter



... mit hocheffizienten Deicolon-Filterelementen

Kompaktelement
STS 45



18 Stück Spiralfilterrohre
auf einem Metallträger

Kompaktelement
STS 30



14 Stück Spiralfilterrohre zu
einem Träger vergossen

Kompaktelement
KFE mikro



Flachfilterelement
Typ 500 und 800

14

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergabe

Dezentrale oder zentrale Möglichkeiten



Sekt oder Selters ???

15

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Grundlagen und Anhaltswerte:

Ermittlung der Entstaubungsluftmenge

nach:



Erfassen luftfremder Stoffe
VDI 2262 Blatt 4

16

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Nach der Luftmengenfestlegung folgt die Frage
nach einem geeigneten Entstaubungssystem:



22

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Fragen:

- Wie viele Entstaubungsstellen mit welcher Luftmenge gibt es?
- Wie weit sind diese räumlich getrennt?
- Gibt es eine Druckluftversorgung, wenn ja wo?
- Kann der Staub zurück auf das Band?
- Wenn nicht, wohin dann?



23

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Beispielentscheidung aufgrund von:

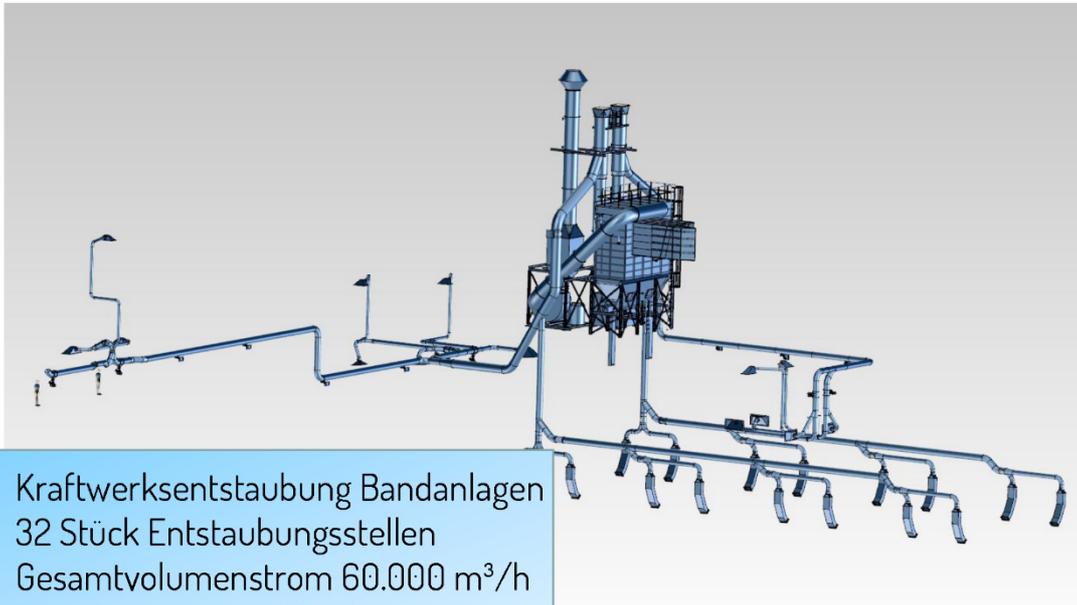
- viele Entstaubungsstellen
- Relativ nah beieinander
- Zentrale Druckluftversorgung vorhanden
- Der Staub soll nicht zurück in das Produkt!

Entscheidung:
Zentrale größere Filteranlage



24

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Kraftwerksentstaubung Bandanlagen
32 Stück Entstaubungsstellen
Gesamtvolumenstrom 60.000 m³/h
Mannheim, Deutschland

25

Entstaubungsmöglichkeiten bei Bandübergaben



Beispielentscheidung aufgrund von:

- Wenige Entstaubungsstellen
- Große Entfernung zwischen den Übergaben
- Zentrale Druckluftversorgung nicht vorhanden
- Der Staub darf zurück in das Produkt

Entscheidung:
Dezentrale Bandaufsatzfilter



29

Bandaufsatzfilter BAF mit DELA-Cleaning-System



Decentralized
Energy efficient
Low-pressure
ATEX compliant

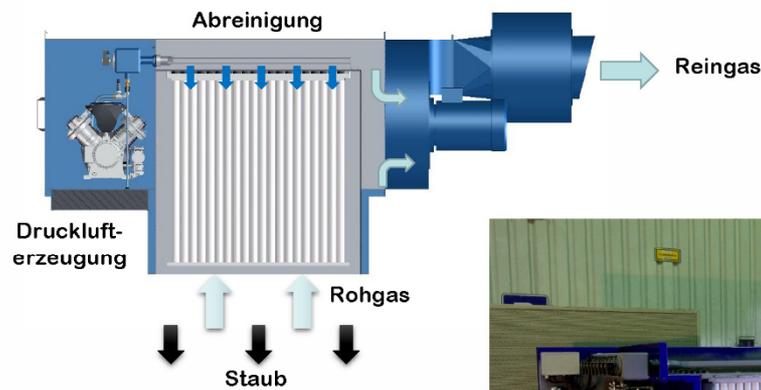
20-60%
Compressed Air
Savings



- D ezentrale, bedarfsgerechte Druckluftherzeugung
- E nergieeffizient, Einsparung bei der Druckluftenergie
- L ow pressure cleaning (Patentierte Niederdruckabreinigung)
- A TEX-konforme Ausführung

35

Bandaufsatzfilter Typ BAF



36

Bandaufsatzfilter Typ BAF



Neues Abreinigungssystem

- Dezentrale, bedarfsgerechte Drucklufterzeugung
- Energieeffizient, da mehr als 40 % Einsparung bei der Druckluftenergie
- Patentierte Niederdruckabreinigung (low pressure cleaning)
- ATEX-konforme Ausführung

38

Bandaufsatzfilter Typ BAF



**Technische Revolution
bei Entstaubungsfiltern!**

**Europäisches Patent
Nr. 14 194 925.5**

DELA Neues patentiertes Abreinigungssystem
für Entstaubungsfilter

NEU DELA ist die konsequente Weiterentwicklung des Druckluftabreinigungssystems in Entstaubungsfiltern. Durch die Optimierung der Ventilterchnik und Anpassungen in der Strömungstechnik werden enorme Einsparungen im Druckluftverbrauch erzielt. Durch diese Optimierung wird ein Abreinigungsdruck in Höhe von nur 3-4 bar benötigt.



39

Fazit...?!

Die Entscheidung dezentrale oder zentrale Entstaubungen einzusetzen, ist sehr stark von den jeweiligen Randbedingungen und Betriebsbedingungen abhängig. Ein grundsätzliches „Richtig oder Falsch“ gibt es also nicht.

**Vielen Dank für
ihre Aufmerksamkeit!**



41

Jens Rettig
jens.rettig@deichmann-filter.de

DFT GmbH Deichmann Filter Technik
Heinrich-Hertz-Straße 3
36179 Bebra

Alternative Übergabeeinrichtungen für stetige Schüttgutfördersysteme

Dr. M. Prenner

1 Einleitung

Stetige Fördersysteme sind systembedingt mit Übergabe-, Abgabe- und Aufgabeeinrichtungen verbunden. Speziell Übergabestellen sind häufig problematisch, da hier erhöhter Verschleiß, zusätzlicher Leistungsbedarf, Korngrößenentmischung, exzentrische Beladung, Partikelbruch, Verstopfung und Staubbildung auftreten kann. Die standardmäßig eingesetzten Schurrensysteme können dabei durch alternative Einrichtungen, welche die genannten Probleme reduzieren können, ersetzt oder erweitert werden. Am Lehrstuhl für Bergbaukunde - Fördertechnik und Konstruktionslehre an der Montanuniversität Leoben werden derzeit in Zusammenarbeit mit Industriepartnern (ScrapeTec Trading GmbH, ScrapeTec GmbH und Wanggo Gummitechnik GmbH) nach Möglichkeiten gesucht, die auftretenden Probleme zu reduzieren. Im Nachfolgenden werden zwei alternative Übergabe-, bzw. Abgabeeinrichtungen vorgestellt.

2 Materialstromleiteinrichtung - "FlowScrape"

Der "FlowScrape" ist eine Materialübergabeeinrichtung, welche als Bindeglied zwischen zwei stetigen Schüttgutförderern dient und ist speziell für Gurtförderer konzipiert. Das System besteht bevorzugt aus drei zu einer Muldung zusammengefügt Gummi Ketten wie sie z.B. für Baufahrzeuge eingesetzt werden. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.

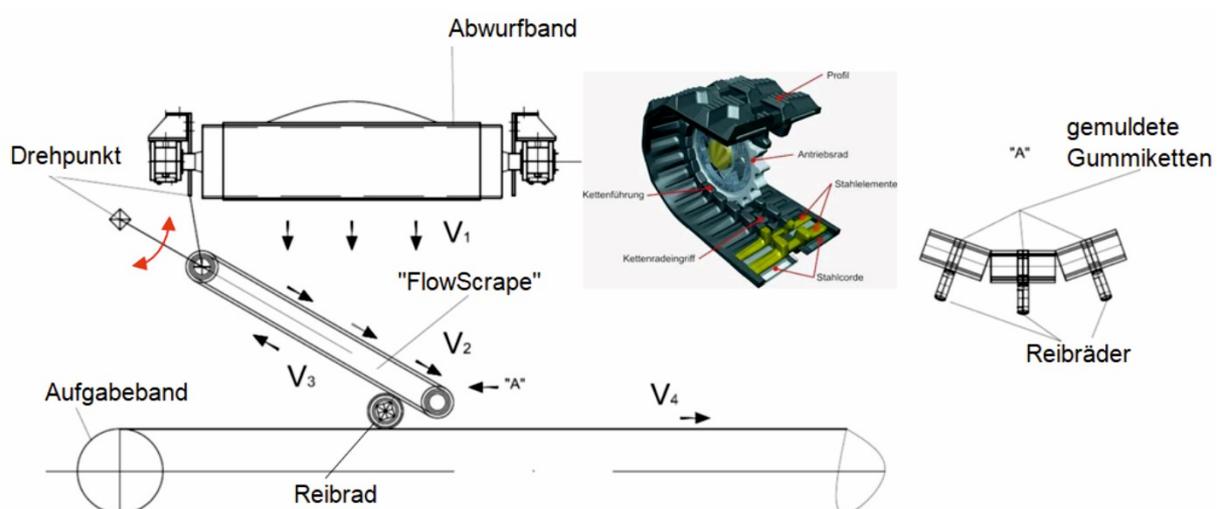
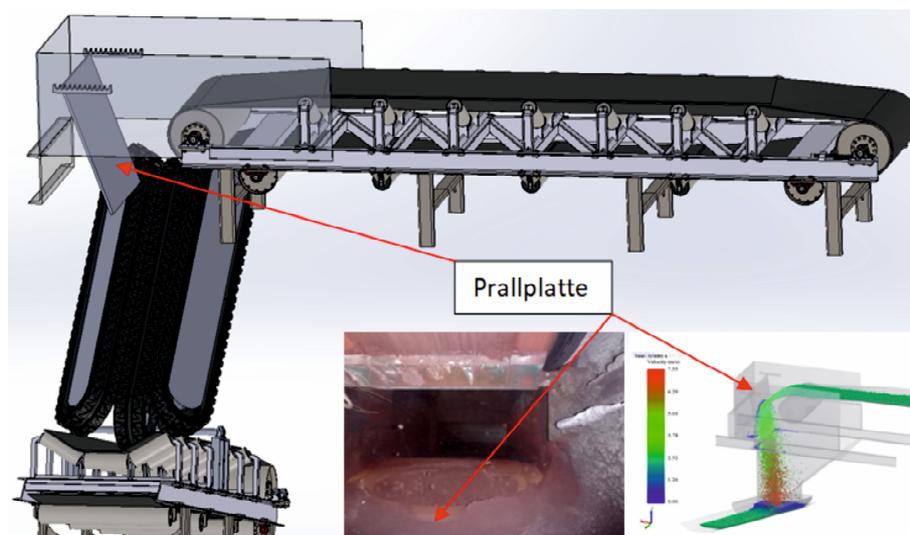


Abbildung 1: Funktionsprinzip "FlowScrape"

Die "gemuldeten" profilierten Gummiketten bzw. Raupenfahrwerke werden zentrisch über dem Aufgabeband angeordnet, sodass das vom Abwurfband abgegebene Schüttgut auf den "FlowScrape" aufgegeben werden kann. Die Übergabeeinrichtung kann in der Länge und der Steigung an die vorherrschenden Gegebenheiten angepasst werden. Durch den "FlowScrape" wird das Schüttgut in die Förderrichtung des Aufgabebandes abgelenkt, wodurch ein "Soft Loading Effekt" entsteht und das Schüttgut weniger vom Aufgabeband beschleunigt werden muss. Dadurch ergibt sich ein energetischer Vorteil. Zwischen dem "FlowScrape" und dem Aufgabeband wird Energie mittels eines Reibrades transferiert. Die Übergabeeinrichtung besitzt keinen eigenen Antrieb und wird grundsätzlich vom strömenden Schüttgut angetrieben. Ist der Energieinhalt des Schüttgutes ausreichend, um die Bewegungswiderstände des Übergabesystems zu überwinden, so überträgt der "FlowScrape" Energie auf das Aufgabeband. Ansonsten wird dieser mit geringem Leistungsbedarf vom Aufgabeband mit angetrieben. Durch die Reduktion der Fallhöhe und das endlos umlaufende Übergabesystem wird ein Verschleißvorteil gegenüber herkömmlichen Schurrensystemen generiert. Der Vorteil bezieht sich dabei auf das Schüttgut, das Aufgabeband und den "FlowScrape" selbst.

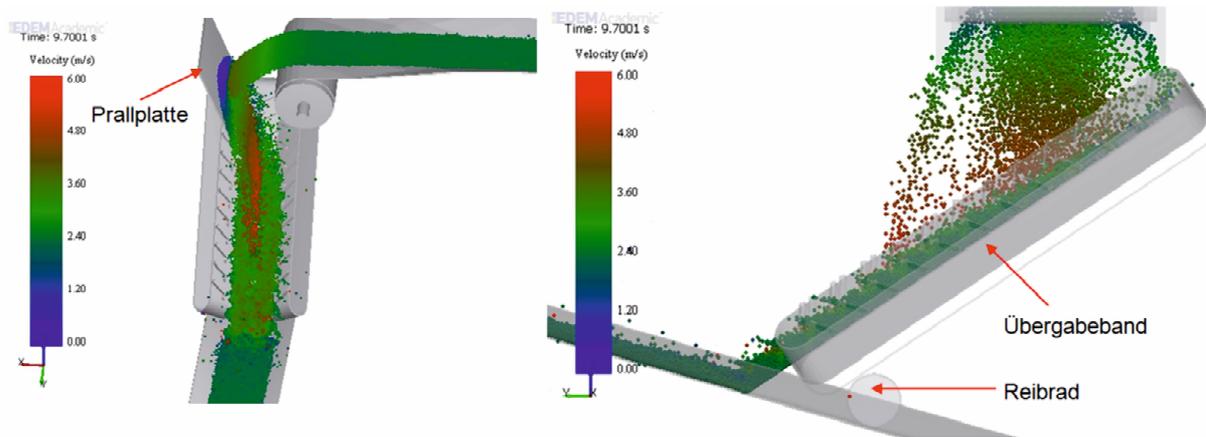
2.1 Simulation einer realen Anlagensituation

Um die Eigenschaften des Systems darzustellen, wurden Simulationen für eine reale Übergabestelle für Eisenerz durchgeführt. Die Übergabesituation ist in Abbildung 2 dargestellt. Für die Simulationen wurde ein Massenstrom von 800 t/h und eine Bandgeschwindigkeit von jeweils 2,4 m/s verwendet. Die mittlere Fallhöhe ohne "FlowScrape" beträgt ca. 3 m, die Neigung des Aufgabebandes 16° - ansteigend und die Neigung des "FlowScrape" 34° - fallend. Das Abwurfband ist horizontal ausgerichtet.



