

Industrie-4.0-Champion

– Hoch automatisierte Systeme im untertägigen Bergbau

Prof. Dr.-Ing. Andreas Merchiers, Bochum University of Applied Sciences, Bochum, Deutschland

Dr.-Ing. Fiona Mavroudis, Eickhoff Bergbautechnik GmbH, Bochum, Deutschland

Matthias Pütz, Schalker Eisenhütte Maschinenfabrik GmbH, Bochum, Deutschland

In diesem Beitrag werden exemplarisch zwei Anwendungen der Eickhoff-Gruppe aus unterschiedlichen Bereichen der bergmännischen Prozesskette dargestellt: Die schneidende Kohलगewinnung im Streibergbau sowie die Zugförderung im Erzbergbau. Mit ihren innovativen, auf die Bedürfnisse der Kunden angepassten Produkten ist die Eickhoff-Gruppe seit über 150 Jahren eines der führenden Unternehmen bei der technologischen Weiterentwicklung des mechanisierten Bergbaus. Dabei bildet gerade die Automatisierung der eigenen Produkte über die Systemgrenze der Maschine hinaus einen Schwerpunkt aktueller Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten.

Erwartungen und Herausforderungen des Marktes

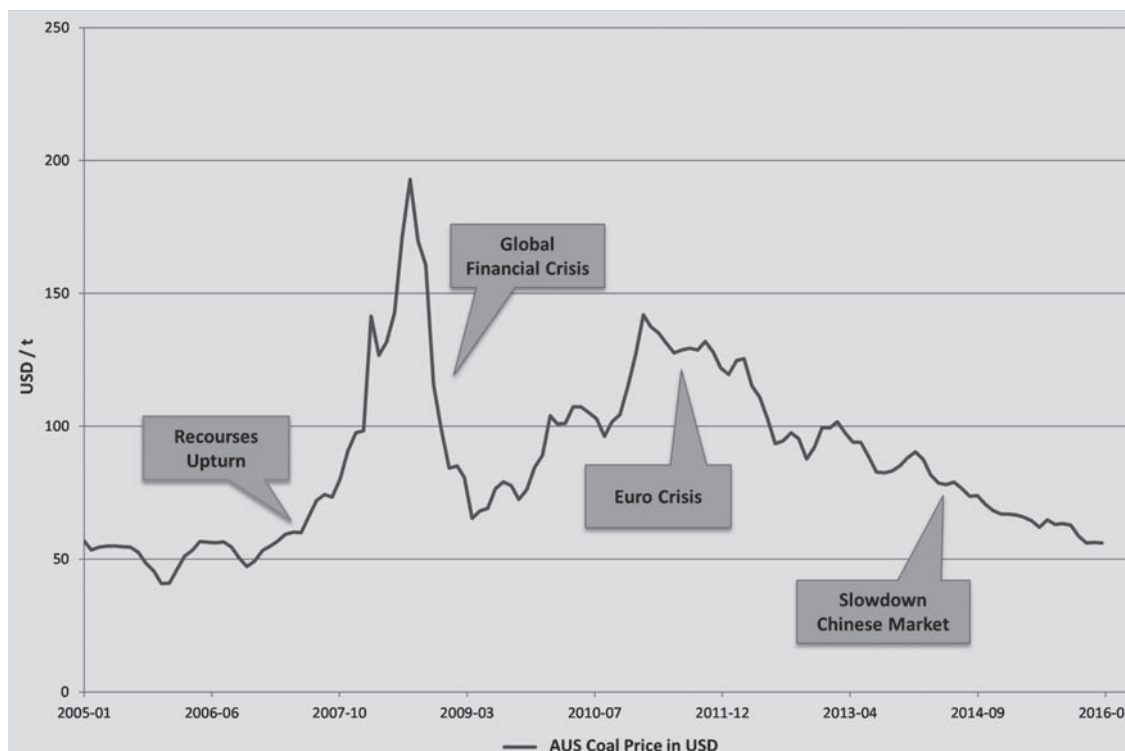
Die Optimierung des Gewinnungsprozesses ist der Schlüssel zu wirtschaftlich erfolgreichem Bergbau: Die Kosten pro Tonne gewonnenen Wertminerals sind maßgeblich abhängig von der Performance und den Kosten des eingesetzten Equipments, zudem von

Neben den klassischen, mit dem Begriff Industrie 4.0 verbundenen Anwendungsfeldern wie Produktion und Mobilität entpuppt sich gerade der untertägige Bergbau zunehmend zu einem Hidden Champion auf diesem Gebiet. Getrieben durch fallende Rohstoffpreise bei stetig steigenden Anforderungen an die Humanisierung der Arbeit griff die Branche schon sehr früh nach den durch „Industrie 4.0“ beschriebenen Lösungsansätzen: Vollintegrierte Systeme mit (teil-)autonomen Maschinen, die sich ohne menschliche Steuerung in und durch Umgebungen bewegen und selbstständig Entscheidungen treffen, sind im Bergbau schon heute keine Traumwelt mehr. Die Branche hat bereits erfolgreich mit der Umsetzung von „Bergbau 4.0“ begonnen.

Bergbau • Zulieferindustrie • Industrie 4.0 • Mining 4.0 • Innovation • Walzenlader • Gleisförderung

Bild 1: Entwicklung des Kohlenpreises

Quelle der Grafik: index mundi



tionstechnik sowie Vernetzung gilt es, das Zusammenwirken – eben die Kollaboration – innerhalb dieser Regelstrecke zu optimieren. Sie kann entsprechend auch als „intelligent-kollaborative“ Element einer zukünftigen Bergbau-4.0-Infrastruktur angesehen werden. Zielsetzung sind die Steigerung von Flexibilität und Effizienz in bestehenden Mustern.

