

Christoph Klötzer, Niklaos Christou, Julia Ridder,  
Ellen Rettig, Vassilis Roubos

## DMT – “Digital Mining Transformation” for the Raw Materials Industry

In recent years, the ongoing digitalization of mining has led to continuous changes in the way the raw materials sector explores its resources, carries out mining operations, processes the products and ultimately delivers them to its customers. This article illustrates the Mining 4.0 concept of the DMT GmbH & Co. KG,

Essen/Germany, which is based on the three pillars of “operations”, “people”, and “processes” and which covers digital transformation in a holistic way throughout the entire life cycle of the raw materials industry.

## DMT – „Digital Mining Transformation“ für die Rohstoffindustrie

Die fortschreitende Digitalisierung im Bergbau führte in den letzten Jahren zu kontinuierlichen Veränderungen in der Art und Weise, wie der Rohstoffsektor seine Ressourcen erkundet, den Abbau betreibt, die Produkte verarbeitet und sie letztendlich an seine Kunden liefert. Der vorliegende Artikel veranschaulicht das haus-

eigene Bergbau 4.0 Konzept der DMT GmbH & Co. KG, Essen, das auf den drei Säulen „Betriebsabläufe“, „Mitarbeitende“ und „Prozesse“ beruht und ganzheitlich die digitale Transformation im gesamten Lebenszyklus der Rohstoffindustrie abdeckt.

### 1 Introduction

“Excellence, performance and innovation in everything we do” – that is the mission of DMT GmbH & Co KG, Essen/Germany, as a globally active company for engineering and consulting services. DMT’s roots extend back to 1737 when the first organization seeking to improve mining safety was founded in Germany. Following a strong internationalization since 2006, with the merger of International Mining Consulting and other subsequent acquisitions, the DMT Group today comprises 14 engineering and consulting companies at 30 locations around the world. Each year the company implements over 10,000 projects in more than 150 countries. DMT supports companies at all stages of the raw materials cycle starting from exploration projects, continuing with detailed feasibility studies and technical assessments in the context of project acquisition, up to the role of consulting engineers on the owner’s or lender’s side during development and commissioning.

Nowadays, DMT’s business is focused on technology and digitalization, with the aim to further develop its long-standing technical and scientific experience and to achieve ongoing quality enhancements. In the raw materials sector, these terms are combined under the term Mining 4.0. In this regard, digital transformation has also become a core topic for DMT. Particularly in high-wage countries, resource-saving and economical

### 1 Einleitung

„Exzellenz, Performance und Innovation in allem, was wir tun“ – das ist die Mission der DMT GmbH & Co. KG, Essen, als global tätige Gesellschaft für Ingenieurdienstleistungen und Beratung. Die Wurzeln der DMT reichen bis ins Jahr 1737 zurück, als die erste Organisation zur Verbesserung der Sicherheit im Bergbau in Deutschland gegründet wurde. Nach einer starken Internationalisierung im Jahr 2006, durch die Übernahme der Firma International Mining Consulting sowie weiterer nachfolgender Akquisitionen, umfasst die DMT Group heute 14 Ingenieur- und Consultingfirmen an 30 Standorten weltweit. Pro Jahr werden etwa 10.000 Projekte in über 150 Ländern realisiert. Dabei begleitet DMT Unternehmen auf allen Ebenen des Rohstoffzyklus, von der Begleitung der Explorationsvorhaben über Machbarkeitsstudien in allen Detaillierungsgraden und technische Bewertungen im Rahmen von Akquisitionsprojekten bis hin zur Rolle des beratenden Ingenieurs auf Seiten des Eigentümers oder des Kreditgebers während der Entwicklung und Inbetriebnahme.

Heute stehen für DMT die Themen Technologie und Digitalisierung im Vordergrund, mit dem Ziel der Weiterentwicklung der langjährigen technisch-wissenschaftlichen Erfahrung und kontinuierlichen Qualitätssteigerung. In der Rohstoffindustrie werden diese Begrifflichkeiten unter dem Stichwort Bergbau 4.0 vereint.



Fig. 1. Main pillars of DMT's Mining 4.0 portfolio.