**Abbildung 2: Übergabestelle für Eisenerzpellets (Skizze),
Ausgangssituation - rechts unten**

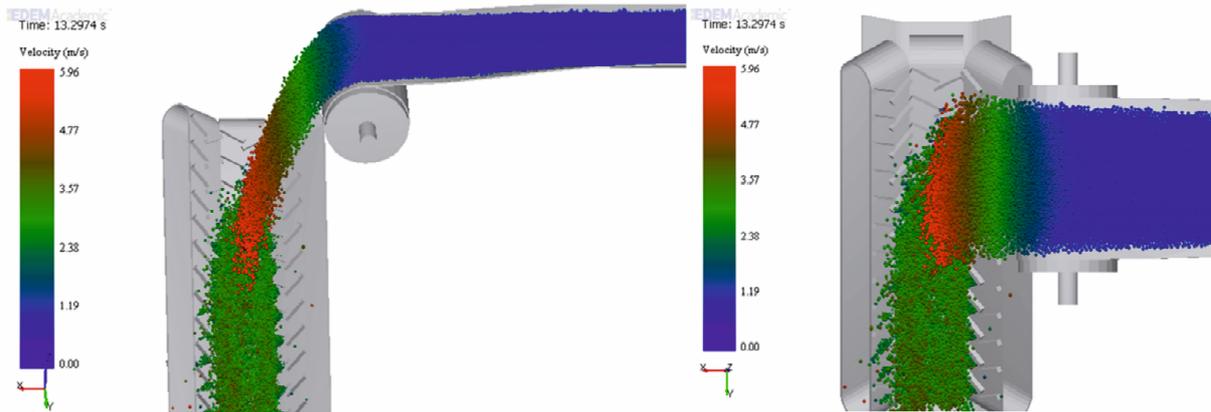
Unter diesen Randbedingungen ist eine Prallplatte (gleich wie bei der Ausgangssituation, siehe Abbildung 2) oder eine Ablenkschurre notwendig, um das Schüttgut zentral auf den "FlowScrape" aufgeben zu können. Das Simulationsergebnis ist in Abbildung 3 ersichtlich.



Massenstrom = 800t/h
 Bandgeschwindigkeit jeweils 2,4m/s
 Fallhöhe ca. 3m
 Steigung Abzugsband = 16°
 Neigung Übergabeband = 34°
 Schüttgut = Eisenerzpellets

Abbildung 3: Übergabestelle mit "FlowScrape" und Prallplatte

Auf Grund der Randbedingungen entsteht am Übergabeband laut Simulation eine Hangabtriebskraft von ca. 643 N. Über die Gummikettengeschwindigkeit von 2,4 m/s ergibt sich eine Leistung von 1.543 W, welche zur Überwindung des Bewegungswiderstandes bzw. teilweise zur Energierückgewinnung zur Verfügung stehen. Die verwendete Übergabestelle lässt eine Reduktion der Fördergeschwindigkeit des Abwurfbandes auf 1 m/s zu, wodurch auf die Prallplatte verzichtet werden kann. Die Abwurftrömmel müsste dazu allerdings um 300 mm entgegen der Förderrichtung verschoben werden. Da der Schüttgutstrom kompakt bleibt und sich nicht auffächert, erhöht sich die Hangabtriebskraft am "FlowScrape" auf ca. 746 N, woraus sich bei 2,4 m/s Bewegungsgeschwindigkeit eine Leistung von ca. 1.789 W berechnen lässt. Die Leistung am "FlowScrape" wird dadurch um ca. 16 % gesteigert. Laut Berechnung würde ein Reibungskoeffizient von ca. 0,46 zwischen Reibrad und einem Stetigförderer ausreichen, um die 1.789 W rein auf Grund der Eigenmasse des Schüttgutes, welches auf den Ketten bewegt wird, zu übertragen. Bei der Verwendung einer Prallplatte kommt es zu einer vermehrten Staubbildung durch das Auffächern des Schüttgutes. Durch die Verringerung der Bandgeschwindigkeit des Abwurfbandes oder durch den Einsatz einer optimierten Ablenkschurre kann dieses Verhalten verhindert werden.



Massenstrom = 800t/h
 Abwurfbandgeschwindigkeit reduziert auf 1m/s, alle anderen Bänder 2,4m/s
 Abwurfpunkt um 300mm in minus X – Richtung verschoben
 Fallhöhe ca. 3m
 Steigung Abzugsband = 16°
 Neigung Übergabeband = 34°
 Schüttgut = Eisenerzpellets

Abbildung 4: Übergabestelle mit "FlowScape" ohne Prallplatte

Durch den Einsatz des Systems wird die Aufprallenergie des Schüttgutes stufenweise umgewandelt, wodurch sich die Schüttgutbelastung insgesamt reduziert. Die Aufprallgeschwindigkeit der Partikel auf das Aufgabeband reduziert sich durch den "FlowScape" von ca. 8 m/s auf 3,1 m/s, wodurch der Verschleiß am Aufgabeband signifikant reduziert werden kann. Die maximale Partikelgeschwindigkeit vor dem Aufprall auf den "FlowScape" beträgt ca. 5,9 m/s, wobei für die Kontaktbedingungen noch die Geschwindigkeit des unter 34° nach unten bewegten "FlowScape" berücksichtigt werden muss. Die Partikelbelastung beim Kontakt mit dem "FlowScape" liegt aber ebenfalls auf einem signifikant niedrigerem Niveau verglichen mit dem direkten Aufprall auf das Aufgabeband. Vergleicht man die Partikelbelastung in der Simulation (max. Compressive Force) und verwendet die Partikelbelastung beim Kontakt der Partikel mit dem "FlowScape" als Basis (100 %), so erhöht sich die Belastung beim Aufprall der Partikel vom "FlowScape" auf das Aufgabeband auf 117 % und ohne "FlowScape" beim Aufprall auf das Aufgabeband auf 176 %.

Durch den "FlowScape" reduziert sich der Leistungsbedarf des Aufgabebandes um ca. 3,2 kW. Die Reduzierung entsteht zum einen durch die Geschwindigkeitskomponente der Partikel beim Aufprall in Bandrichtung, wodurch diese weniger beschleunigt werden müssen und zum andern durch die Reduktion der Länge der Bandbeladung.

Die Simulationen bestätigen, dass für eine reale Anlage durch den Einsatz des "FlowScape" signifikante Gurt- und Partikelverschleißreduktionen zu erwarten sind. Weiters reduziert sich die Leistungsaufnahme des Aufgabebandes. Die aufgezeigten Vorteile sind derzeit Thema eines EU - Projektes, welches sich unter anderem mit der Reduktion des Sinterbruches auf Grund von Förder- und

Lagerprozesse beschäftigt. Sinterbruch führt zu vermehrter Rückgutproduktion, welches unter hohem Energieaufwand erneut gesintert werden muss, um dem Hochofenprozess zugeführt werden zu können.

2.2

3 Feststoffturbine

Feststoffturbinen wurden vom Lehrstuhl für Bergbaukunde - Fördertechnik und Konstruktionslehre grundsätzlich als Energierückgewinnungssystem konzipiert. Dabei wird die im bewegten Schüttgut enthaltene kinetische Energie an Aufgabe-, Übergabe- oder Abgabestellen durch die Turbine in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt. Untersuchungen haben gezeigt, dass dieses System weitere Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Schurrensystemen aufweist. Neben Verschleißvorteilen (Anlagenkomponenten und Schüttgutpartikel) und der Erzeugung eines "Soft Loading Effektes" ist die Vermeidung der Korngrößenentmischung anzuführen.

3.1 Funktionsprinzip

Das Prinzip orientiert sich an der Funktion einfacher Wasserturbinen (Durchströmturbine oder Stoßrad) bzw. Wasserräder (oberschlächtig, unterschlächtig, mittelschlächtig oder rückenschlächtig), wobei an Stelle des Wassers Schüttgut als Energieträger fungiert (vgl. Abbildung 6).

Ein wesentlicher Unterschied zwischen einer Wasserturbine und einer Feststoffturbine ist das Verschleißverhalten. Schüttgüter führen im Vergleich zu Wasser zu einem deutlich höheren Verschleiß an der Turbine. Die Turbinenschaufeln müssen unbedingt mit Verschleißschutzmaterialien ausgekleidet werden, um eine ausreichende Lebensdauer zu gewährleisten. Diese notwendigen Verschleißschutzmaterialien sind schwierig zu bearbeiten und müssen regelmäßig ausgetauscht werden. Die Geometrie der Turbinenschaufeln sollte daher möglichst einfach aufgebaut sein, um die Betriebskosten zu senken. Eine einfache Konstruktion mit höchstmöglicher Effizienz verkürzt die Amortisationszeit derartiger Turbinen.

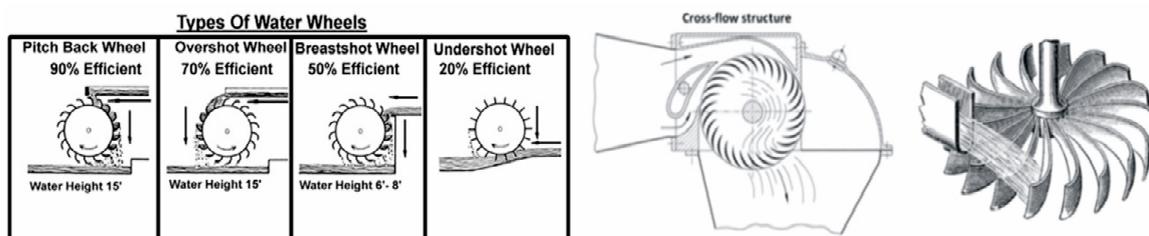


Abbildung 6: Arten von Wasserrädern [1], Durchströmturbine [2], Stoßrad [3]

Die "Discrete Element Method" (DEM) ist ein etabliertes Werkzeug und eignet sich gut zur geometrischen Auslegung und Berechnung der erwarteten Leistungsabgabe von Feststoffturbinen. Abbildung 7 zeigt Simulationsbeispiele von verschiedenen Turbinen mit dem zugehörigen Wirkungsgrad in der Frühphase der Entwicklung.

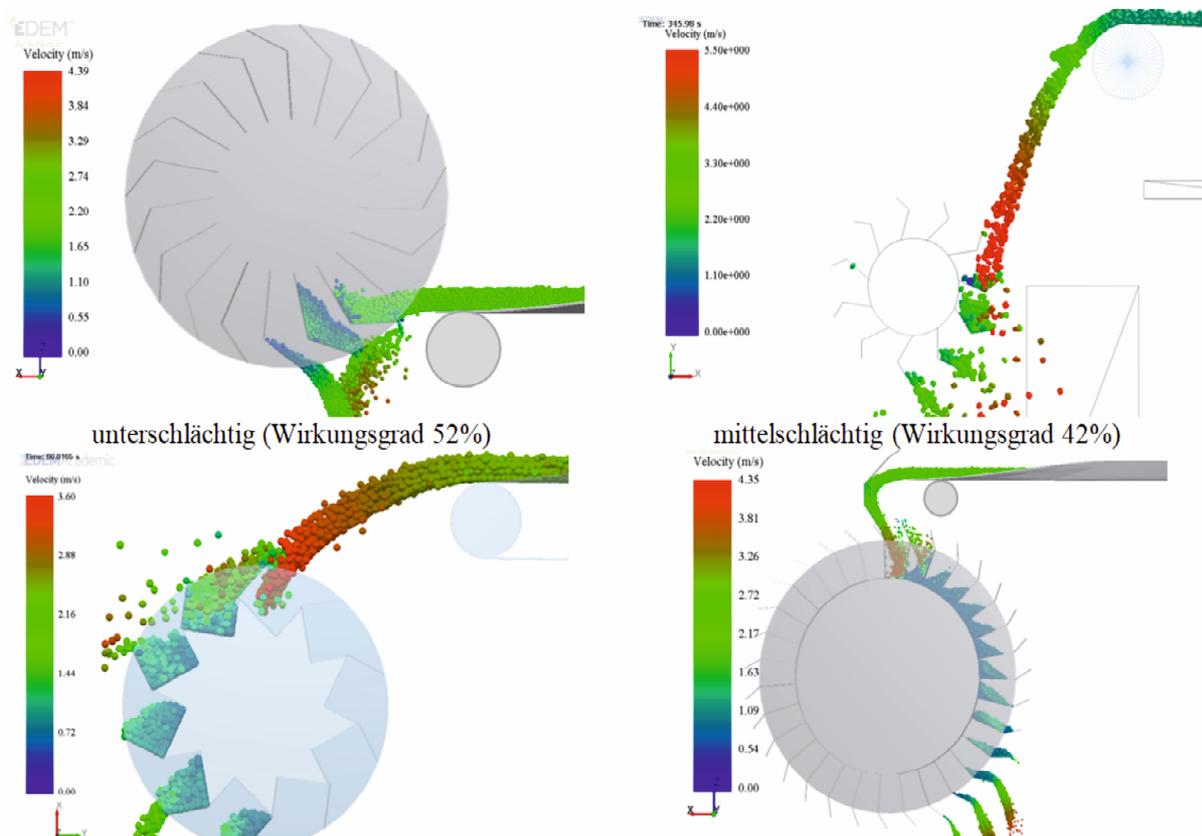


Abbildung 7. Discrete Element Simulation verschiedener Turbinentypen [6]

Die rückgewinnbare Energie ist abhängig vom Massenstrom, der Fördergeschwindigkeit und der nutzbaren Fallhöhe. Um das Potenzial eines solchen Energierückgewinnungssystems zu veranschaulichen, kann eine einfache Berechnung durchgeführt werden. Beispielsweise führt ein Massenstrom von 15.000 t/h (4.166,7 kg/s) bei einer Fördergeschwindigkeit von 6 m/s und einer Fallhöhe von 2 m zu einem Leistungsinhalt des bewegten Schüttgutes von etwa 157 kW. In der Regel wird ein großer Teil dieser Energie bzw. Leistung an Aufgabe-, Abgabe- oder Übergabestellen in "Verschleiß" des Fördersystems und/oder des Schüttgutes umgewandelt. Diese ungenutzte Energie steht kostenlos zur Verfügung und sollte besser für energieeffizientere umweltfreundlichere Stetigfördersysteme genutzt werden. Neben der Energierückgewinnung bietet diese Technologie weitere Vorteile, die technologisch und wirtschaftlich interessanter sein könnten als die eigentliche Energierückgewinnung. Simulationen haben gezeigt, dass der Verschleiß an Turbinen, wenn sie anstelle von Standardübergabeschuppen zwischen zwei Gurtförderern eingesetzt werden, deutlich geringer ist als der Verschleiß an den untersuchten Standardübergabeschuppen.

Mit einer speziellen Turbinengeometrie könnten auch sogenannte "Soft Loading Effekte" für Gurtförderer realisiert werden. Das Schüttgut muss durch diesen Effekt geringer am Aufgabeband beschleunigt werden. Durch den Einsatz von Feststoffturbinen kann auch das Entmischen der Schüttgutpartikel so wie der Verschleiß der Partikel verhindert bzw. reduziert werden. Derartige Vorteile sind, wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, für die Erzeugung von Roheisen mittels des Hochofenprozesses von Interesse.

3.2 Verschleißvorteil und "Soft Loading Effekt"

Während eines Projekts, das von der Europäischen Union finanziert wurde (Research Fund for Coal and Steel (RFCs), grant agreement number <RFSR-CT-2015-00027>), wurden Langzeitverschleißtests an verschiedenen Schurrentypen durchgeführt. Diese Schurren wurden alle an der gleichen Übergabestelle zwischen zwei Förderbändern für den Transport von Eisenerz (Massenstrom 800 t/h, Bandgeschwindigkeit 2,4 m/s, Übergabehöhe ca. 3 m, vgl. Abbildung 8) eingebaut. Die Schurren wurden mit verschiedenen Verschleißschutzmaterialien ausgekleidet, um ein Material mit mindestens einem Jahr Standzeit zu ermitteln. Eines der Verschleißschutzmaterialien war HARDOX 400, das als Referenzmaterial verwendet wurde. HARDOX 400 sollte normalerweise nicht als Verschleißschutz in stark beanspruchten Schurrenbereichen in Kombination mit Eisenerz eingesetzt werden, da Eisenerz ein stark abrasives Schüttgut ist. Da es sich bei HARDOX um ein kostengünstiges Verschleißschutzmaterial handelt, sollten dessen Einsatzgrenzen bestimmt werden. Zur Beschreibung der Verschleißvorteile von Feststoffturbinen wurden die Verschleißtestergebnisse von HARDOX 400 herangezogen. Die Abbildung 9 bis 12 zeigen die Test- und Simulationsergebnisse für HARDOX 400 für die untersuchten Schurren. Die Verschleißtests wurden jeweils nach dem Abtrag von 10 mm HARDOX von der Schurrenoberfläche abgebrochen. Die Testergebnisse wurden mit DE-Simulationen verglichen. Für alle Simulationen wurde die gleiche Geometrieoberflächennetzgröße so wie die gleichen Simulationsparameter verwendet. Mittels der DEM wurde die kumulative Kontaktenergie (normal und tangential) und der "Archard Verschleiß" [4] zur Beschreibung des Verschleißes berechnet.