Der Regler hat hingegen die Aufgabe, diese bestehenden Muster zu beeinflussen beziehungsweise zu verändern. Er kann damit auch als das „lernende“ Element einer zukünftigen Bergbau 4.0 Infrastruktur angesehen werden. Durch ihn kommt der revolutionäre Charakter von Industrie 4.0 zum Vorschein; denn erst durch die konsequente horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen (IKT = Informations- und Kommunikationstechnik) ist eine solche Regelung von Subsystemen im Bergbau überhaupt möglich. Ausgangspunkt bilden die Outputgrößen (Informationen) der Regelstrecke, also der Kernprozesse Lösen, Laden, Fördern. Grundvoraussetzung für die Regelung ist dabei deren Digitalisierung. Die Schaffung von Transparenz, d. h. die Verfügbarmachung und die Möglichkeit zur Weiterverarbeitung dieser Daten ist für den „Lernprozess“ konstituierend. In der Folge lassen sich dann in weiteren Schritten Wirkzusammenhänge erkennen, deren Modellierung wiederum Prognosen zulässt, auf deren Basis Entscheidungen getroffen werden können. Die inhaltliche Abfolge von Transparenz, Analyse, Prognose und Entscheidung entspricht dabei auch dem zeitlichen Vorgehen bei der Implementierung dieser „lernenden“ Strukturen in den Subsystemen. Dabei ist diese Logik nicht nur auf die jeweiligen Subsysteme

beschränkt; sie lässt sich auch auf die komplette bergmännische Prozesskette ausweiten.

Bergbau 4.0 in der schneidenden Gewinnung

Der Schlüssel einer „intelligent-kollaborativen“ Infrastruktur liegt in der Vernetzung der Sensortechnik der Gewinnungsmaschine und der Gesamtheit aller beteiligten Strebkomponenten. Dazu ist ein hohes Maß an Koordination und Verständnis im Umgang mit Spezialdaten notwendig; der Technologiewechsel im Bergbau dauert in der Regel relativ lange. Gründe hierfür sind hohe finanzielle Risiken im Falle einer auch nur geringfügigen Verschlechterung der Performance durch unvorhergesehene Effekte im Systemwechsel. Hohe Anforderungen an die Zulassung neuer Techniken für den untertägigen Einsatz, aber auch die sich ständig ändernden Umgebungsbedingungen und die notwendige Bewährung in der Praxis erschweren es, Automatisierungssysteme zu etablieren, die in anderen Industriezweigen schon Stand der Technik sind.

Seit der Einführung des Eickhoff-Walzenladers im Jahr 1954 implementierte das Unternehmen eine Reihe von technisch bedeutenden Weiterentwicklungen, wie zum Beispiel die Funkfernsteuerung im Jahr 1966, die Industrie-PCs (IPC) im Jahr 2001, das Steuerungskonzept EiControl im Jahr 2005, die sensortechnische Erweiterung EiControlPlus im Jahr 2007 und schließlich die parametrisierte Steuerung EiControlSB im Jahr 2008. Seit dem Jahr 2010 fokussiert sich die Weiterentwicklung des Walzenladers immer mehr auf eine mechatronische Disziplin, in der Maschinenbau, Elektrotechnik sowie Software eng miteinander verschmelzen. Zu

Bild 3: Sensorik am Walzenlader

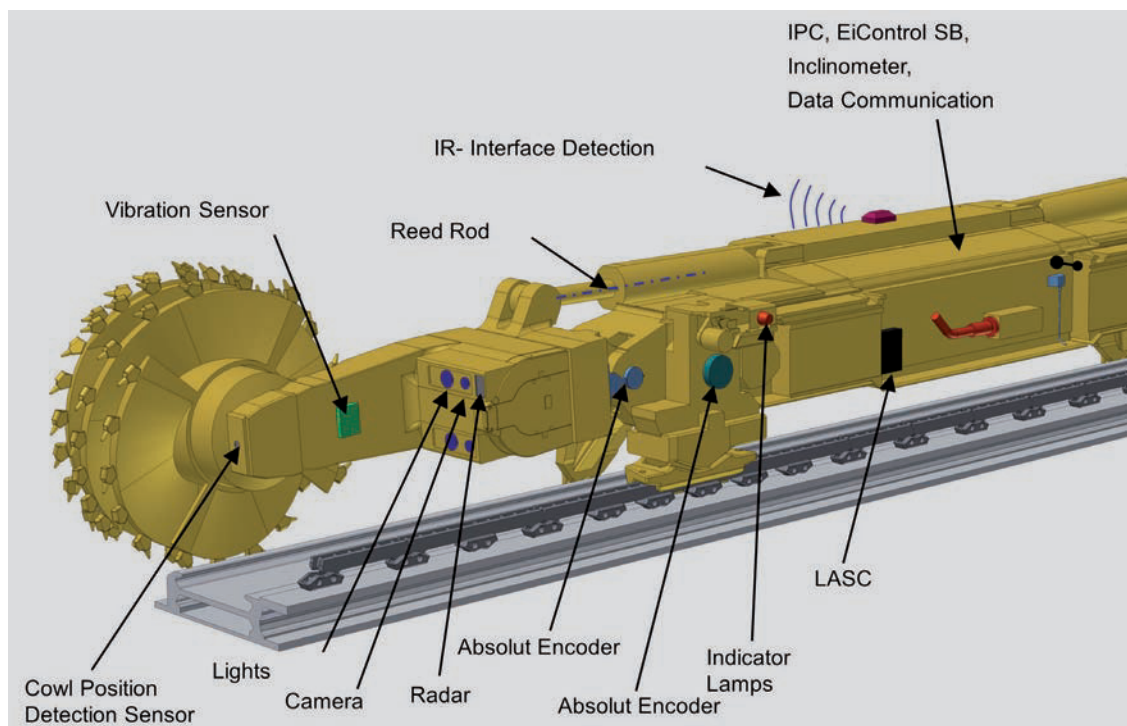




Bild 4: Umfelderfassungssysteme am Walzenlader

erkennen ist dies vor allem am steigenden Sensor- und Softwareanteil in den Maschinen sowie an einer zukunftsweisenden Daten- und Kommunikationsinfrastruktur [1].