Bild 1. Themenschwerpunkte des Bergbau 4.0-Portfolios der DMT. Source/Quelle: iStock/DMT

raw material extraction can only be achieved with an increased degree of automation and digitalization. The introduction of remote-controlled equipment and autonomous machines can significantly reduce the deployment of employees in mining operations and thus the risk to human life. Furthermore, mine operators are faced with the challenge of maintaining and, where possible, further increasing the quality and quantity of raw materials under increasingly complex geological conditions. In addition, infrastructures that already have been taken for granted over years in our everyday lives have yet to be built and implemented within mining. This includes among other things the provision of internet reception with corresponding security standards in underground mining operations. Sensor technology, which is already standard in cars, must also be adapted to the special requirements of mining and the associated disturbing influences of dust, mechanical stress, extreme temperatures, water or explosive gases (1).

Through a broad market overview and in-house technical expertise, DMT can advise companies on the upcoming challenges of digital transformation with "Digital Due Diligence" or accompany them as a "Digital Owners Engineer". By leading TÜV NORD GROUP's engineering division, DMT already offers innovative and holistic Industry 4.0 solutions, which cover the following three main pillars (Figure 1):

- operations;
- people;
- processes.

In this context, the keyword "operations" represents the actual operational business. Here DMT offers both technologies developed in-house as well as services that provide companies with comprehensive guidance and support.

In addition to the development of such tailor-made operational solutions, the impact of the digital transformation on employees must not be neglected with regard to Mining 4.0. Especially far-reaching technological changes require broad acceptance among the workforce. In addition, long-standing employees in particular have to be trimmed for the challenges of digitalization. To this end, structure and culture within the company must be further developed. In close cooperation with the Digital Academy

Auch in dieser Hinsicht hat sich die digitale Transformation für DMT zu einem Kernthema entwickelt. Insbesondere in Hochlohnländern kann eine ressourcenschonende und wirtschaftliche Rohstoffgewinnung nur mit einem gesteigerten Automatisierungs- und Digitalisierungsgrad erreicht werden. Durch die Einführung remote-gesteuerter Gerätschaften und autonomer Maschinen kann der Einsatz von Mitarbeitenden in Bergbaubetrieben – und damit die Gefährdung von Menschenleben – stark reduziert werden. Weiterhin stehen Bergwerksbetreiber vor der Herausforderung, Rohstoffqualität und -quantität bei immer komplexeren geologischen Bedingungen aufrechtzuerhalten und wo möglich weiter zu steigern. Zudem müssen Strukturen, die in unserem normalen Alltag als seit Jahren gegeben vorausgesetzt werden, im Bergbau teilweise erst noch geschaffen und implementiert werden. Hierzu zählt u.a. die Bereitstellung von Internet mit dazugehörigen Sicherheitsstandards in untertägigen Bergbaubetrieben. Auch Sensorik, die in PKWs bereits zum Standard gehört, muss an die besonderen Anforderungen des Bergbaus sowie die damit einhergehenden Störeinflüsse durch Staub, mechanische Belastung, extreme Temperaturen, Wasser oder explosive Gase angepasst werden (1).

Durch einen breiten Marktüberblick sowie betriebsinterne technische Expertise kann DMT Unternehmen bei den anstehenden Herausforderungen der digitalen Transformation mit „Digital Due Diligence“ beraten oder als „Digital Owners Engineer“ begleiten. Dazu bietet DMT als Leader des Engineeringbereichs der TÜV NORD GROUP bereits heute innovative und ganzheitliche Industrie 4.0-Lösungen an, welche die nachfolgenden drei Themenschwerpunkte umfassen (Bild 1):

- Betriebsabläufe,
- Mitarbeitende,
- Prozesse.

Das Stichwort „Betriebsabläufe“ repräsentiert in diesem Zusammenhang das eigentliche operative Geschäft. DMT bietet hier sowohl eigenentwickelte Technologien als auch Dienstleistungen an, mit deren Hilfe Unternehmen ganzheitlich beraten und unterstützt werden.

Neben der Entwicklung derartiger maßgeschneiderter operativer Lösungen dürfen im Hinblick auf Bergbau 4.0 auch die



Fig. 2. Life cycle of the mining industry. // Bild 2. Lebenszyklus der Rohstoffindustrie.

of TÜV NORD GROUP, DMT hereto offers a corresponding enablement program for all employees of mining companies.

In addition, there is great potential for savings within mining companies through an integrated view of the technical and administrative areas. By introducing shared and interconnected digital systems along the entire value chain, from raw material extraction up to product distribution, quality, productivity and throughput times can be optimized. The streamlining of administrative processes by avoiding isolated solutions in the individual areas releases resources, which in turn can be used to further improve operational processes. DMT, in conjunction with an extensive network of partners, can rely on many years of experience in the field of process optimization.