Die Ergebnisse der Kontaktenergiesimulation in Kombination mit den Schurrentestergebnissen wurden zur Lebensdauervorhersage verschiedener "Feststoffturbinen" verwendet. Die mittels des "Archard Verschleiß"-Modells berechneten Simulationsergebnisse konnten nicht für die Vorhersage der Lebensdauer verwendet werden, da sie keine Korrelation mit dem tatsächlichen Verschleißverhalten aufwiesen.

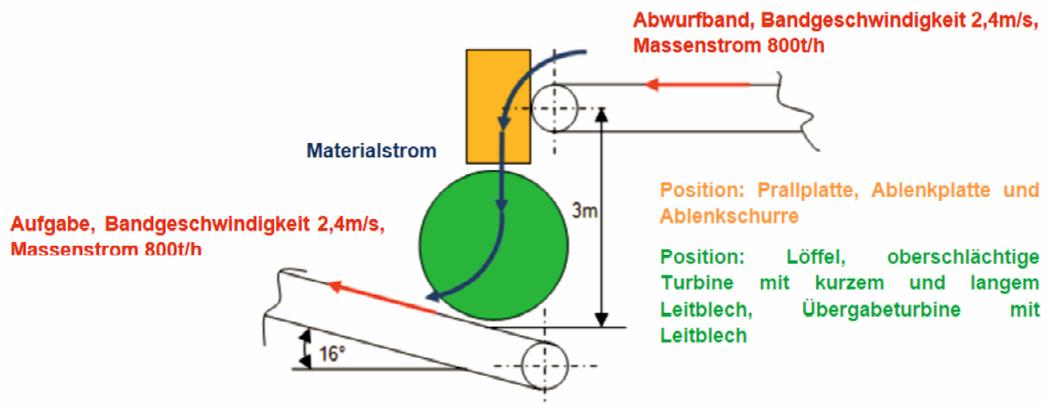


Abbildung 8: Übergabesituation für alle Schurren- und Turbinentests [6]

Abbildung 9: Simulations- und Testergebnisse - Ablenkplatte [6]

Abbildung 10: Simulations- und Testergebnisse - Prallplatte [6]

Abbildung 11: Simulations- und Testergebnisse - Ablenkschurre [6]

Abbildung 12: Simulations- und Testergebnisse - Löffel [6]

Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, den genauen Zeitpunkt bzw. die genaue Menge an Eisenerz zu messen, die mit den unterschiedlichen Schurren in Kontakt kamen, bis 10 mm Material abgetragen wurden. Nur für die Prallplatte (Abbildung 10), die eine Wandstärke von mehr als 10 mm aufwies, konnte die exakte Menge an Eisenerz (186 439 Tonnen) gemessen werden, bis 10 mm HARDOX von der Plattenoberfläche abgetragen wurden.

Alle anderen Schurren mit einer Wandstärke von 10mm wiesen zwischen zwei Messungen eine Perforierung auf, wodurch nur ein Schüttgutmengbereich für den Abtrag von 10 mm HARDOX angegeben werden konnte. Der Löffel (Abbildung 12) hatte eine Perforierung zwischen 12.460 Tonnen und 20.021 Tonnen, die Ablenkschurre (Abbildung 11) zwischen 43.636 Tonnen und 67.040 Tonnen und die Ablenkplatte (Abbildung 9) kurz vor 91.041 Tonnen. In Verbindung mit den Simulationsergebnissen (Summe der kumulativen Kontaktenergien) konnte dennoch eine Lebensdauervorhersage durchgeführt werden. Die Simulations- und Massergebnisse der Prallplatte dienten als Basis für die Lebensdauervorhersage. Die Vorhersageergebnisse betragen 17.857 Tonnen für den Löffel, 57.483 Tonnen für die Umlenkschurre und 86.104 Tonnen für die Ablenkplatte. Alle Vorhersagewerte liegen im Bereich der Messwerte (vgl. Tabelle 1). Der gleiche Ansatz wurde auch für die Lebensdauervorhersage von zwei unterschiedlichen "Feststoffturbinen" verwendet, die in einer Simulation an derselben Übergabestelle implementiert wurden (siehe Abbildung 8). Die Ergebnisse der Tests und Simulationen der Prallplatte wurden ebenfalls für die Vorhersage zugrunde gelegt. Die erste getestete Turbine war eine oberschlächtige Turbine (Abbildung 13) und die zweite eine sogenannte Übergabeturbine (Abbildung 14).

Abbildung 13: Simulationsergebnisse oberschlächtige Feststoffturbine [6]

Beide Turbinen verwenden Leitbleche, um ein frühzeitiges Austreten von Partikeln aus dem Turbinenbereich zu vermeiden. Die Leitbleche erhöhen zudem geringfügig den Wirkungsgrad der Turbinen. Mit der oberschlächtigen Turbine kann ein Wirkungsgrad von ca. 54 % und eine Leistung von ca. 3,8 kW realisiert werden.

Das Verschleißniveau ist deutlich geringer verglichen mit allen anderen zuvor getesteten Schurrentypen. Die Turbine selbst weist in der Simulation im Beobachtungszeitraum eine Summe der kumulativen Kontaktenergien von 5,48 J auf. Verglichen mit dem Energieniveau der Prallplatte (niedrigstes Verschleißniveau aller getesteten Schurren) von 13,19 J ist der Verschleißwert etwa 2,4-mal niedriger. Der Verschleiß der verwendeten Leitbleche liegt unter dem Niveau des Verschleißes der oberflächigen Turbine.

Der Wirkungsgrad der Übergabeturbine ist geringer als der Wirkungsgrad der oberflächigen Turbine. Der Wert liegt bei ca. 47 %, kann aber durch den auftretenden "Soft Loading Effekt" auf rund 55 % erhöht werden. Die Turbinenleistung beträgt ca. 4,2 kW. Das Verschleißniveau (Summe der kumulativen Kontaktenergie) der Übergabeturbine selbst beträgt ungefähr 10,54 J und ist ungefähr 20 % niedriger als das Niveau der Prallplatte. Die kumulierte Kontaktenergie bzw. der Verschleiß am Leitblech ist ca. 36 % höher als der Verschleiß an der Prallplatte, ist aber auf einen kleinen Bereich konzentriert. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Abbildung 15 und Tabelle 1 dargestellt. Die Turbinen weisen im Vergleich zu den getesteten Schurren einen signifikanten Verschleißvorteil auf. Die Angaben beziehen sich dabei auf den Abtrag von 10 mm HARDOX. Der Ort der maximalen Kontaktenergie an den Turbinen befindet sich an den Kanten der Turbinenschaufeln und nicht an der Oberfläche wie bei den Schurren. Ein Materialabtrag von 10 mm an den Schaufelkanten führt zu keinem Ausfall der Turbinen.

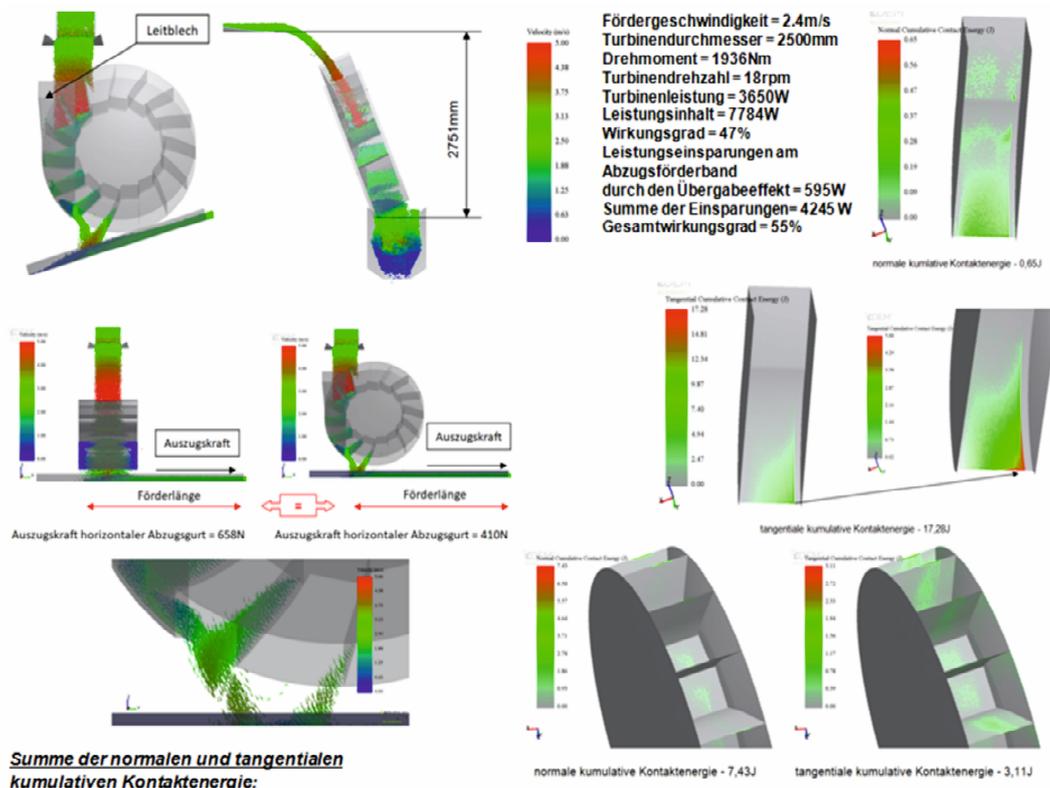


Abbildung 14: Simulationsergebnisse Übergabeturbine [6]

Tabelle 1: Versagen / Lebensdauer der getesteten Schurren und Lebensdauer vorhersage mittels der DEM [6]

"Apparatur"	Versagen - Messung	Vorhersage DEM	Σ Kontaktenergie DEM	Multiplikator Lebensdauer
Prallplatte	186 439 t	Basis	13,19 J	10,44
Ablenkplatte	kurz vor 91.041 t	86.104 t	28,56 J	4,82
Ablenkschurre	zwischen 43.636 t und 67.040 t	57.483 t	42,78 J	3,22
Löffel	zwischen 12.460 t und 20.021 t	17.857 t	137,71 J	1
überschlächtige Turbine	-	448.739 t	5,48 J	25,13
kurzes Leitblech	-	740.689 t	3,32 J	41,48
langes Leitblech	-	659.273 t	3,73 J	36,92
Übergabeturbine	-	233.310 t	10,54 J	13,07
Leitblech	-	137.149 t	17,93 J	7,68

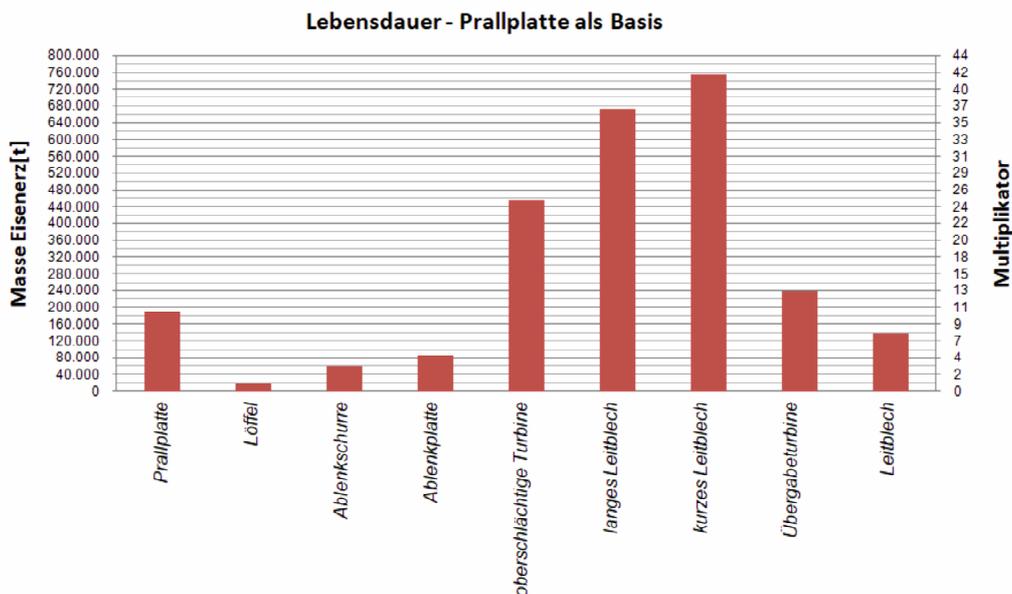


Abbildung 15: Zusammenfassung der Lebensdauer, Schurren verglichen mit den Turbinen und Leitblechen [5]

3.3 Reduktion der Partikelbrüche

Bei den in Kapitel 3.2 gezeigten Simulationen wurde zusätzlich auch die kinetische Energie der Partikel analysiert. Insbesondere die Übergabeturbine verursacht eine geringere Partikelbelastung (siehe Abbildung 16). Dieses Verhalten kann für Förder- und Lagerprozesse von Schüttgütern von Interesse sein, die bei diesen Prozessen nicht brechen sollen. Der Transport und die Lagerung von Sinter ist ein gutes Beispiel, da das erneute Sintern von Rückgut (Partikelgröße kleiner 5mm) ein sehr energie- und kostenintensiver Prozess ist.

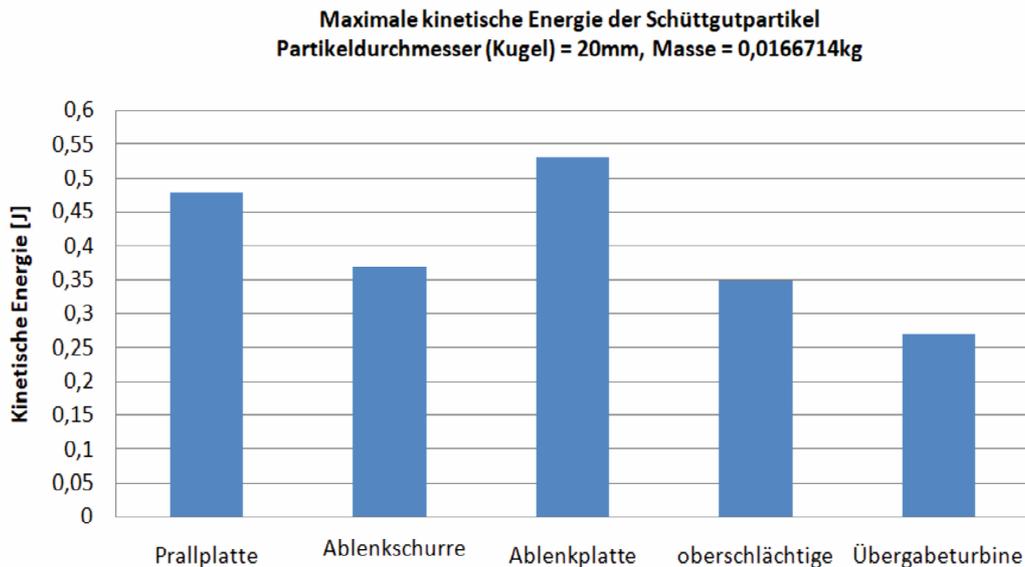


Abbildung 16: Maximale kinetische Energie der Eisenerzpartikel in der Simulation [6]

3.4 Vermeidung der Partikelgrößensegregation

Ein weiterer interessanter Vorteil von Feststoffturbinen in Kombination mit Gurtförderern ist die Vermeidung der Partikelgrößensegregation bei Schüttgutübergabe- und Abgabeprozessen. Dieses Verhalten wurde während eines Prototypentests einer Turbine unter Betriebsbedingungen in einem Kalksteinbruch festgestellt und ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Übergabe von Kalkstein von einem Gurtförderer in den Bunker eines Brechers mit und ohne Turbine. Es ist zu erkennen, dass sich die grobkörnigen Partikel ohne Turbine auf der gegenüberliegenden Seite der Abwurftrammel des Gurtförderers im Bunker anlagern. Dieses Verhalten führt zu einem erhöhten einseitigen Verschleiß des Brechers und damit zu einer verringerten Standzeit des Brechers. Durch den Einsatz einer Turbine kann dieses unerwünschte Verhalten vermieden und die Standzeit des Brechers erhöht werden. Die Partikelgrößenentmischung ist ein häufig auftretendes Verhalten, das zu Prozessproblemen von nachgeschalteten Industrieanlagen führen kann. Als Beispiel kann auch hier der Sintertransport zum Hochofen und die zwischenzeitliche Sinterlagerung angeführt werden.