Der Walzenlader ist heute mit zahlreichen Sensoren ausgerüstet, die unterschiedliche Aufgaben redundant übernehmen und idealerweise ein unterschiedliches Funktionsprinzip verfolgen (Bild 3). Sensoren zur relativen und absoluten Positionsbestimmung sowie zur Navigation beispielsweise liefern eine detaillierte Darstellung des Strebprofils. In Verbindung mit einer hochkomplexen Steuerungsalgorithmik erlaubt dies eine bis auf wenige Millimeter genaue Steuerung des Abbauprozesses. Weitere Sensoren zur geologischen Umfelderkennung verbessern die Abbaugenauigkeit und das Einhalten der Lagerstättengrenzen beim Gewinnungsschnitt. Sensoren zur geometrischen Umfelderfassung erkennen vorausschauend potenzielle Gefahrenstellen und vermeiden Kollisionen der Maschine zum Beispiel mit dem Ausbau. Die Registrierung und die Bewertung der äußeren und inneren Umwelt der Maschinen erfolgt mit Sensoren zur Ermittlung des Maschinenzustands und der -performance. Abgerundet wird die Sensortechnik durch ein Diagnosesystem zur schnellen Fehleranalyse und einfachen Wartung. Daten und historische Ereignisse werden hierbei aufgezeichnet und eine zustandsbasierte Instandhaltungsplanung ermöglicht. Der Walzenlader ist darüber hinaus in der Lage, Eigendiagnosen über seinen Zustand und seine Belastung sowie Plausibilitätsprüfungen durchzuführen.

Video-Monitoring-Systeme ermöglichen die Fahrgewegüberwachung und Fernsteuerung. Weitere graphische Digitalanzeigen bieten Zugriff auf Sensoren, akustische Signalgeber und Eingabegeräte. Der Kommunikationsfluss zwischen Mensch und Maschine wird hierdurch deutlich verbessert. Die Weiterentwicklung

der Sensortechnik spielt dabei eine herausragende Rolle, denn je autonomer die technische Anwendung, desto mehr Informationen benötigt sie über ihre physikalische Umgebung und über sich selber. Sie ist „der Schlüssel für alle Bestrebungen, Maschinen und Anlagen autonom zu gestalten“. Bereits integrierte Sensorkonzepte zur Umfelderfassung werden durch eine echtzeitfähige Verarbeitungslogik und zunehmende Eigenintelligenz verfeinert. Die optimierten Systeme sind in der Lage, in den höchst dynamischen und extremen untertägigen Bedingungen nahezu fehlerlos zu arbeiten, sich autonom ihrer Einsatzumgebung anzupassen und die Selbststeuerung zu übernehmen (Bild 4) [1, 2].

Beispiel: Der Walzenlader im Zentrum von Bergbau 4.0

Betrachtet man das Gesamtstrebsystem, ist der Walzenlader das zentrale, kollaborierende Element. Er kommuniziert kontinuierlich mit Ausbau und Förderer (Bild 5). Informationen, wie Fördererbeladung, Standort des Walzenladers, aktive Erkennung von Kollisionsgefahren und andere Verfahrens- und Prozessdaten, werden ausgetauscht und zum Steuerstand und zur Leitwarte nach über Tage gesendet. Nach der Durchfahrt des Walzenladers werden die Schilde vollautomatisch gesetzt und der Förderer gerückt. Die Steuerung der Fördererantriebe und der Kettenspannung erfolgt durch Bestimmung der Fördererbeladung und der Lastsituation an den Getrieben. Werden Unregelmäßigkeiten beim Prozess beobachtet – wie zum Beispiel ein zu tief gesetzter Ausbau – wird die Situation bewertet und es werden entsprechende Maßnahmen getroffen. Beispielsweise stoppt ein Haltesignal den Walzenlader und das Wartungspersonal unter und über Tage wird informiert.

Voraussetzung sind dabei leistungsfähige und zuverlässige Kommunikationssysteme. Die derzeit im

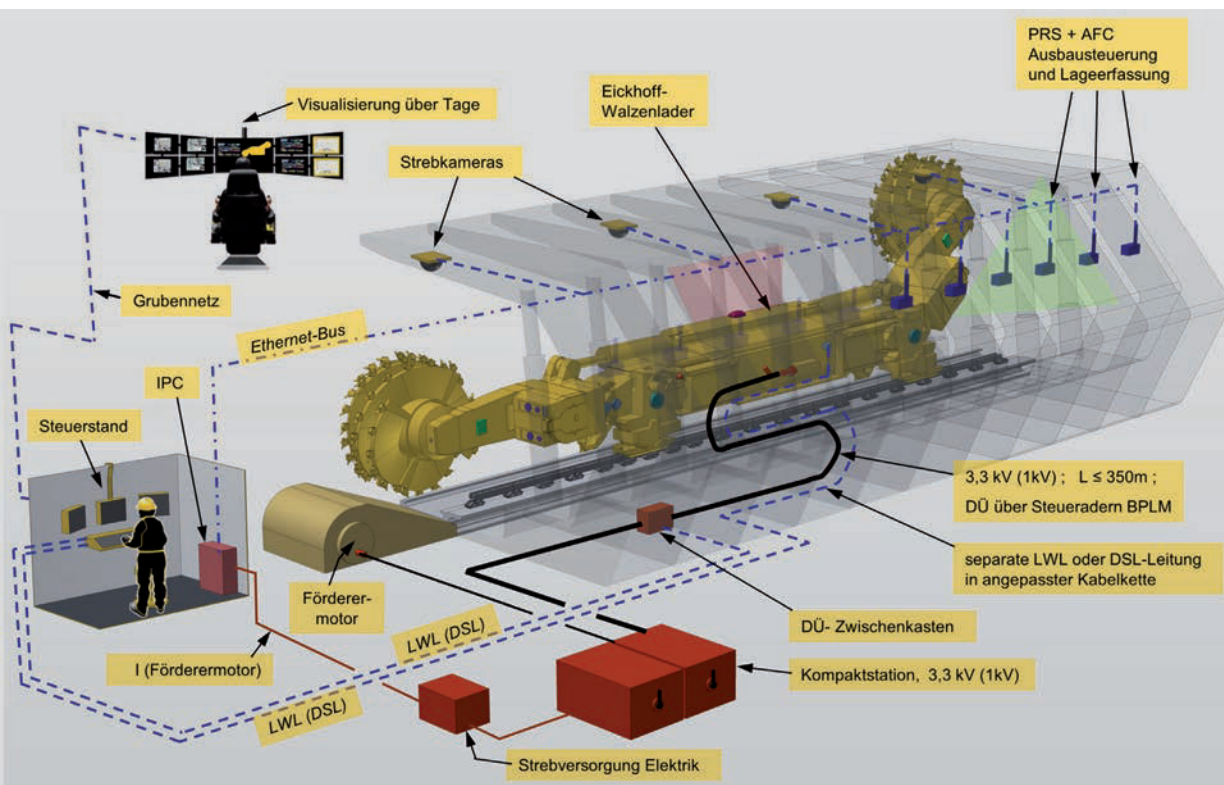


Bild 5: Der Walzenlader als zentrales Element im Streb

Bergbau eingesetzten Systeme erfüllen alle etablierten Industriestandards. Sie sind redundant ausgelegt, können energie-kabelgebunden sein oder auch auf DSL, Lichtwellenleiter (LWL) oder WLAN basieren. Intern ist der Walzenlader über ein Bussystem vernetzt, das die Sensortechnik einschließt. Die Kommunikation untereinander, mit dem Steuerstand und mit der Leitwarte erfolgt über Ethernet. Dabei werden unterschiedliche Protokolle zur Datenübertragung genutzt. Die gesamte Signalübertragung ist entweder komplett eigensicher oder gekapselt.

Taktgeber für den Steuerungsprozess ist die State-Based-Automatik EicontrolSB (state-based = Zustandsbasiert). Sie ist das Herzstück der Walzenladersteuerung und unterteilt den Schneidprozess methodisch in unterschiedliche und unabhängige Schritte. Die sogenannten Zustände sind klar definiert und bilden einen geschlossenen Zyklus. Der vordefinierte Prozess kann vom Anwender jedoch beliebig verändert, erweitert und somit jederzeit auf die externen Erfordernisse angepasst werden. Die sequenzielle Abarbeitung der Sollwerte der Zustandstabelle ist abhängig vom Prozessablauf: Die Maschine reagiert selbstständig und maßgeschneidert auf wechselnde Bedingungen. Der Maschinenfahrer kann dabei vor Ort oder von einer abgesetzten Leitwarte aus die Operationen verfolgen, korrigieren und den Prozess verändern.

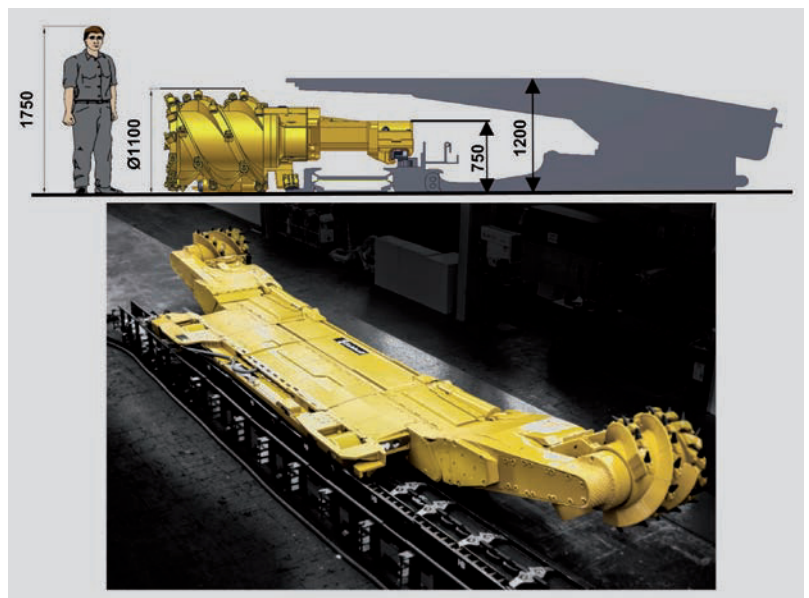
Mehr Möglichkeiten: Von der Fernsteuerung bis zur Vollautomatisierung

Der Rückzug des Personals aus der Gefährdungszone ist ein zentraler Vorteil zunehmender Automatisierung.

Außerdem wird aber auch eine effizientere Ausnutzung von Lagerstätten – besonders in sehr niedrigen Mächtigkeiten bis 1,2 m – möglich, da keine Mindestabbauhöhe für das Bedienpersonal mehr erforderlich ist und somit deutlich weniger Nebengesteinsproduktion anfällt. Dies funktioniert nur durch Vollautomatisierung und/oder Fernsteuerung aller beteiligten Subsysteme (Bild 6).

Der Bediener kann dabei von der Leitwarte aus mithilfe von Strebkameras, Sensoren und Positionier-