Abbildung 17: Korngrößenverteilung mit und ohne Feststoffturbine [6]

4

5 Referenzen

- [1] Ashburner, R., Hull, P., Lloyd, M., Partington, R., Romain, P. (2017). Dulverton Weir & Leat Conservation Trust. <http://dulvertonweir.org.uk/gallery/>
- [2] Tanaka Hydropower CO., LTD. (2017). <http://www.tanasui.co.jp/productsTurbinesEn.html>
- [3] Julius, M. H. (1909) Meyers Großes Konversations-Lexikon, 20th ed. Leipzig and Vienna: Bibliographisches Institut.
- [4] Archard J. F. (1953) Contact and Rubbing of Flat Surfaces. Journal of Applied Physics, 24(8): p. 981-988. 10.1063/1.1721448
- [5] Prenner, M., Grübler, C.& Zeiler, S. (2018) Vorteile von Feststoffturbinen. Schüttgut, 5, 68-72.
- [6] Prenner, M., (2019) Solid State Material Driven Turbine. ICBMH 2019, Australien

Dr. Michael Prenner

michael.prenner@unileoben.ac.at

Montanuniversität Leoben
Bergbaukunde – Fördertechnik und Konstruktionslehre
Franz-Josef-Straße 18
8700 Leoben
Österreich

Einsatz der Diskrete Elemente Methode zur Beschreibung des abrasiven Verschleißes in der Schüttgutfördertechnik

T. Rößler, A. Katterfeld

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

M. Dratt, H. Otto

IBAF Institut für Baumaschinen, Antriebs- und Fördertechnik GmbH

H. Köther

FAM Magdeburger Förderanlagen und Baumaschinen GmbH

M. Kerler

Quarry Mining LLC

M. Barnard

Cleveland Cascades Ltd

Kurzfassung

Im Bereich der Schüttgutfördertechnik ist eine Hauptursache für Anlagenausfälle und Stillstandzeiten der hohe Verschleiß, der durch die Förderung von hoch abrasiven mineralischen Schüttgütern und Pulvern entsteht. Aufgrund der komplexen Geometrien der Förderanlagen sowie der häufig unbekanntem Beanspruchung der einzelnen Anlagenelemente durch das Schüttgut sind herkömmliche analytische und experimentelle Methoden zur Bestimmung von Art und Lage des Verschleißes nur bedingt geeignet. Der Einsatz der Diskrete Elemente Methode (DEM) ermöglicht es, einen Einblick in das Innere der Anlage zu bekommen und sowohl das Fließverhalten des Schüttgutes als auch die Beanspruchung einzelner Elemente zu analysieren. Unter Verwendung geeigneter Modelle können auf diese Weise qualitative Aussagen zur Verschleißausprägung getroffen werden. Um über die qualitative Ausprägung und Lage hinausgehende Vorhersagen zur Lebensdauer treffen zu können, ist eine geeignete Kalibrierung unter Berücksichtigung der spezifischen Verschleißschutzmaterialien und Schüttgüter notwendig. In diesem Beitrag wird anhand des Industrieprojektes „Kaskaden - Schiffsbelader“ ein genereller Ablauf zur Verschleißvorhersage mittels DEM Simulationen vorgestellt.

1 Einleitung

Im Rahmen eines Industrieprojektes sollte die Funktionalität eines Schiffsbeladers mit Hilfe der Diskrete Elemente Methode analysiert werden. Die folgende Abbildung 1 zeigt das abgewandelte Enddesign des Schiffsbeladers in vereinfachter Darstellung. Zusätzlich ist der Materialfluss innerhalb des Schiffsbeladers zum besseren Verständnis vergrößert gekennzeichnet. Das Schüttgut wird über den zufördernden Gurt in die Gelenkschurre gefördert und mithilfe einer Prallwand (hier Ausführung als sogenannter „Hood“) umgelenkt. Die Prallwand ist dabei drehbar gelagert, sodass eine Anpassung an das Schüttgut bzw. den Materialstrom möglich ist, um diesen schonend umzulenken.

Von der Prallwand fließt das Schüttgut über zwei ebenfalls einstellbare Drehplatten und einem Abweisblech in die Kaskadenschurre. Die hier dargestellte Kaskadenschurre besteht aus insgesamt 14 Kaskaden, wodurch bei maximaler Auslenkung eine Höhe von ca. 20 Metern bis zum Schiffboden überwunden werden kann. Das Material fließt im „zick-zack“ von einer Kaskade in die Nächste. Dadurch soll eine möglichst schonende Förderung des Schüttgutes realisiert werden. Am unteren Ende fließt das Schüttgut aus der letzten Kaskade auf den Schiffboden. Während der Beladung bewegt sich der Schiffsbelader parallel zum Schiff, wodurch eine gleichmäßige Befüllung gewährleistet werden kann.

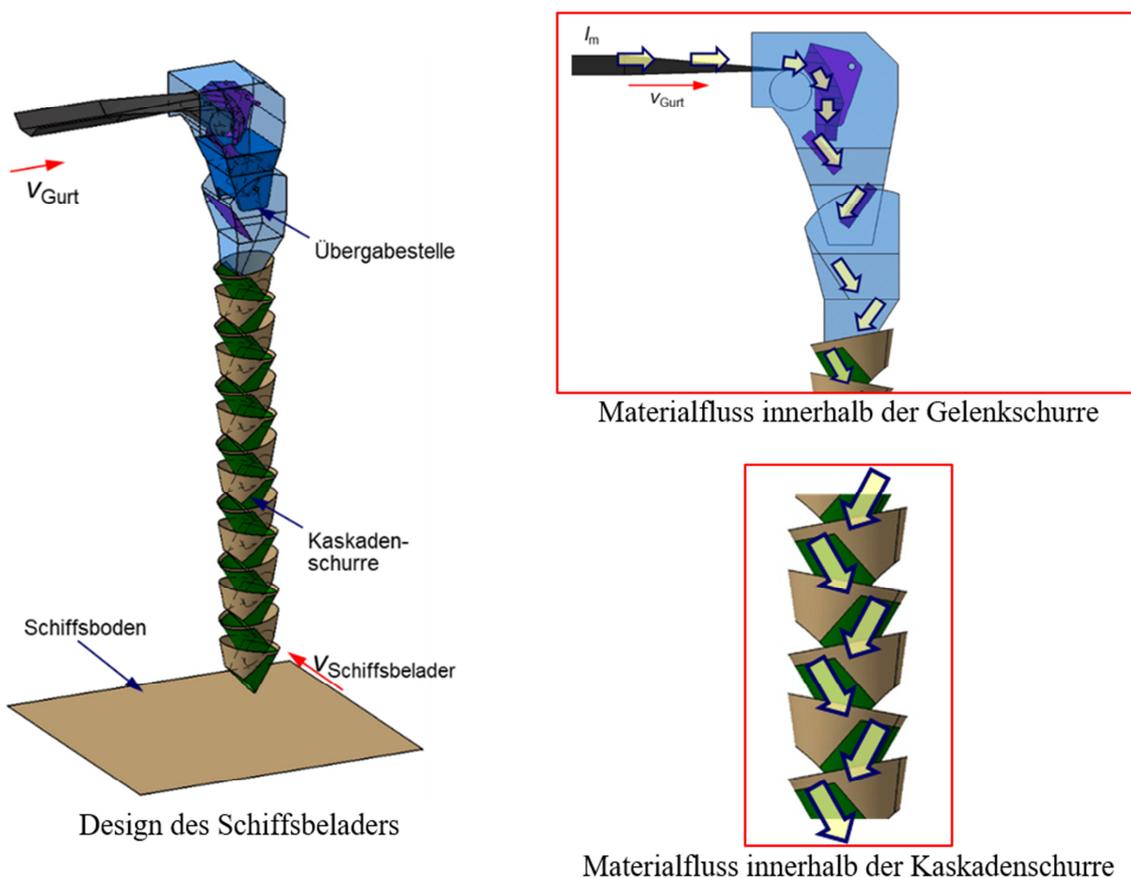


Abbildung 1: Aufbau eines Schiffsbeladers und Materialfluss innerhalb der Gelenkschurre und der Kaskadenschurre

Bei den zu verladenden Schüttgütern handelt es sich zum einen um Dolomit und zum anderen um Kalkstein mit einer Korngrößenverteilung von 50 – 100 mm. Dabei soll der Gurt die Schüttgüter mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s fördern, wodurch ein Massenstrom von ca. 3500 t/h realisiert werden kann.

Im Projekt sollte nachgewiesen werden, ob die gegebene Konstruktion in der Lage ist die geforderten Massenströme zu bewältigen bzw. bis zu welchem maximalen Massenstrom eine Förderung ohne Blockieren der Anlage möglich ist. Des Weiteren sollte eine Einschätzung bezüglich der auf das Schüttgut wirkenden Kräfte und die daraus resultierende Kornzerstörung gegeben werden.

Auf Basis der Analyse wurden Optimierungen der Geometrien der Gelenkschurre und der Kaskadenform vorgenommen. Für das finalisierte Design sollte abschließend eine Aussage hinsichtlich des zu erwartenden Verschleißes sowohl an der Gelenkschurre als auch für die einzelnen Kaskadenelemente gegeben werden. Zu diesem Zweck wurden Proben für zwei ausgewählte Verschleißschutzmaterialien durch den Kunden zur Verfügung gestellt. Im vorliegenden Beitrag wird ausschließlich auf die Analyse des Verschleißes eingegangen. Zu diesem Zweck werden im folgenden Kapitel kurz die relevanten Grundlagen zur Modellierung des abrasiven Verschleißes umrissen.

2 Grundlagen der Verschleißmodellierung

Die Komplexität des Verschleißes resultiert üblicherweise aus der Überlagerung verschiedener Wirkmechanismen, auf die der Volumenverlust einer Probe zurückzuführen ist. Abhängig vom mechanischen Kontakt kann der Verschleiß in die in Abbildung 2 gezeigten Gruppen und Untergruppen unterteilt werden. Diese setzen sich in der Regel aus den Hauptmechanismen Abrasion, Adhäsion, tribo. chemische Reaktion und Oberflächenzerrüttung zusammen [1, 2].

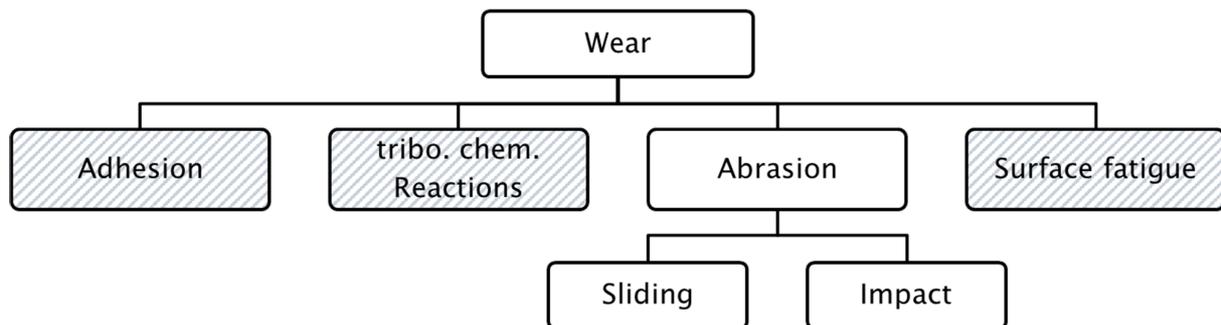


Abbildung 2: Systematische Gliederung der Verschleißmechanismen nach [1, 2]

Bei den meisten Anwendungen in Bereich der Schüttgutförderertechnik dominiert der durch Abrasion verursachte Verschleiß. Dieser kann je nach Art der Relativbewegung zwischen Schüttgut und beanspruchter Oberfläche in Gleitverschleiß und Prallverschleiß unterteilt werden (Abbildung 3). Häufig werden diese Verschleißarten zusätzlich durch ein Abrollen der einzelnen Partikel überlagert, wobei der Einfluss des Rollens auf den Gesamtverschleiß der Bauteile in der Regel vernachlässigbar ist und nicht weiter berücksichtigt wird.

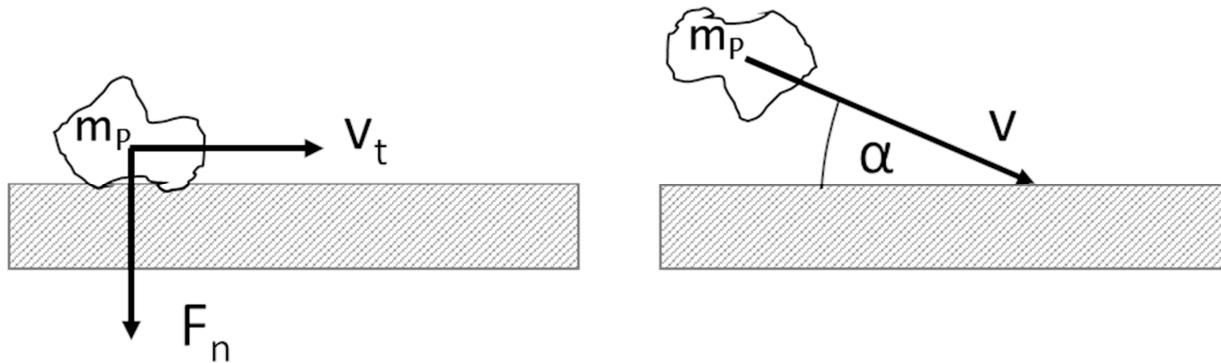


Abbildung 3: Bewegung zwischen Partikel und Bauteiloberfläche beim Gleiten (links) und Prall (rechts)

2.1 Gleitverschleiß

Die analytische Beschreibung des Volumenverlustes durch abrasiven Gleitverschleiß basiert auf experimentellen Untersuchungen an Festkörpern von Archard [3, 4]. Das Verschleißgesetz von Archard besagt, dass der Verschleiß eines Metallstifts sowohl proportional zur wirkenden Normalkraft F_n als auch zur zurückgelegten Strecke Δs und umgekehrt proportional zur Härte H des weicheren Kontaktpartners ist. Daraus folgt für den Volumenverlust durch Gleitverschleiß:

$$\Delta V_{\text{Gleit}} = \frac{K}{H} F_N \Delta s = \frac{K}{H} F_N v_t \Delta t. \quad (\text{Gleichung 1})$$

Der Faktor K ist ein dimensionsloser Koeffizient, der von den Materialeigenschaften der Kontaktpartner und den Bedingungen des Kontakts abhängt [11]. Weiter vereinfacht wird Gleichung 1 oft wie folgt angegeben:

$$\Delta V_{\text{Gleit}} = k_{a,v} F_N \Delta s = k_{a,v} F_N v_t \Delta t. \quad (\text{Gleichung 2})$$

In diesem Fall ist $k_{a,v}$ (in mm^3 / Nm) der Gleitverschleißkoeffizient und abhängig von den Eigenschaften der beiden Kontaktpartner. Der Verschleißfaktor $k_{a,v}$ berücksichtigt dabei eine Vielzahl von Eigenschaften, wie z.B. die Härte, die Form, die Größe und die Zerbrechlichkeit der Partikel sowie die Härte und die Rauheit der Bauteiloberfläche.

Eine Bestimmung des Gleitverschleißkoeffizienten kann beispielweise auf der Grundlage des Kontakts eines einzelnen Kornes mit einem Probenkörper durchgeführt werden [5, 6]. Dieser Test entspricht im Prinzip einem „Pin on Disc Test“, wie er für Festkörper nach DIN 50324 [5] und ASTM G99 [7] standardisiert ist. Da die Körnungseigenschaften innerhalb eines Schüttgutes stark variieren können, erfordert diese Vorgehensweise eine Vielzahl von Einzeluntersuchungen, um eine zuverlässige Aussage über einen gemittelten Verschleißkoeffizienten für das gesamte Schüttgut zu erhalten. Ein Nachteil ist zudem, dass die Körner für die Experimente an einem Probenhalter fixiert sind und eine freie Interaktion zwischen den einzelnen Körnern untereinander und mit der beanspruchten Oberfläche nicht berücksichtigt wird. Aufgrund der Blockierung des Rotationsgrades kann der geschätzte Verschleiß im Vergleich zu frei beweglichen Partikeln höher sein.

Auf Grund der genannten Einschränkungen des „Pin on Disc Tests“ sind Experimente zu bevorzugen, bei denen eine praxisnahe Interaktion zwischen dem Schüttgut und der Probe stattfindet, wie beispielsweise in [2, 8 – 11] dargestellt. Ähnlich wie bei den Untersuchungen am Einzelkorn beim „Pin on Disc Test“ werden die Randbedingungen (Normalkraft, Verschleißbereich, Geschwindigkeit) variiert und der makroskopische Abrieb (Volumen-/ Massenverlust) an einem Probekörper gemessen.

2.2 Prallverschleiß

Das Finnie-Modell [12, 13] wird häufig zur Beschreibung des abrasiven Prallverschleißes an duktilen Werkstoffen verwendet:

$$\Delta V_{\text{Prall}} = k_{f,v} m_p v_p^2 f(\alpha) \quad (\text{Gleichung 3})$$

mit:

$$f(\alpha) = \begin{cases} (\sin 2\alpha - 3 \sin^2 \alpha) \forall \alpha \leq 18,5^\circ \\ \left(\frac{1}{3} \cos^2 \alpha\right) \forall \alpha \geq 18,5^\circ \end{cases} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Hier ist m_p die Masse des Partikels, v_p ist die Aufprallgeschwindigkeit des Partikels und α ist der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung des Partikels und der Oberfläche (Abbildung 3). Der Parameter $k_{f,v}$ ist der Verschleißkoeffizient nach Finnie. Das Modell gibt an, dass der Volumenverlust des Aufpralls bei kleineren Aufprallwinkeln kritischer ist als bei größeren Aufprallwinkeln, da die einzelnen Körner eine Schneidbewegung in dem Grundkörper ausführen. Unter Berücksichtigung beider Modelle gilt der Gesamtverschleiß, der durch ein einzelnes Korn an einem Probekörper verursacht wird:

$$\Delta V_{\text{sum}} = \Delta V_{\text{Gleit}} + \Delta V_{\text{Prall}} \quad (\text{Gleichung 5})$$

Die Koeffizienten $k_{a,v}$ und $k_{f,v}$ werden im Allgemeinen durch experimentelle Untersuchungen bestimmt. Im Bereich der Schüttguttechnik existieren bisher keine standardisierten Vorgehensweisen für derartige Experimente. Eine Übersicht verschiedener Testmethoden ist u.a. in [6, 14, 15] zu finden.

3 Ermittlung der Verschleißkoeffizienten und Kalibrierung der DEM-Parameter

3.1 Experimentelle Bestimmung der Verschleißkoeffizienten

Der zur Bestimmung des abrasiven Gleitverschleißes entwickelte Prüfstand ist in Abbildung 4 dargestellt und basiert auf den bereits in [10, 11] beschriebenen Prüfständen. Der Prüfstand umfasst einen rotierenden ringförmigen Aufnahmetrog, in dem sich das Schüttgut befindet. Der Innendurchmesser beträgt 500 mm und der Außendurchmesser 1000 mm. Der Aufnahmetrog fördert das Schüttgut unterhalb der Verdichtungs- und den zwei Verschleißprobenplatten. Die Probenplatten sind über gegengewichtete Lastarme gelagert und können mit unterschiedlichen Gewichten belastet werden, um eine Normalkraft auf die Probenplatten zu erzeugen. Die maximale Geschwindigkeit beträgt 20 U/min bzw. 0,785 m/s. Das Schwert im Schüttgutstrom bewirkt eine konstante Umwälzung des Schüttguts, um eine gleichmäßige Durchmischung zu gewährleisten. Der Verschleiß der Verschleißproben wird durch Bestimmung des Massenverlustes in definierten Messintervallen gemessen.

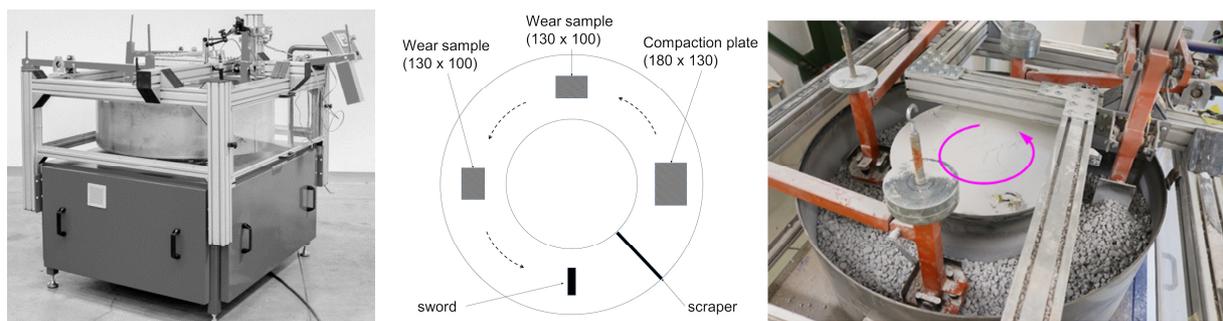


Abbildung 4: Verschleißversuchsstand (links), Prinzipskizze (mitte) und Experiment (rechts)

Im vorliegenden Fall werden die Untersuchungen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,315 m/s (8 U/min) durchgeführt. Die durchschnittliche Versuchsdauer beträgt 20 h, was einer Gesamtstrecke von ca. 25 km entspricht. In einem Messintervall von 4 h bzw. ca. 5 km werden die Proben ausgebaut, gesäubert, gewogen und so der Massenverlust bestimmt. Je Versuch werden zwei Verschleißproben unter unterschiedlichen Belastungen untersucht. Insgesamt werden somit vier Versuche für die Kombinationen aus zwei Schüttgütern, Kalkstein und Dolomit, und zwei Verschleißschutzmaterialien, hier als Probe X und Probe Y bezeichnet, durchgeführt. Die Versuchskombinationen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1 Übersicht der Versuchskombinationen

Versuch	Schüttgut	Probenmaterial	Belastung 1 [kg]	Belastung 2 [kg]
1	Kalkstein	X	2,65	4,39
2	Kalkstein	Y	2,71	4,55
3	Dolomit	X	2,65	4,39
4	Dolomit	Y	2,71	4,55

Die folgende Abbildung 5 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen für die Versuchskombinationen 1 und 2. Es ist zu erkennen, dass der gemessene Massenverlust im ersten Intervall größer ist als in den restlichen Intervallen, da es zu Beginn zu einem Einfahren der Proben kommt (Einlaufverschleiß). Da dieser Bereich für die Untersuchung des Langzeitverschleißes nicht relevant ist, werden lediglich die darauffolgenden Messintervalle berücksichtigt. Unabhängig von der auf die Proben einwirkenden Belastungen zeigen beide Diagramme eine nahezu lineare Abhängigkeit des kumulierten Massenverlustes von der Versuchsdauer. Die Steigung der Ausgleichsgeraden entspricht dabei der Verschleißrate [g/h] bezogen auf die jeweilige Probenplatte.

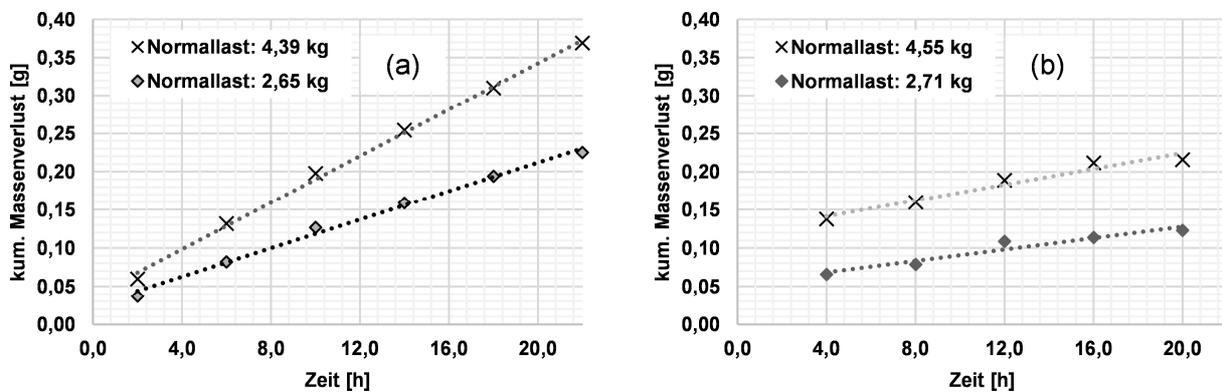


Abbildung 5: Experimentelle Verschleißuntersuchungen: (a) Kalkstein vs. Probe X, (b) Kalkstein vs. Probe Y

Durch Auftragen der Verschleißraten der vorherigen Diagramme und der Versuche (3) und (4) über die normale Belastung ergibt sich das in Abbildung 6 dargestellte Diagramm. Es ist zu erkennen, dass die Annahme einer linearen Abhängigkeit der Verschleißrate von der Normalbelastung im untersuchten Bereich als gültig betrachtet werden kann.

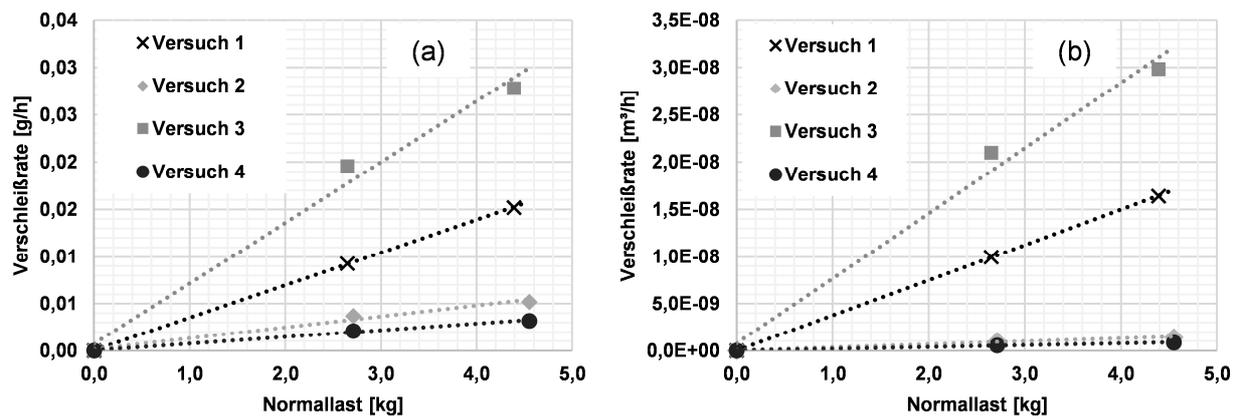


Abbildung 6: Verschleißraten der Probenmaterialien für Kalkstein und Dolomit bei unterschiedlichen Normallasten als (a) Massenverlust/Zeit und (b) Volumenverlust/Zeit

Für die praktische Dimensionierung ist eine Angabe der Verschleißrate in Masse pro Zeit offensichtlich nicht geeignet. Durch Berücksichtigung der Festkörperdichte der Verschleißprobenmaterialien erhält man die Verschleißraten in Volumen pro Zeit (Abbildung 6 b). Sie dienen in der folgenden Kalibrierung der Verschleißkoeffizienten für den Einzelkontakt zwischen einem Partikel und der Probe als Referenzwert.

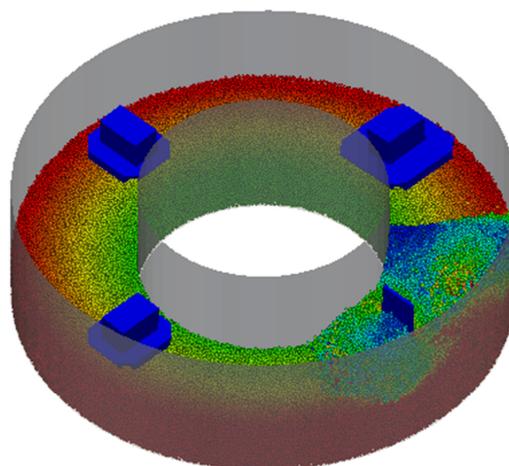
3.2 Kalibrierung der DEM Verschleißkoeffizienten

Bevor die Verschleißkoeffizienten für die verschiedenen Kombinationen aus Probenmaterialien und Schüttgütern bestimmt werden können, müssen zunächst die DEM-Parameter der Schüttgüter kalibriert werden. Die Kalibrierung der Schüttgutparameter erfolgt u.a. mittels Böschungswinkelversuchen, schiefer Ebene und Porositätsbestimmung. Die folgende Tabelle 2 zeigt als Ergebnis die für die Verschleißsimulationen verwendeten DEM-Inputparameter für Kalkstein. Weitere Grundlagen zur Vorgehensweise zur Bestimmung von DEM Parametern sind aus [16 – 22] zu entnehmen

Tabelle 2: Kalibrierte DEM-Simulationsparameter

Eigenschaft	Einheit	Kalkstein	Kommentar
Festkörperdichte	kg/m ³	2474	Auslitern
Scherr-Modul	Pa	10e+7	Reduziert
Poissonzahl	-	0,30	-
Rücksprungzahl	-	0,20	-
Gleitreibungskoeff. Partikel	-	0,60	Böschungswinkel
Rollreibungskoeff. Partikel	-	0,40	Böschungswinkel
Wandreibungskoeff. vs. Proben X	-	0,44	Schiefe Ebene
Wandreibungskoeff. vs. Proben Y	-	0,43	Schiefe Ebene
Wandreibungskoeff. vs. S235	-	0,26	Schiefe Ebene
Korndurchmesser	mm	4 - 20	Siebturm
Zeitschritt	s/Schritt	1,5e-5	-

Zur Durchführung der DEM-Kalibriersimulationen wird der Prüfstand im Maßstab 1:1 vereinfacht abgebildet. Abbildung 7 zeigt den Prüfstand im befüllten Zustand mit den Verschleißprobenplatten, der Verdichtungsplatte, dem Schwert und dem Abstreifer. Die Färbung der Partikel zeigt ihre aktuelle Geschwindigkeit an.



Partikelgeschwindigkeit: 0  > 0.425 m/s

Abbildung 7: Aufbau des Simulationsmodells des Verschleißprüfstands zur Kalibrierung

Die vertikale Belastung des Verschleißprobenplatten und der Verdichtungsplatte wird über eine gekoppelte DEM-MK-Simulation (Diskrete Elemente Methode + Mehrkörpersimulation) realisiert [23, 24]. In der Simulation können die Positionen und Winkeleinstellungen sowie die Belastungen der einzelnen Proben und die Geschwindigkeit des Troges direkt aus den Experimenten verwendet werden. Zur Kalibrierung des Verschleißes werden nach dem Aufsetzen der Probenplatten sechs Umdrehungen durchgeführt. Nach der ersten Umdrehung wird der Masse- oder Volumenverlust der einzelnen Verschleißprobenplatten ermittelt. Der Verschleiß der Platten wird für jeden einzelnen Kontakt eines Teilchens mit der Oberfläche der Platte zu jedem Zeitschritt gemäß Gleichung (3) berechnet.

Ziel ist es, den Gleitverschleißkoeffizienten $k_{a,p}$ des Kontakts eines einzelnen Partikels mit der Oberfläche der Verschleißprobenplatten zu kalibrieren. Die Referenzwerte für die Kalibrierung sind die experimentell ermittelten Verschleißraten unter Berücksichtigung aller Lastfälle. Durch systematische Anpassung des Verschleißkoeffizienten des Einzelkontaktes während der Kalibrierung kann die experimentelle Verschleißrate der Probenplatten nachgestellt werden. Diese Verschleißkoeffizienten können nachfolgend zur Simulation des Schiffsbeladers verwendet werden, um realitätsnahe Aussagen zur Verschleißentwicklung der einzelnen Komponenten zu treffen.