Bild 6: Niedrigwalzenlader SL 300L-Strebmächtigkeit 1,2-1,8 m



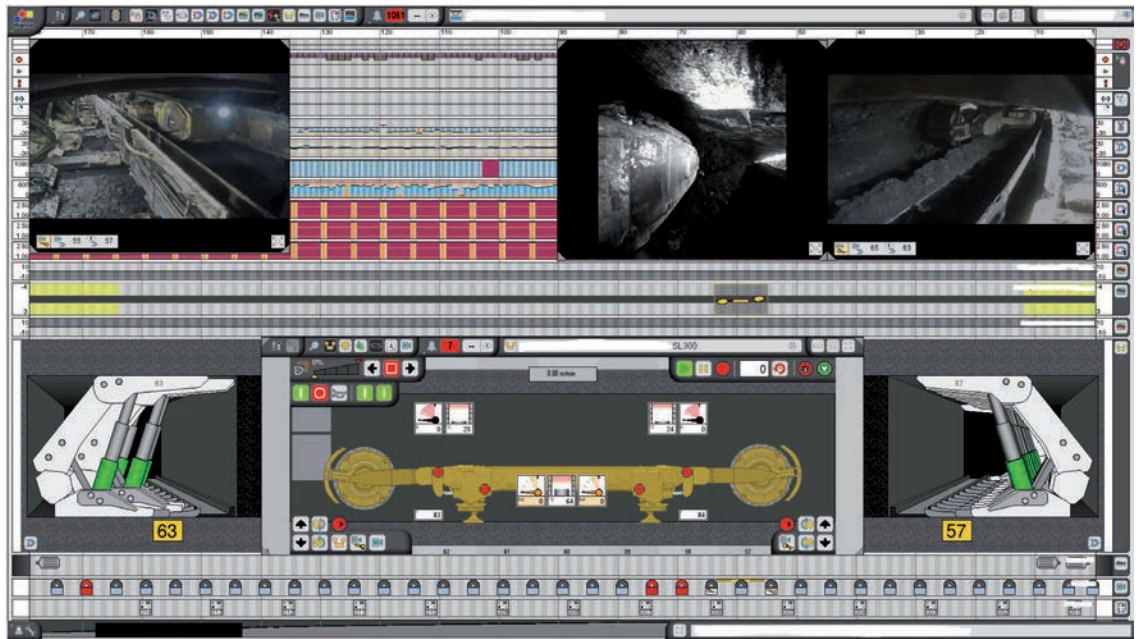


Bild 7: Integrierte Strebsteuerung des Typs MARCO mit Eickhoff-Walzenlader

rungssoftware den Gewinnungsprozess steuern und überwachen. Die Anbindung des Steuerstands an den Walzenlader erfolgt über TCP/IP-Protokolle, die über redundante Powerline-Modem- und Glasfaserverbindungen übertragen werden. Die Funktionen werden durch Joystick, Handheld-Controller oder semi-automatisiert durch temporäre manuelle Eingriffe übernommen. Bei letzteren werden nur Korrekturen mit minimalem Steuerungseingriff vorgenommen. Diese Punkte wurden bei der Entwicklung des neuen Niederwalzenladers SL300L von Eickhoff (Bild 7) konsequent umgesetzt.

Das nächste Level ist die vollständige Vernetzung aller beteiligten Subsysteme. Für eine Vollautomatisierung müssen alle Strebelemente im direkten Zusammenhang weiterentwickelt werden. Die Schaffung von bereichsübergreifender Transparenz ist die Grundvoraussetzung für weiterführende Analysen, die Ableitung von Prognosen und sich hieraus ergebende Entscheidungsoptionen. Denn erst mit der durchgängigen Aufnahme und Bereitstellung aller relevanten Daten lassen sich entscheidungsunterstützende Systeme wie zum Beispiel Grenzschichtenkennungssysteme effektiv einsetzen.

Intelligenter Bergbau implementiert daher Informationstechnologie in der Gesamtkette: Von der Exploration der Lagerstätte über die geologische Modellierung, die Planung und Durchführung der Gewinnungsoperationen bis hin zu den abbaubegleitenden infrastrukturellen Funktionsbereichen wie beispielsweise Transport und Logistik. Mittels Bergbau 4.0 und innovativer Kommunikationstechnologien gelingt der Übergang von der Fernsteuerung zur vollständig autonomen Operation. Walzenlader, Ausbau, Förderer, Brecher und Bandanlage werden in ein übergeordnetes 3D-Streb-Controlsystem integriert. Hiermit werden alle relevanten Daten eingezogen und übergreifend verfügbar gemacht.

Als Herausforderung steht dabei die Auswertung großer Datenmengen (Big Data) an. Millionen von Sensordaten müssen analysiert und interpretiert werden. Hochleistungsfähige Analysesysteme machen dabei Big Data transparent: Sie erkennen Zusammenhänge und ermöglichen eine proaktive Kommunikation aller Subsysteme (Bild 8).

Die ständige Verfügbarkeit, Analyse und Korrelation aller Personen-, Maschinen- und Prozessdaten sind die Basis von Bergbau 4.0. Das durchgängige Event-Logging ermöglicht dabei maximal fundierte Störungsdiagnosen. Das System erhöht die Prognosefähigkeit und erlaubt Reaktionen auf Prozessabweichungen in Echtzeit. Ein weitgehendes Parametermanagement verleiht dem System zudem die notwendige Flexibilität. Es ermöglicht die Implementierung weiterer funktionserweiternder Systemelemente – wie zum Beispiel Umfeld- und Zustandserfassungssysteme.

Das 3D-Streb-Controlsystem, das in verschiedenen Hierarchie- und Kommunikationsebenen abläuft, ermöglicht aufeinander abgestimmte Steuerbefehle für alle beteiligten Strebelemente. Dabei sorgt eine größtmögliche Autarkie und Redundanz – von der Sensortechnik hin bis zur Gesamtheit der lokalen Teilsysteme – für maximale Betriebssicherheit des Systems.

Bergbau 4.0 in der Zugförderung

Ein weiteres Beispiel aus der Eickhoff-Gruppe ist die untertägige Zugförderung der zur Unternehmensgruppe gehörenden Schalker Eisenhütte im Hartgesteinsbergbau. Hierbei handelt es sich vornehmlich um die horizontale Förderung bei den Abbauverfahren Blockbruchbau (Block Caving) und Teilsohlenbruchbau (Sublevel-Caving): Das Gestein wird hier mithilfe von Ladern (LHDs) auf der Gewinnungssohle (Extraction Level) in Rolllöcher (Ore-Passes) verbracht, an deren