4 DEM-Simulation des Schiffsbeladers

Die folgende Abbildung 8 zeigt den Aufbau des Simulationsmodells des Schiffsbeladers. Die Einfärbung der Bauteile in der Abbildung 8 (a) kennzeichnet die verwendeten Verschleißschutzmaterialien. In der Gelenkschurre (oben) wird die Verwendung des Verschleißschutzmaterials X (Magenta) angenommen und für die Kaskadenschurre (unten) wird das Verschleißschutzmaterial Y (grün) verwendet.

Abbildung 8 (b) zeigt den Förderzustand nach einer Simulationszeit von 100 s. Die Einfärbung der Partikel repräsentiert deren Geschwindigkeit. Es ist zu erkennen, dass sich ein stationärer Förderzustand einstellt. Es kommt zu keiner Überschüttung oder Blockade innerhalb der Gelenk- oder der Kaskadenschurre. Das Schüttgut fließt gleichmäßig durch den Schiffsbelader und erzeugt eine stationäre Befüllung des Schiffsbodens.

Die Abbildung 8 (c) und (d) zeigen den Verschleiß in der Gelenk- und der Kaskadenschurre als kumulierten Höhenverlust nach einer Simulationszeit von 100 s. Anhand dieser Bilder können bereits erste Aussagen zur Verteilung des Verschleißes getroffen werden. Die Einfärbung der Geometrie repräsentiert dabei den absoluten Verschleiß. Während eine blaue Einfärbung kennzeichnet, dass kein Verschleiß zu erwarten ist, sind die Bereiche mit hohem zu erwartenden Verschleiß rot markiert. In der Gelenkschurre sind bereits deutlich Unterschiede im Verschleiß für die einzelnen Bauteile zu erkennen, sodass eine entsprechende Dimensionierung des Verschleißschutzes für die einzelnen Bauteile sinnvoll erscheint.

Der Bereich des Aufpralls des Schüttgutstroms auf die Prallwand ist dabei am stärksten beansprucht. In der Kaskadenschurre hingegen ist über alle Kaskaden eine gleichmäßige Ausprägung des Verschleißes zu erkennen.

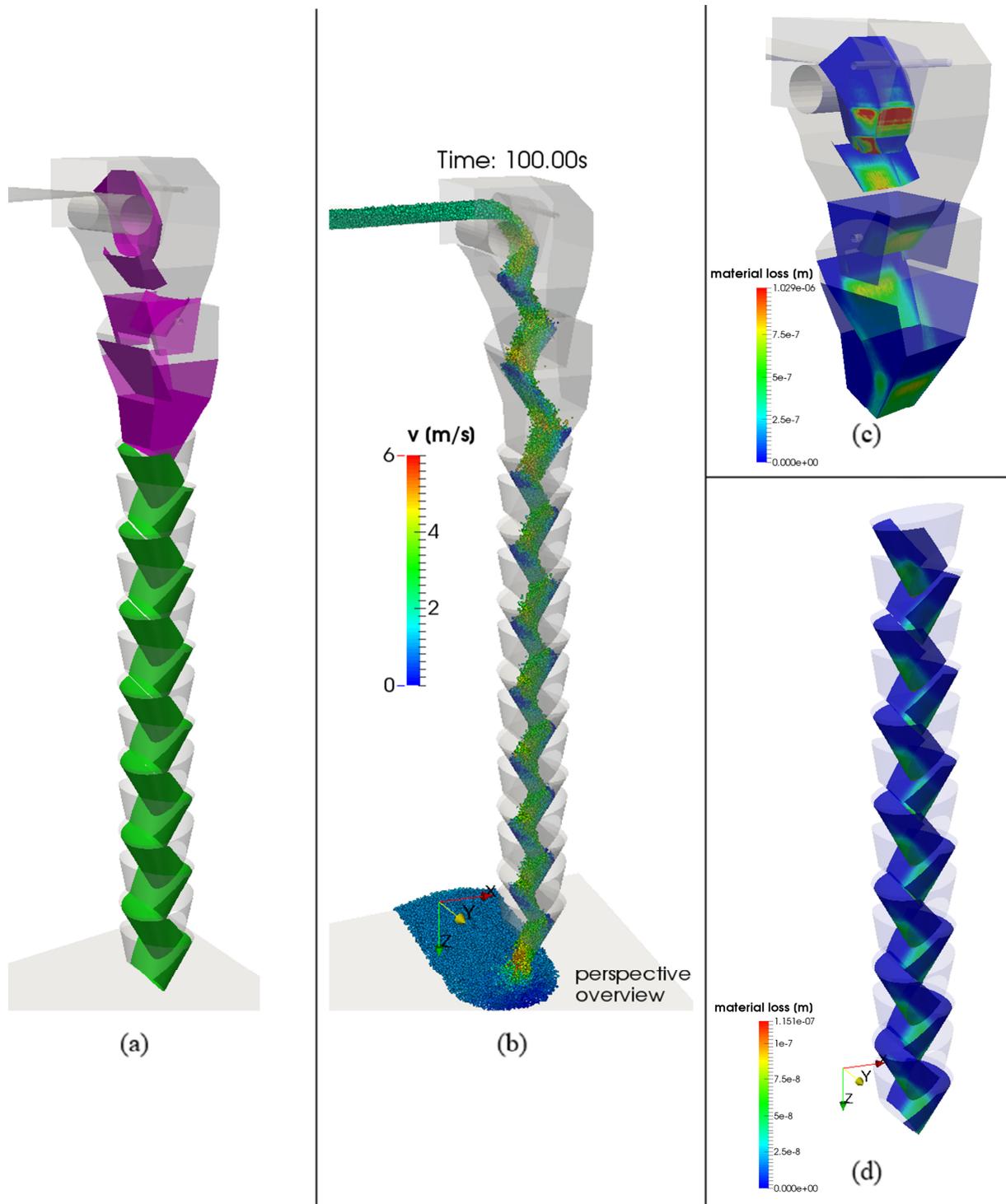


Abbildung 8: Aufbau des Simulationsmodells des Schiffsbeladers: (a) Auskleidung der Bauteile: magenta: Probenmaterial X, grün Probenmaterial Y; (b) stationärer Förderzustand nach 100 s; (c) Anlagenverschleiß nach 100 s

Die folgende Abbildung 9 zeigt exemplarisch den entstandenen Verschleiß an der Prallwand innerhalb der Gelenkschurre nach einer Simulationszeit von 100 s. Bei der Prallwand ist zu erkennen, dass der Verschleiß am zentralen Aufprallpunkt des Schüttgutes am oberen Ende des mittleren Bleches am größten ist. Der Verschleiß in den grün markierten Bereichen ist im Vergleich dazu lediglich halb so groß. Des Weiteren ist zu erkennen, dass sowohl im oberen Bereich als auch am unteren zentralen Blech der Prallwand nahezu kein Verschleiß zu erwarten ist und der Verschleißschutz an diesen Stellen weniger stark dimensioniert werden muss. Entsprechend des Verschleißbildes kann somit die Dimensionierung des Verschleißschutzes für die einzelnen Elemente erfolgen.

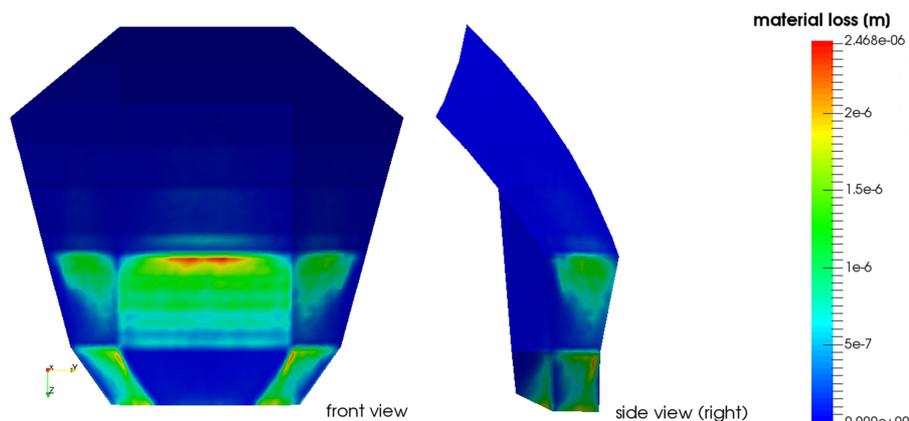


Abbildung 9: Verschleiß der Prallwand nach einer Simulationszeit von 100 s

Im Gegensatz zu der Prallwand zeigen die Kaskadenelemente einen gleichmäßigeren Verschleiß in den Bereichen, in denen sie mit dem Schüttgut während der Förderung im Kontakt stehen (Abbildung 10). Die maximale Verschleißausprägung befindet sich jeweils im Zentrum der Kaskadenelemente. An diesen Stellen fließt der Hauptmassenstrom des Schüttgutes und nimmt nach außen hin ab.

Eine weitere starke Verschleißausprägung ist im unteren Auslaufbereich der Kaskadenelemente zu erkennen, in dem das Schüttgut diese verlässt. Das Verschleißbild ermöglicht es auch hier eine gezielte Auskleidung der Kaskadenelemente vorzunehmen. Im Gegensatz dazu können dunkelblau gefärbte Bereiche mit einer weniger stark ausgeprägten Verschleißschutzverkleidung dimensioniert werden.

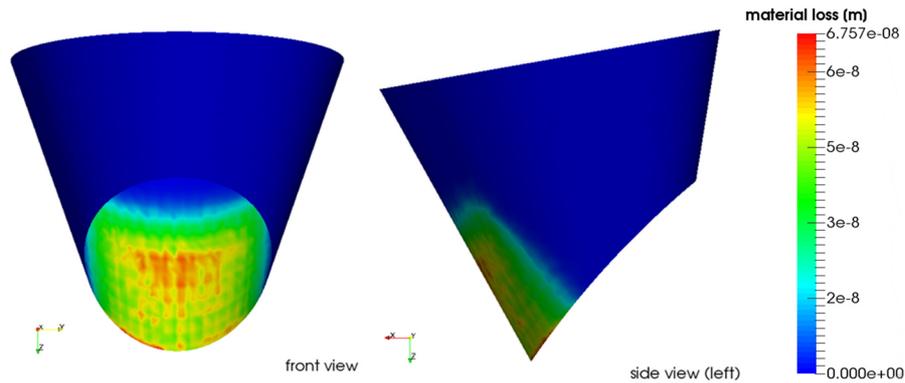


Abbildung 10: Verschleiß an einem einzelnen Kaskadenelement nach einer Simulationszeit von 100 s

Anhand der Simulationsbilder ist es somit möglich, Bereiche mit hohem Verschleiß und niedrigem Verschleiß zu identifizieren. Für die praktische Auslegung der Stärke des Verschleißschutzes sind wiederum statt des absoluten Verschleißes die Verschleißraten an den einzelnen Komponenten heranzuziehen. Die folgende Tabelle 3 zeigt die Verschleißraten der Prallwand und der Kaskade bezogen auf einen Monat. Dabei werden beispielhaft Auslastungen von 100 % und 50 % angenommen. Eine Auslastung von 100 % entspricht dabei einem 24 h Betrieb des Schiffsbeladers an sieben Tagen in der Woche. Dieser Anwendungsfall ist für einen Schiffsbelader nicht realistisch, sodass die Verschleißraten für den industriellen Anwendungsfall entsprechend der tatsächlichen Auslastung proportional skaliert werden müssen.

Tabelle 3: Verschleißraten der Bauteile als Höhenverlust bei Auslastungen von 100% und 50% des Schiffsbeladers

Bauteil	Verschleißschutz	Max. Verschleiß (lokal limitiert)		Mittlere Verschleiß (der beanspruchten Bereiche)	
		[mm / Monat]		[mm / Monat]	
		100 %	50 %	100 %	50 %
Prallwand	X	63,97	31,99	38,88	19,44
Kaskade	Y	2,98	1,49	1,75	0,87

Die Verschleißraten zeigen zum einem, dass der Verschleißschutz in der Prallwand bei Verwendung des Materials X deutlich stärker dimensioniert werden muss, um die gleichen Standzeiten wie der Verschleißschutz Y in den Kaskaden zu erreichen. Der Einsatz eines anderen Verschleißschutzmaterials in der Gelenkschurre sollte in Betracht gezogen werden.

Zum anderen ist zu erkennen, dass der maximale Verschleiß in den kritischen Bereichen in beiden Fällen um ca. 70 % größer ist als der durchschnittliche Verschleiß. Auf Basis dieser Daten kann eine verschleißgerechte lokale Dimensionierung der Verschleißschutzauskleidung erfolgen, sodass bei einer Instandsetzung alle Bereiche ihren jeweiligen kritischen Zustand erreicht haben und eine Erneuerung der gesamten Verschleißschutzauskleidung sinnvoll ist. Durch dieses Vorgehen ist ein ressourcenschonender und wirtschaftlicher Einsatz der Materialien möglich, und zusätzliche Stillstandzeiten der Anlage werden vermieden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde anhand eines Industrieprojektes gezeigt, wie mit Hilfe der Diskrete Elemente Methode eine Verschleißanalyse am Beispiel eines Schiffsbeladers durchgeführt werden kann. Durch die Simulationen können sowohl qualitative Aussagen bezüglich der Lage von kritischen Verschleißzonen als auch quantitative Aussagen bezüglich der zu erwartenden Standzeiten getroffen werden. Als Referenz für die Kalibrierung der Verschleißkoeffizienten in der Simulation wurden praxisnahe, experimentelle Untersuchungen unter Verwendung projektspezifischer Schüttgüter und Wandproben vorgestellt. Anhand dieses systematischen Vorgehens ist es möglich auch für andere Anwendungsfälle entsprechende Vorhersagen zu Verschleißerscheinungen und Standzeiten zu treffen. Auf Basis der so gewonnen Daten können neben der hier vorgestellten Verschleißvorhersage für bestehende Geometrien auch Anpassungen der Geometrien bezüglich einer Verschleißminimierung durchgeführt werden. Somit kann in Zukunft bereits während der Konstruktionsphase ein ressourcenschonender und wirtschaftlicher Einsatz von meist kostenintensiven Verschleißschutzmaterialien realisiert werden.

6 Quellen

- [1] Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), DIN 50320: Verschleiß; Begriffe, Systemanalyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes, 12th ed., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1979.
- [2] D. Forsström, Numerical prediction of wear in industrial raw material flow, Luleå, 2014.
- [3] J.F. Archard, Surface topography and tribology, Tribology 7 (1974) 213–220.
- [4] J.F. Archard, Contact and rubbing of flat surfaces, Journal of Applied Physics 24 (1953) 981–988.
- [5] Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), DIN 50324: Tribologie; Prüfung von Reibung und Verschleiß; Modellversuche bei Festkörpergleitreibung (Kugel-Scheibe-Prüfsystem), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1992.
- [6] G. Chen, Surface wear reduction of bulk solids handling equipment using bionic design, TRAIL, Delft, The Netherlands, 2017.
- [7] G02 Committee, Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [8] T. Rößler, A. Katterfeld, Investigations on the quantitative determination of abrasive wear using the discrete element method, Logistics Journal 2017 (2017).
- [9] T. Rößler, A. Katterfeld, Development of a standardized procedure for the calibration of DEM abrasive wear simulations, CHoPS 2018 : 9th International Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids : at the Greenwich Maritime Campus, London, 10-14 September 2018 (2018).