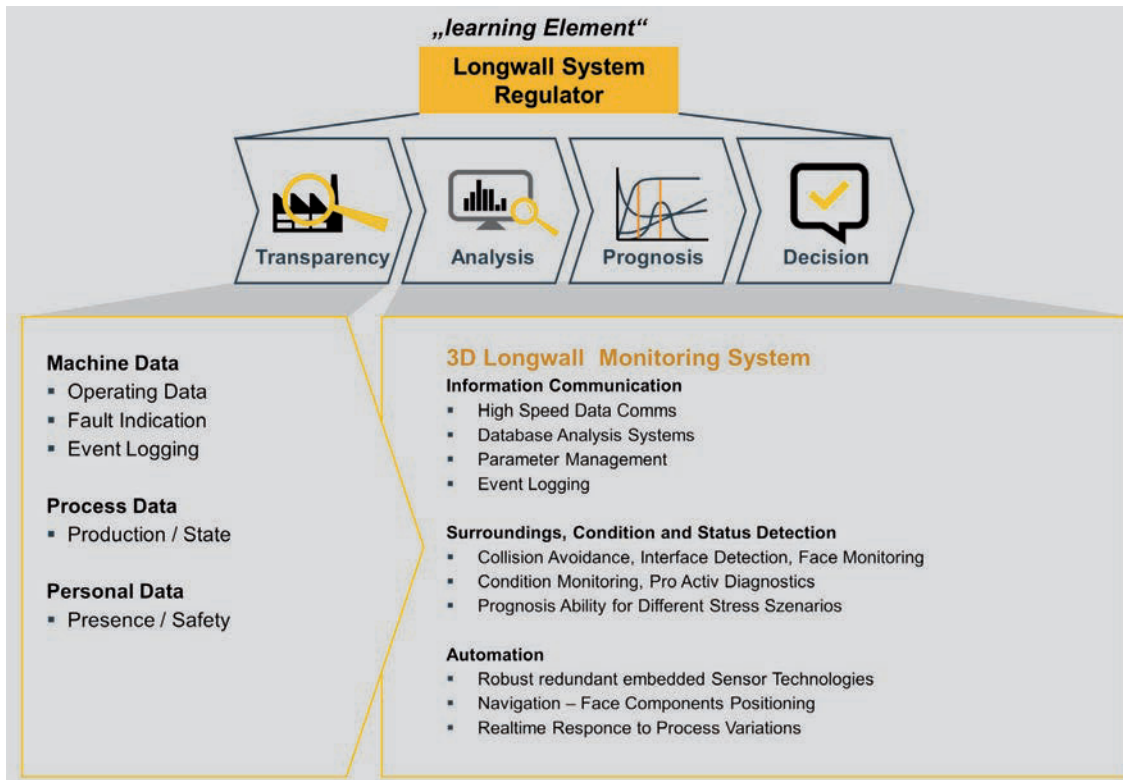


Bild 8: Funktionsweise des Strebreglers

unteren Enden, auf der Fördersohle (Haulage Level), die Beladung der Lokomotiven erfolgt. Der Transport führt dann zur Übergabestelle an die vertikale Förderung, d. h. nach über Tage (**Bild 9**).

Für dieses in sich abgeschlossene System hat die Schalker Eisenhütte gemeinsam mit ihren Partnern Nordic Minesteel (Be- und Entladung, Waggons mit Bodenentleerung) und Bombardier Transportation (Zugautomation) eine vollautomatische, mannlose Lösung für Hochleistungsbergwerke entwickelt. Die Gruben El Teniente (Codelco), Kiruna (LKAB) und Grasberg (Freeport) setzen dieses System bereits erfolgreich ein. Insbesondere im Hinblick auf den Einsatz mehrerer Lokomotiven lässt sich eine deutlich höhere Fahrtraktung und damit Produktivitätssteigerung erzielen. Gleichzeitig ist es möglich, auf Rundkurse zu verzichten und stattdessen Back-and-Forth-Operationen (Vor und Zurück-Operationen) zu realisieren. Die Kosten für das Auffahren von Strecken können somit signifikant reduziert werden [3].

Die Regelstrecke besteht in diesem Fall aus der Kollaboration von Beladung, Zugtransport und Entladung. Analog zum Strebsystem im Kohlenbergbau sind die einzelnen Elemente der Regelstrecke mit einer Vielzahl von Sensoren und Steuerungselementen ausgestattet. Diese ermöglichen es den Elementen sich selbst zu optimieren; gleichzeitig ermöglichen sie jedoch auch, in Interaktion miteinander zu treten.

Vereinfacht dargestellt sieht beispielsweise die Selbstregelung des Elements Lokomotive wie folgt aus: Über die verwendete Sensortechnik im Antriebsstrang werden Zugkräfte, Leistungsverbrauch und Tempe-

raturen kontinuierlich erfasst, um entsprechend den Regelgrößen Geschwindigkeit und Energieverbrauch das Zugsystem – bestehend aus Lokomotive und Wagen – zu steuern [4].

Mit Blick auf die Kollaboration der einzelnen Elemente untereinander erfordert insbesondere der Entladevorgang einen großen Abstimmungsbedarf – in diesem Fall zwischen Zug (Lok und Wagen) und der Bodenentleerung. Bei diesem Entladesystem übernimmt ein externes Traktionsrollensystem den Antrieb des Zugs im Bereich der Entladung. Lokomotive und Wagen werden über einen Trichter geleitet; die Böden der Wagen öffnen sich nach unten – geführt durch eine Schiene (**Bild 10**). Die durch die Entleerung eines jeden einzelnen Wagens auftretenden dynamischen Belastungen auf das Zugsystem müssen durch intelligente Steuerungsvorgänge des Traktionsrollensystems ausgeglichen werden, sodass der Zug mit konstanter Geschwindig-