- [10] S.J. Wiche, Keys, S., A.W. Roberts, Abrasion wear tester for bulk solids handling applications, *Wear* 258 (2005) 251–257.
- [11] Wiche, S.J., Prediction of lining wear life of bins and chutes in bulk solids handling operations, *Tribology International* 26 (1993) 345–351.
- [12] I. Finnie, Some observations on the erosion of ductile metals, *Wear* 19 (1972) 81–90.
- [13] I. Finnie, Erosion of surfaces by solid particles, *Wear* 3 (1960) 87–103.
- [14] K.-G. Scholz, *Tribologie der Elastomere: Anwendungs- und Prüftechnik des elastomeren Verschleißschutzes*, Gupta, Ratingen, 2006.
- [15] www.engineerdo.com, 2020.
- [16] C.M. Wensrich, A. Katterfeld, Rolling friction as a technique for modelling particle shape in DEM. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2011.10.057>.
- [17] Wheeler, Craig, Chen, Bin, Hu, Jiquan, Chen, Kaikai, W. Chen, Calibration and verification of DEM parameters for dynamic particle flow conditions using a backpropagation neural network, *Advanced Powder Technology* 30 (2019) 292–301.
- [18] C. Richter, T. Rößler, G. Kunze, A. Katterfeld, F. Will, Development of a standard calibration procedure for the DEM parameters of cohesionless bulk materials – Part II: Efficient optimization-based calibration, *Powder Technology* 360 (2020) 967–976.
- [19] T. Roessler, C. Richter, A. Katterfeld, F. Will, Development of a standard calibration procedure for the DEM parameters of cohesionless bulk materials – part I: Solving the problem of ambiguous parameter combinations, *Powder Technology* 343 (2019) 803–812.
- [20] P.W. Cleary, M.L. Sawley, DEM modelling of industrial granular flows: 3D case studies and the effect of particle shape on hopper discharge, *Applied Mathematical Modelling* 26 (2002) 89–111.
- [21] C.J. Coetzee, Calibration of the discrete element method and the effect of particle shape, in: *Proceedings of the 10th South African Conference on Computational and Applied Mechanics, SACAM 2016*, 2016.
- [22] C.J. Coetzee, Review: Calibration of the discrete element method, *Powder Technology* 310 (2017) 104–142.
- [23] G. Kunze, A. Katterfeld, C. Richter, H. Otto, C. Schubert, Plattform- und softwareunabhängige Simulation der Erdstoff-Maschine Interaktion, *Fachtagung Baumaschinentechnik 2012 : Energie, Mechatronik, Simulation ; [20.-21. September 2012, Dresden] ; Tagungsband (2012) 251–262*.
- [24] W. Chen, M. van Etten, T. Donohue, K. Williams, Application of the coupled discrete element modelling and modelica based multi-body dynamics in system-level modelling, in: *Springer Proceedings in Physics*, vol. 188, 2017, pp. 571–578.

André Katterfeld**Thomas Rößler**

thomas.roessler@ovgu.de

Otto-von-Guericke-
Universität Magdeburg
Lehrstuhl Förder- und
Materialflusstechnik
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

Mathias Dratt**Hendrik Otto**

IBAF
Institut für Baumaschinen,
Antriebs- und
Fördertechnik GmbH
Listemannstr. 10a
39104 Magdeburg

Moritz Kerler

Quarry Mining LLC
PO Box 9593
Ras Al Khaimah
UAE

Heiko Köther

FAM
Magdeburger Förderanlagen
und Baumaschinen GmbH
Sudenburger Wuhne 47
39112 Magdeburg

Matthew Barnard

Cleveland Cascades Ltd
Unit 22, Dukesway
Teesside Industrial Estate
Thornaby
Stockton-on-Tees
Cleveland
TS17 9LT
United Kingdom

Kiepe Schnellspann-System - schneller, simpler, sicherer

B. Sacha

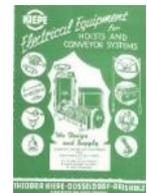
Kiepe Electric GmbH

Wer ist die Kiepe Electric GmbH?

1906 wurde das Unternehmen von Theodor Kiepe als Spezialwerkstatt für Bogenlampen in Düsseldorf gegründet. Das Produktprogramm wurde auf Schalter, Kontaktmaterial und komplette Controller für Walzwerke, Schalter, Widerstände, Relais und sonstige Geräte für den Nahverkehr erweitert.



Nach dem zweiten Weltkrieg konzentrierte sich das Unternehmen auf die Wiederherstellung von Fahrleitungen, Fabrikation von Ausrüstungen für Grubenlokomotiven, Kräne und Industrieanlagen sowie Traktionsausrüstungen von Oberleitungsbussen und Straßenbahnen. Zwischen 1950 und 1970 wurden die Weichen für Produkte für Transport und Verkehr gestellt und der weltweite Vertrieb der Kiepe-Produkte ausgebaut. In dieser Zeit etablierte sich neben den Produkten für den Nahverkehr die Sparte der Industriegeräte für die Fördertechnik unter dem Markennamen Kiepe und Kiepe Elektrik.



Von 2003 bis 2017 gehörte Kiepe zur Vossloh AG. Dadurch konnte das Produktprogramm auf Komponenten für die Bahn erweitert werden. Mit der Firmenübernahme durch den Knorr-Bremse Konzern 2017 wurde die "Vossloh Kiepe GmbH" in "Kiepe Electric GmbH" umbenannt. Die alten Markennamen "Kiepe" und "Kiepe Elektrik" blieben aber erhalten. Die Marke „Kiepe Elektrik®“ ist heute Markenzeichen für qualitativ hochwertige und zuverlässige Überwachungsgeräte der Fördertechnik. Diese Sparte nennt sich Kiepe-Industriegeräte und hat eine eigene Webseite unter www.kiepe-elektrik.com.



Zu den Kiepe-Industriegeräten gehören robuste Seilzugschalter, Schieflauf- und Endschalter, Drehzahlüberwachungsgeräte und Sensoren, einfache Gurtrissüberwachung und Zubehör, die viele Jahre und Jahrzehnte zuverlässig in den rauen Umgebungen in Steinbrüchen, Gruben, Kraftwerken, Zement und Gips oder Recyclinganlagen arbeiten.



1 Die Motivation - Kiepe-Schnellspannsystem



Kiepe-Seilzugnotschalter sind Sicherheitsbauteile nach Maschinenrichtlinie 2006/42 EU und werden seit vielen Jahrzehnten als bewährte Not-Halt-Geräte mit Verrastfunktion als ergänzende Schutzmaßnahme an Förderbandanlagen vorwiegend in der Außenanwendung eingesetzt.

Man nutzt diese Schalter, weil man mit nur einem Schalter den Nothalt über mehr als 100 m Maschinenstrecke auslösen kann. Dies ist möglich, weil an dem Schalter eine Reißleine installiert wird.

In der Vergangenheit wurde die Reißleineninstallation als Zusammenstellen von Montagezubehör verstanden, die der Kunde selbst installiert. Sie erfüllt aber auch wichtige Funktionen in Kombination mit dem Seilzugnotschalter.

Zurzeit ist die Montage des Reißleinenystems sehr aufwändig und wichtige Normvorgaben sind den Anwendern auch unbekannt. Durch ein Groß-Projekt in Australien wurden wir inspiriert, die Montage des Reißleinenystems zu verbessern, um sie schneller, simpler und sicherer zu gestalten

2 Das Ziel – Kiepe-Schnellspannsystem



Ziel dieses Beitrags ist, über den Sinn und Nutzen eines Reißleinsystems zu informieren.

Über ein Praxisbeispiel an einem Long-Distance-Conveyor sollen die Probleme erläutert werden, die sich durch weite, lange Installationsstrecken in der Außenanwendung ergeben und auch die normativen Rahmenbedingungen kurz anreißen.

Dabei wird auf die Unterschiede zwischen Schaltern mit integrierter Seilbruchererkennung und 1-seitiger Reißleineninstallation und Kiepe-Schaltern mit symmetrischer 2-seitiger Reißleineninstallation kurz eingegangen.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich dann aber ausschließlich auf die symmetrische, 2-seitige Reißleineninstallation.

Zuletzt sollen die Schnellspannkomponenten erläutert werden. Im Unterschied zu einer herkömmlichen, symmetrischen Reißleineninstallation, bei der die Reißleine am Seilzugnotschalter getrennt und je Reißleineinabschnitt separat gespannt wird, erfolgt die Installation im Schnellspannsystem durchgängig. Die Reißleine wird erst installiert und gespannt und erst dann wird der Seilzugnotschalter wie an einer Wäscheleine an die gespannte Reißleine angeklemt.

Die Änderung des Montageprozesses und die Modifikationen der benötigten Komponenten, die im letzten Abschnitt vorgestellt werden, machen die Installation deutlich schneller, einfacher und sicherer.

3 Sinn und Nutzen von Sicherheitsreißleinensystemen



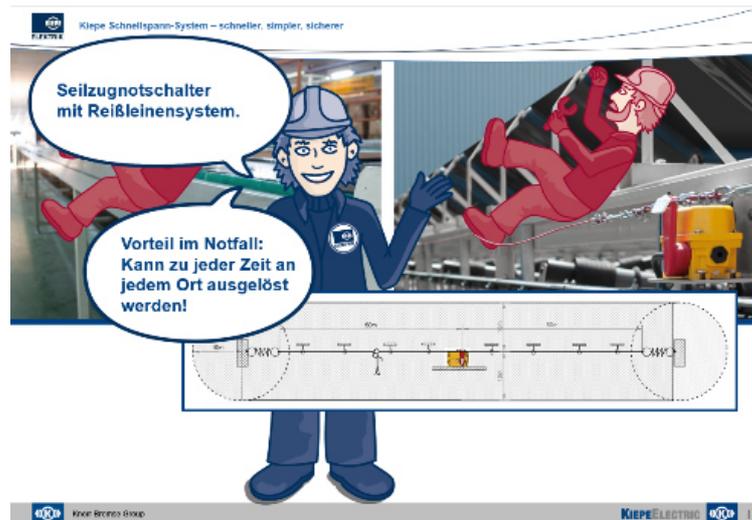
3.1 Der Maschinen-Nothalt (Dreh/Druckschalter)

Dieser Schaltertyp wird an Maschinen als ergänzende Schutzmaßnahme zum Schutz der Anlage oder der Bedienperson installiert. Er verhindert keinen Unfall, mindert aber im Notfall die Folgen. Der Maschinen-Not-Halt wird in der Regel durch Drücken oder Drehen eines Stellteils wie z.B. Drehhebel oder Pilzkopf ausgelöst.

Gemäß der Sicherheits- und EMV-Norm EN 620 für ortsfeste Stetigförderer müssen dort eingesetzte Not-Halt-Schalter innerhalb von 10 m an der Förderbandanlage erreichbar sein. Das bedeutet, dass um jeden Schalter ein Sicherheitsbereich in Form eines Kreises von 10 m entsteht. Für einen durchgängigen Sicherheitsbereich müssen die Schalter im Abstand von 10 m installiert werden.

Bei einem Notfall muss eine Person im ungünstigsten Fall deshalb 5 m Weg zu einem der Schalter laufen, um den Not-Halt auszulösen. Usain Bolt würde die Strecke vermutlich in 0,1 s schaffen, wenn er bereits warmgelaufen ist (lt. Wikipedia 100 Meter in 9,58 Sekunden). Leider sind wir alle keine Usain Bolts und warten auch nicht gespannt auf die nächste Notsituation wie er in den Startblöcken. So wird Mann/Frau 1 – 2 Sekunden benötigen, um zu reagieren, zu laufen, zu betätigen, um dann die Anlage zu stoppen.

Ein Förderband mit einer durchschnittlichen Fördergeschwindigkeit von 2 – 5 m/s hätte innerhalb 1 Sekunde aber bereits einen großen Menschen vollständig eingezogen. Man könnte natürlich auch 5x mehr Maschinennothaltsschalter in Meter-Abständen (z.B. Armlängen) installieren. Das wäre aber in jedem Fall unwirtschaftlich.



3.2 Der Seilzugnotschalter

Der Sicherheitsbereich von Seilzugnotschaltern ist anders als bei Maschinen-Nothalt-Schaltern/Tastern.

Da die Reißleine das verlängerte Stellteil des Not-Haltschalters ist, erstreckt sich der Sicherheitsbereich von 10 m lückenlos über die gesamte Reißleineninstallationsstrecke. Nur im Bereich der externen Federn¹ entsteht eine kleine Lücke von ca. 1 – 1,5 m.

Im unmittelbaren Gefährdungsbereich kann mit nur einem Schalter eine viel größere Strecke kontinuierlich abgesichert werden.

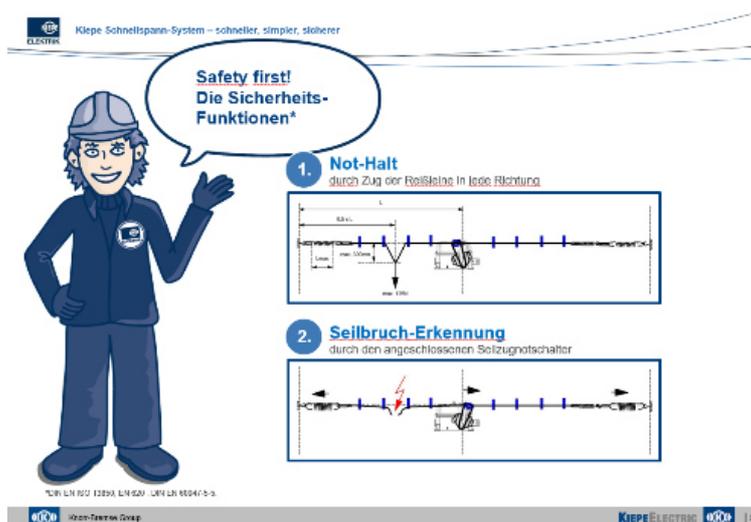
Die Reißleine wird in unmittelbarer Nähe der Förderbandanlage installiert.

Dabei sind nach EN 620 die Vorgaben für die Installationshöhen von minimal 0,6 m bis maximal 1,7 m zu beachten, die von der Oberfläche aus gemessen werden, auf der das Bedienpersonal steht.

Da die Gefährdung hauptsächlich in unmittelbarer Nähe des bewegten Fördergurtes entsteht, ist die Position der Reißleine sehr günstig, weil sie parallel entlang des Bandes installiert wird und jederzeit gegriffen werden kann.

¹ Bemerkung: Welche Funktion die externen Federn haben, wird später erläutert. In der Folie ist ein Seilzugnotschalter für die symmetrische, zweiseitige Reißleinenmontage dargestellt. Es gibt auch Seilzugnotschalter mit einseitiger Reißleineninstallation, die ein etwas anderes Funktionsprinzip haben.

4 Die Sicherheitsfunktionen



Die „Sicherheitsfunktionen“ für ein Not-Haltsystem werden von verschiedenen Komponenten des Sicherheitskreises realisiert. Mit Sicherheitskreis ist die vollständige Verdrahtung und Installation aller an der Not-Halt-Funktion beteiligten Komponenten gemeint, wie z.B. die Schalter und Sensoren, die manuell betätigt das Not-Haltsignal auslösen, die verarbeitenden Geräte wie z.B. Schütze oder Steuerungen, zusätzlich die Programmierung oder /und das Verdrahtungskonzept.

Betrachtet man ausschließlich den Seilzugschalter als Signalgeber/Sensor für den restlichen Not-Halt-Sicherheitskreis, so hat er folgende Sicherheitsfunktionen zu erfüllen.

- Not-Halt bei Zug an der Reißleine in jede Richtung
- Seil-/Reißleinenbruchererkennung
- Verrastung mit manueller Rückstellung

Not-Halt-Geräte mit Verrastfunktion müssen die Designvorschriften der harmonisierten EU-Norm DIN EN ISO 13850 erfüllen.

Die Sicherheitsfunktion „Verrastung mit manueller Rückstellung“ ist Bestandteil des Designs des Schalters und hat mit dem Reißleinenensystem keine Berührungspunkte.

Es bleiben also nur die zwei Sicherheitsfunktionen „Not-Halt“ und „Seilbruchererkennung“ für die Reißleineninstallation übrig.

Um die Anforderungen an das Reißleinenensystem abzuleiten, müssen mehrere Normen herangezogen werden (EN 620, DIN EN (IEC) 60947-5-5; DIN EN ISO 13850). In jeder dieser Normen stehen Teilaspekte für die Reißleineninstallation.

Wichtig sind vor allem die Auslösekraft und der Weg, die an der Reißleine mittig zwischen zwei Führungen notwendig sind, um den Seilzugnotschalter auszulösen. Dabei ist die Messposition auf der Hälfte der Reißleinen-Installationslänge je Schalterseite festgelegt.

Die Normen EN 620 und DIN EN 60947-5-5 weichen leider in den Werten voneinander ab (EN 620: 125 N, 300 mm; DIN EN 60947-5-5: 200 N, 400 mm)

Kiepe erfüllt mit seinen Schaltern und den Installationskomponenten des Reißleinen-Systems die härteren Vorgaben der EN 620 (125 N; 300 mm).



5 Pilbara-Australien

Im Nord-Westen von Australien liegt die Region Pilbara. Dort wird Eisenerz im Hinterland abgebaut und über Land für die Bearbeitung und Weiterverladung über lange Förderbandanlagen (20 km) an die Küste transportiert.

Vor 10 Jahren sollte Kiepe für ein namhaftes Unternehmen in der Eisenerzförderung eine störungsfreie 2x 100 m Not-Haltstrecke für die Außenanwendung in Australien vorschlagen. Grund dafür war, dass die von diesem Unternehmen bisher eingesetzten Schalter wegen der vorherrschenden Temperaturschwankungen ständig ausgelöst haben, ohne dass ein Not-Halt ausgelöst worden ist. Das hat zu hohen Standzeiten geführt und Serviceteams mussten an den Ort fahren, um den Schalter zurücksetzen („Manuelle Rückstellung“).



Da in Europa solche langen und geraden Bandanlagen nicht verkauft werden und Kiepe bis dato nur Erfahrungen bis 2x 50 m Installationen hatte, war dies eine neue Herausforderung.

Das Problem war weniger, den richtigen Schalter auszuwählen, sondern das zugehörige Reißleinen-system korrekt auszulegen, um die Seilbruchererkennung und die Temperatur-kompensation sicherzustellen. Deshalb wurde eine 2x 100 m Installation mit einem Seilzugnotschalter Typ HEN in Deutschland aufgebaut, um unsere Annahmen zu bestätigen.

5.1 Extreme Strecke

Dies bedeutet, dass 100 Schalter mit 20 km Reißleine montiert werden müssen. Das sind viele Laufwege und auch viele Installationskomponenten, die an den Montageort transportiert werden müssen. Dazu muss auch das erforderliche Werkzeug mitgenommen werden.

Deshalb war es auch ein Ziel der Untersuchungen, einfachere Montagelösungen für die Reißleineninstallation zu finden, die die Laufzeiten verkürzen, schneller, robust und sicher und mit wenig Werkzeug installiert und justiert werden können.

5.2 Extreme Temperaturschwankungen

Das Reißleinen-system muss unempfindlich gegen die Längenänderungen sein, die sich unter den australischen Bedingungen einstellen, weil sich eine 100 m Reißleine mit Stahlkern theoretisch von der Montagetemperatur betrachtet 48 mm verlängern oder verkürzen kann. Dies hat in den alten Installationen mit Wettbewerbsprodukten zu temperaturbedingten unerwünschten Produktionsunterbrechungen geführt.

Das richtige Seilzugnotschalterkonzept für große Temperaturschwankungen ist schnell gefunden:

Die zweiseitige, symmetrische Reißleineninstallation. Dabei kompensieren große, externe Federn die Reißleinenlängenänderungen (in unserem Fall mind. 48mm je Seite). Die externen Federn müssen so stark und lang sein, dass selbst bei schlaffem Seil genügend Kraft vorhanden ist, um die Seilrisserkennung über den Seilzugnotschalter sicherzustellen.

Schalter mit einseitiger Reißleineninstallation reagieren unmittelbar auf die Längenänderung der Reißleine, weil Ihr Auslösemechanismus in Reihe mit der Reißleine aufgebaut ist. Auch sie arbeiten mit Federn. Diese sind aber nicht lang genug, um diese temperaturbedingte Längenänderung zu kompensieren. Zudem würde dies zu einem unzulässig hohen Betätigungsweg führen. Und damit wären wir beim dritten Punkt.

5.3 Extreme Anforderungen

Es gibt Normforderungen, die die maximalen Betätigungskräfte und Wege an der Reißleine vorschreiben. Jeder Hub mehr, jede Kraft mehr, die aufgewendet werden muss, erhöht das Risiko, dass die Normforderungen nicht eingehalten werden können.

In einer Reißleineninstallation müssen deshalb Auslenkwege der externen Federn durch Hubbegrenzungen verkürzt werden. Die Kräfte in der Installation werden durch die Federn, die Auslösekraft des Schalters und die Abstände der Führungselemente der Reißleine bestimmt.

Das Projekt Pilbara hat uns dazu motiviert, nach einer Verbesserung des aktuellen Reißleinen-Installationsverfahrens zu suchen, das schneller, simpler und sicherer ist als die bisherige Installationsmethode.

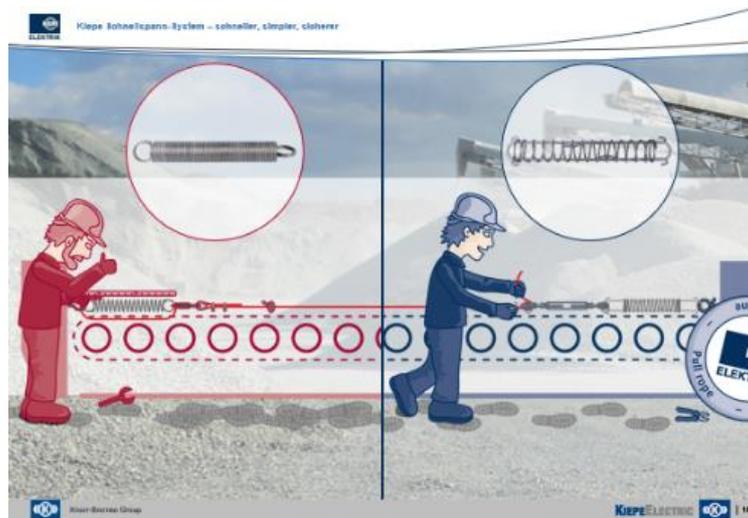
Die Installation sollte möglichst mit einer Person zu bewältigen und mit wenigen Komponenten und Werkzeug zu realisieren sein über eine Installationsstrecke je Schalter von 2x 100 m, d.h. einer Wegstrecke von 2 Fußballfeldlängen.

6 Herkömmliches System vs. Kiepe-Schnellspannsystem

In den folgenden Folien werden die Komponenten des herkömmlichen Systems mit dem roten Team (links), die Komponenten des Schnellspannsystems mit dem blauen Team (rechts) vorgestellt und erläutert.

Die wesentlichen Unterschiede der beiden Installationsverfahren der Reißleine sind, dass beim herkömmlichen System die Reißleine am Schalter getrennt wird, beim Schnellspannsystem wird die Reißleinen durchgängig montiert und der Schalter erst zum Schluss wie an einer Wäscheleine angeklemt.

Da die Klemmstelle am Seilzugschalter sicherheitsrelevant ist, muss der Klemmstelle besondere Beachtung geschenkt werden.



Wir haben gelernt, dass die externen Kompensationsfedern zwei Funktionen erfüllen müssen:

- Temperaturlängenkompensation und
- ausreichende Kraft für die Seilbruchererkennung bereitstellen.

Das bedeutet, dass die Federn auf die richtige Länge gespannt werden müssen, damit sie nach der Installation bei den erwarteten Temperaturänderungen immer noch genug Restkraft haben, um die Seilbruchererkennung auszulösen.

Im herkömmlichen System muss eine Person einem Kollegen am entfernten Seilzugschalter mitteilen, dass die korrekte Spannweite erreicht wurde. Dazu benötigt er ein Messmittel. Es wird zudem eine Hubbegrenzung eingesetzt, um den Betätigungsweg in der Reißleine zu reduzieren und die Feder gegen Überlast zu schützen.

Im Schnellspannsystem wird eine Zugdruckfeder eingesetzt.

Eine Kerbe im Federbügel zeigt die korrekte Einstellung an (Indikator). Ein Messmittel ist nicht mehr erforderlich. Da die Zugdruckfeder bei Zug immer stärker wird und einen natürlichen Endanschlag hat, ist zudem keine Hubbegrenzung zum Schutz erforderlich. Der Vorteil ist, dass weniger Montagezeit aufgewendet werden muss. Zudem haben wir im Projekt Pilbara eine stärkere Feder einsetzen können, so dass die Führungsabstände von 2,5 m auf 3,5 m erhöht werden konnten. Dies bedeutet weniger Montagematerial über die gesamte Installationsstrecke.



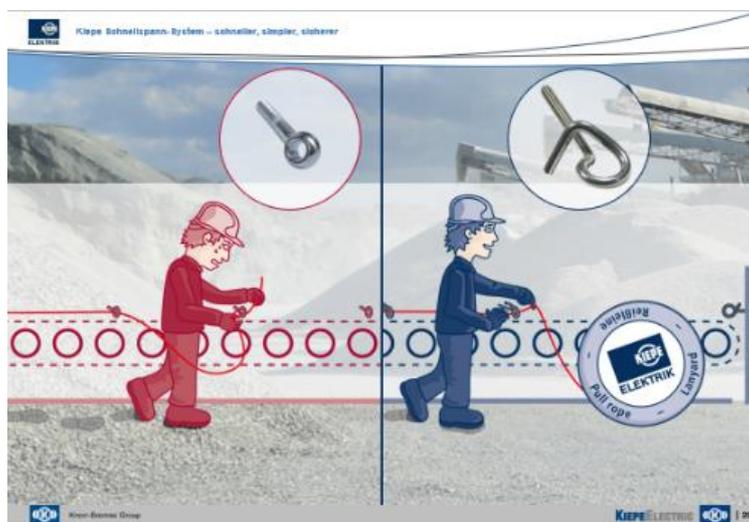
Schauen wir ein wenig detaillierter auf den Spannungsprozess der Reißleine.

Zum Schutz der Reißleinenenden gegen Knick-Bruch werden Kauschen eingesetzt. Diese können an losen Enden einfach montiert werden. Damit man sie verliersicher an einem für die Fein-Justage erforderlichen Spannschloss anbringen kann, müssen „Kettennotglieder“ eingesetzt werden. Das Spannen der Reißleine erfolgt zunächst grob durch Zug an der Reißleine gegen die Federkräfte und vor der Befestigung des Reißleinen-Endes. Da das Reißleinen-Ende über eine Kausche geführt wird, dreht sie sich beim Spannen aber mit und muss ständig positioniert werden. Das erhöht den Montageaufwand deutlich und ist sehr unkomfortabel.



Die Lösung war sehr einfach. Das alte Spannschloss Öse-Öse, Kettennotglied und Kausche wurden ersetzt durch nur eine Komponente: das Schnellspannschloss. Das Edelstahlspannschloss hat leicht zu öffnende Gabeln, eine eingebaute Spannrolle sowie einen Verdrehschutz. Die Spannrolle hat den Durchmesser einer Kausche und unterstützt beim Spannen der stumpfen Reißleine mit Ummantelung deutlich.

Die Reißleine kann bequem über das Schnellspannschloss gespannt und anschließend mit Seilklemmen fixiert werden. Dies bedeutet: weniger Teile, schnellere Montage und einfacheres Spannen bei höherer Betriebssicherheit.

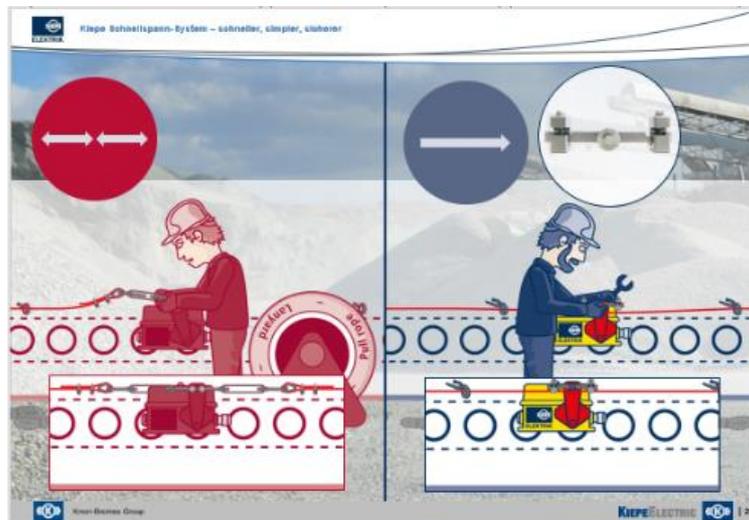


Im Betrieb darf sich die Reißleine nicht aushängen oder verknoten, damit der Not-Halt immer ausgelöst werden kann. Die sicherste Methode ist, die Reißleine in einer geschlossenen Öse mit „Augenschrauben“ (Rotes Team Bildkreis) zu führen. Jedoch ist dies bei der Montage oder bei einem Austausch der Reißleine mühsam, weil das Reißleinenende durch jede Öse gefädelt werden muss. Im bauen Schnellspann-Team wird ein „Sicherheitsankerhaken“ eingesetzt.



Der Sicherheitsankerhaken besitzt ein um 90° gewinkeltes Ende. Somit kann die ungespannte Reißleine mit einer geschickten Bewegung eingehängt werden. Ein Einfädeln ist nicht mehr erforderlich. Der Winkel hat zudem den Vorteil, dass sich die Reißleine im Betrieb und bei der Betätigung nicht aushängen kann, weil dabei zwei Betätigungsrichtungen gleichzeitig erforderlich sind. Dies erhöht die Sicherheit gegen Aushängen.

Durch den größeren Durchmesser ergibt sich zudem ein besserer Toleranzausgleich, eine Reduktion der Reibung an der Reißleine und eine höhere Vereisungs- und Verschmutzungssicherheit.



In den Abschnitten zuvor wurden einige Verbesserungen der Komponenten gezeigt. Diese optimierten Komponenten können auch in herkömmlichen Installationen eingesetzt werden. Aber die wesentlichste Montagevereinfachung wird durch eine durchgängig montierte Reißleine erreicht. Im herkömmlichen System wird die Reißleine am Seilzugnotschalter getrennt und je Seite auch getrennt montiert. Beim Schnellspannsystem wird die Reißleine durchgängig montiert und gespannt, bevor der Seilzugnotschalter angeschlossen wird. Dadurch kann die Installation von Schalter und Reißleine unabhängig voneinander erfolgen und die Laufwege bei der Installation verkürzen sich.



Dazu benötigt man eine sichere, aber flexible Befestigung zwischen Reißleine und Seilzug-Notschalter: die Schnellspannklemme. Gemäß Norm muss das Stellteil eines Seilzugnotschalters einer 5-fachen Zugkraft widerstehen. Hier besteht Interpretations-Spielraum, weil die kleine Betätigungskraft des Schalters herangezogen werden könnte. Kiepe macht hier keine Kompromisse. Die Klemme ist auf 5x 125 N (max. Betätigungskraft an der Reißleine nach EN 620) ausgelegt.



Dass sich die Laufwege verkürzen, kann man in dieser Übersicht erkennen, die grob den Ablauf der Montageschritte in einer herkömmlichen und in einer durchgängigen Installation mit Schnellspannklemme skizziert.

Damit kann man mit Recht behaupten, dass die neuen Komponenten und insbesondere die durchgängige Reißleinenmontage ein Schnellspannsystem der Reißleinenmontage ergeben haben, das schneller, simpler, sicherer ist.

7 Normreferenzen

Maschinenrichtlinie 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

DIN EN 620: Stetigförderer und Systeme – Sicherheits- und EMV-Anforderungen an ortsfeste Gurtförderer für Schüttgut

DIN EN ISO 13850: Sicherheit von Maschinen - Not-Halt-Funktion - Gestaltungsleitsätze

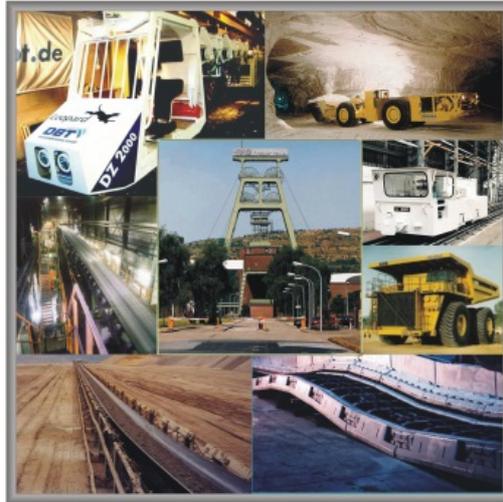
DIN EN 60947-5-5: Niederspannungsschaltgeräte - Teil 5-5: Steuergeräte und Schaltelemente - Elektrisches Not-Halt-Gerät mit mechanischer Verrastfunktion

Birgit Sacha

b.sacha@kiepe-elektrik.com

Kiepe Electric GmbH
Kiepe Platz 1
40599 Düsseldorf

Chronik der Fachtagung



- | | |
|---------------------|--|
| 28. - 29.01.2004 | 1. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 25. - 26.01.2006 | 2. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 23. - 24.01.2008 | 3. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 27. - 28.01.2010 | 4. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 18. - 19.01.2012 | 5. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 22. - 23.01.2014 | 6. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 20. - 21.01.2016 | 7. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 31.01. - 01.02.2018 | 8. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |
| 05. - 06.02.2020 | 9. Kolloquium „Fördertechnik im Bergbau“ |