Bild 9: Kollaboration im Zugfördersystem

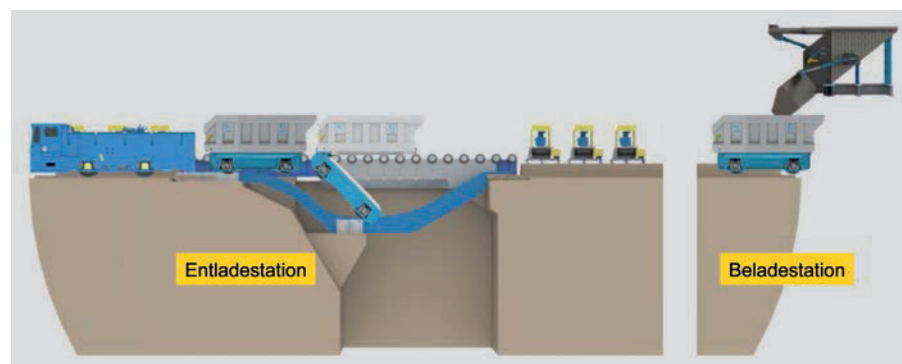




Bild 10: Beispiel des vollautomatischen Schalte-Zugfördersystems bei LKAB

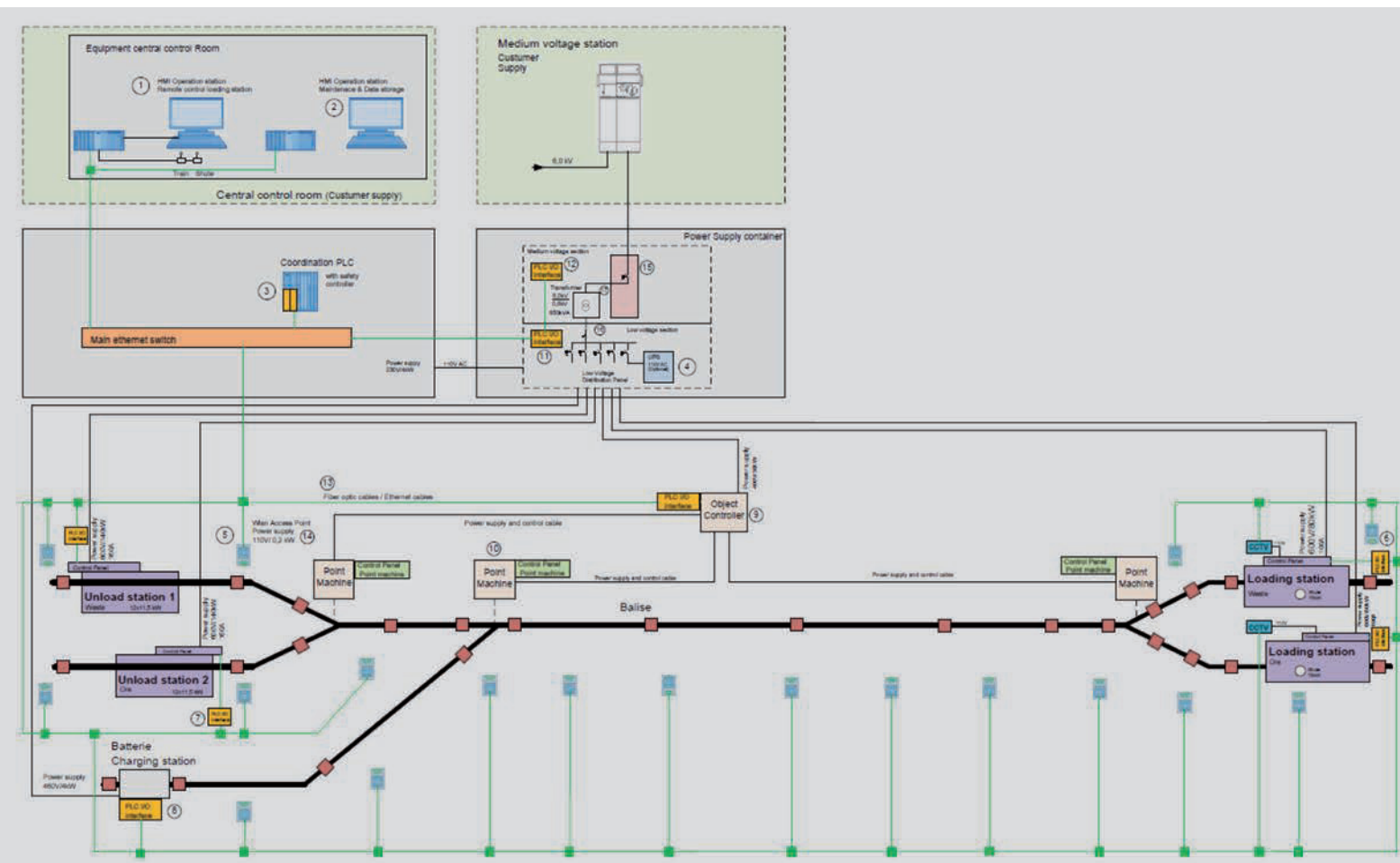
keit den Bereich passieren kann und die Lokomotive im Anschluss übergangslos und unterbrechungsfrei die Weiterfahrt des Zugverbands übernehmen kann [5].

Die eigentliche Regelung – und damit das Lernende Element der 4.0-Architektur – kommt auf der Ebene

des Gesamtsystems Zugförderung zum Tragen. Die Vollautomatisierung des Systems sowie die sich dahinter verbergenden Regelalgorithmen ermöglichen die Integration sowohl zustandsorientierter als auch vergangenheitsbasierter Daten; entsprechend prognosefähig ist das System: Die Züge fahren die Beladestationen nicht nach einem vorgegebenen Muster ab, sondern reagieren auf Zustände in der Regelstrecke (z. B. Warteschlange an der Entladestation) bei gleichzeitiger Optimierung der Transportzyklen auf der Basis von Prognosen. Es wird nicht nur analysiert, welche Beladestation bereit ist, sondern auch welche Beladestation dann bereit sein wird, wenn der Zug dort eintrifft.

Ein Objekt-Controller im Zusammenspiel mit einem zentralen Zugkontrollzentrum bildet in diesem System die Kommunikationsplattform zwischen der Lokomotive und den Be- und Entladestationen. Die Steuerung erfolgt über Weichen beziehungsweise Weichenantriebe (Point Machines) und die Signalisierung (Bild 11). Dabei kontrolliert das System die Abstände und die Einhaltung der Geschwindigkeit der Lokomotiven untereinander. Dazu ist die Fahrstrecke in mehrere Bereiche eingeteilt, welche sich, abhängig von Geschwindigkeit, Position und Bremswegen, flexibel anpassen, um höchstmögliche Effizienz bei größtmöglicher Sicherheit zu gewährleisten.

Bild 11: Vereinfachtes Beispiel einer System-Architektur für ein Zugfördersystem



Um Kollisionen zwischen den Zügen zu verhindern, überwacht die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) des Zugautomatisierungssystems auf der Lokomotive den Abstand zwischen den Lokomotiven. Dazu erhält jede Lokomotive mittels WLAN-Datenübertragung die Positionen aller anderen Lokomotiven. Die Software in der SPS vergleicht kontinuierlich die eigene Position mit der Position der anderen Lokomotiven. Ist der vordefinierte Abstand zu gering, wird die Geschwindigkeit reduziert oder eine Zwangsbremse eingeleitet. Parallel wird diese Überwachung auch direkt vom Koordinationsrechner durchgeführt, da auch dort die aktuelle Position jeder Lokomotive abgespeichert wird.

Während ein Objekt-Controller die Kollaboration der Systemelemente regelt, übernimmt eine übergeordnete Speicherprogrammierbare Steuerung (Coordination PLC, Koordinationsrechner) die Steuerung des Gesamtsystems. Hier laufen die Daten der unterschiedlichen Akteure zusammen. Dies sind zum einen die klassischen Zustandsdaten:

- ▶ Wo befindet sich welcher Zug in welchem Zustand?
- ▶ Welche Beladestation ist aktiv?
- ▶ Was passiert an den Entladestationen?

Zum anderen bedient sich der Koordinationsrechner aber auch der Vergangenheitsdaten: Unterschiede in den Beladezeiten je Station sowie Ladezyklen der Batterien auf den Lokomotiven werden bei der Planung der Transporte mit berücksichtigt. Zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit können zudem Parameter, die bisher starr im System hinterlegt sind, in Abhängigkeit der jeweiligen Belastungssituation (z. B. Anzahl der im Einsatz befindlichen Lokomotiven und Beladestationen) variabel in das Prognosemodell einfließen. Typischerweise sind dies Größen wie Übergabe- und Wartezeiten.

Fazit

Grundvoraussetzung bei diesen Beispielen wie auch bei anderen Anwendungen ist ein hoher Umsetzungsgrad bei den vorgestellten Reglervoraussetzungen, also die Schaffung von Systemtransparenz, d. h. die Erfassung und Speicherung aller das System und die Zustände beschreibenden Daten sowie deren zielgerichtete Auswer-

tung im Sinne von Korrelationsanalysen. Erst hierdurch kann das tiefere Systemverständnis aufgebaut werden, mittels dessen auch bei automatisierten Lösungen noch Produktivitätsreserven gehoben werden können.

Die Potenziale zur Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Kostensenkung und signifikanter Steigerung der Sicherheit in Bergwerksbetrieben sind Anlass und Motivation, die Thematik als wesentliche Leittechnologie der Zukunft zu verfolgen. Mit den vorgestellten Systemen und Technologien ist der Gedanke Bergbau 4.0 bereits in leistungsfähiger und erprobter Verfahrens- und Steuerungstechnik für hochbelastete Produktions- und Fördersysteme realisiert worden. Im nächsten Schritt steht nun die umfassende Vernetzung der komplexen untertägigen Systeme sowie die kontinuierliche Optimierung der Leistungs- und Kostenfaktoren entlang der bergmännischen Prozesskette Lösen-Laden-Fördern an.

Literatur:

- [1] Nienhaus, K.; Mavroudis, F.; Hackelböcker, B.: Walzenlader Automation und Kommunikation – Ein Leitfaden zum autonomen Walzenlader. Vortrag AIMS, RWTH Aachen, 2009.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Multimodale Sensorik-Konzepte der Umwelterkennung/-modellierung
- [3] Bergstroem, R.; Sterner, T.; Nordstroem, T.: Heavy haul 1365 meter underground. IHHA meeting, Calgary, 2011.
- [4] Merchiers, A.; Brudek, G.; Mackenzie, S.: The Renaissance of Underground Rail Haulage – Why upcoming Mining Projects focus on this Hidden Champion. In: Mineral Resources and Mine Development, Fifth Aachen International Mining Symposium, Aachen, 2015.
- [5] Merchiers, A.; Brudek, G.; Dammers, M.: Advantages and Applications of Rail Haulage Systems in Underground Hard Rock Mining Operations. In: Glückauf Mining Report, Gesamtverband Steinkohle e. V., Herne, 2015.
- [6] Merchiers, A.; Mavroudis, F.: Reaktion der Eickhoff-Gruppe auf die Anforderungen von Industrie 4.0. Vortrag, Forum Bergbau 4.0, RWTH Aachen, 2015.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Merchiers

hat ein Maschinenbaustudium sowie ein wirtschaftswissenschaftliches Zusatzstudium absolviert.

Schwerpunkthemen seiner beruflichen Laufbahn bildeten stets die Herausforderungen produzierender Unternehmen: Die Umsetzung des Lean-Gedankens entlang der Wertschöpfungskette, die Gestaltung von Produktions- und Logistikstrukturen sowie die Einführung und Weiterentwicklung von Industrie 4.0 Anwendungen im Maschinenbau/Bergbau.

Seine akademische Ausbildung hat Andreas Merchiers an der RWTH Aachen mit der Promotion zum Dr.-Ing. abgeschlossen.

Andreas Merchiers ist heute Professor an der Hochschule Bochum. Er lehrt und forscht im Bereich Produktionsmanagement und Technische Investitionsplanung. Zusätzlich ist er als Industrieberater tätig.

Kontakt: A.Merchiers@eickhoff-bochum.de



Dr.-Ing. Fiona Mavroudis

ist Gruppenleiterin für Sensortechnik und Automation bei der Eickhoff-Bergbautechnik GmbH.

Sie studierte und promovierte an der RWTH Aachen. Bereits hier legte sie den Schwerpunkt ihrer wissenschaftlichen Arbeit auf die Themenbereiche Sensorik und Automation in der Rohstoffindustrie.

Kontakt: fmavroudis@eickhoff-bochum.de



Dr.-Ing. Matthias Pütz

blickt auf eine 27-jährige Erfahrung in verschiedenen Bereichen des

untertägigen Bergbaus zurück, welche 1989 mit einer Ausbildung bei der RAG begann. Sein spezielles Fachgebiet war hier die Automatisierung des Schildausbaus. Weitere Schritte im Berufsleben waren der Vertrieb und die Projektleitung komplexer Steuerungssysteme für den Schildausbau bei der Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH. Seit 10 Jahren ist Matthias Pütz nun in der Unternehmensgruppe Eickhoff tätig, im Bereich Vertrieb Walzenlader und Continuous Miner, seit Juni 2014 im Bereich Bergbau- und Tunnellokomotiven des Eickhoff-Unternehmens Schalker Eisenhütte Maschinenfabrik GmbH.

Kontakt: matthias.puetz@schalke.eu