## 2 Operational procedures

DMT is an emphatically driver of the trend towards increasing efficiency through digitalization within the raw materials sector. All processes along the entire value chain are affected by this trend, with a wide variety of technical solutions already available within the service portfolio. Beyond that, systematic approaches are conducted in order to continually expand the offering of digital products and services covering the entire life cycle (Figure 2) of raw materials extraction.

### 2.1 Reconnaissance

Reconnaissance often constitutes the early stage of mining projects. It is therefore decisive for the concentration of meaningful data allowing the recognition of geologically relevant patterns, thus enabling an initial localization and evaluation of potentially existing deposits. Its results build the foundation for the planning of further exploration projects. The high degree of uncertainty at this stage is the main reason for intensive efforts to minimize investment risks. The use of state-of-the-art digital technologies allows the acquisition and evaluation of high-quality data through the optimal deployment of man and equipment.

Auswirkungen der digitalen Transformation auf die Mitarbeitenden nicht außer Acht gelassen werden. Gerade tiefgreifende technologische Veränderungen erfordern eine breite Akzeptanz in der Belegschaft. Zudem müssen insbesondere langjährige Angestellte für die Herausforderungen der Digitalisierung fit gemacht und hierzu auch die Struktur und vor allem die Kultur im Unternehmen weiterentwickelt werden. DMT bietet hierzu in enger Kooperation mit der Digital Academy der TÜV NORD GROUP ein entsprechendes Befähigungsprogramm für alle Mitarbeitenden von Bergbauunternehmen an.

Darüber hinaus steckt innerhalb von Bergbaubetrieben ein großes Einsparpotential in einer ganzheitlichen Betrachtung der Bereiche Technik und Verwaltung. Durch Einführung gemein-

sam genutzter und miteinander verknüpfter digitaler Systeme, von der Rohstoffgewinnung bis zum Vertrieb der Produkte, lassen sich Produktqualität, Produktivität und Durchlaufzeiten optimieren. Die Verschlinkung administrativer Prozesse durch die Vermeidung von Insellösungen in den einzelnen Bereichen setzt Ressourcen frei, die wiederum zur weiteren Verbesserung der operativen Betriebsabläufe genutzt werden können. DMT kann in Verbindung mit einem umfangreichen Partnernetzwerk auf langjährige Erfahrungen im Bereich der Prozessoptimierung zurückblicken.

## 2 Betriebsabläufe

DMT treibt mit Nachdruck den Trend zur Effizienzsteigerung im Rohstoffsektor durch Digitalisierung voran. Davon betroffen sind mittlerweile alle Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette und vielfältige technische Lösungen sind schon heute im eigenen Leistungsportfolio enthalten. Darüber hinaus gibt es systematische Ansätze, das digitale Angebot kontinuierlich um neue Produkte und Dienstleistungen zu erweitern, um damit den gesamten betrieblichen Lebenszyklus (Bild 2) der Rohstoffgewinnung abzudecken.

### 2.1 Erkundung

Die Erkundung bildet häufig die Frühphase bergbaulicher Projekte. Sie ist entscheidend für die Konzentration aussagekräftiger Daten und die Erkennung geologisch relevanter Muster, die eine erste Lokalisierung und Bewertung eventuell vorhandener Lagerstätten möglich macht. Ihre Ergebnisse bilden die Grundlage für die Planung weiterführender Explorationsvorhaben. Das hohe Maß an Unsicherheit in dieser Phase ist der Hauptgrund für intensive Bestrebungen zur Minimierung des Investitionsrisikos. Der Einsatz moderner digitaler Technologien erlaubt die Erfassung und Auswertung qualitativ hochwertiger Daten durch einen optimalen Einsatz von Mensch und Gerätschaften. Solche Technologien ermöglichen auch die Fernerfassung von Daten in





Fig. 3. // Bild 3. DMT CoreScan<sup>®</sup>3. Photo/Foto: DMT

Such technologies furthermore enable remote data acquisition in regions of the world that are difficult to access or which contain a high security risk.

In order to support this working step efficiently, DMT, with the support of its technology partners, is capable to deploy adequately equipped drones. With regard to integrating future developments in this sector, the company is participating in a research project on the use of sensor-equipped drones within the framework of the EU-funded "EIT Raw Materials" program. Among other things, DMT is developing important technology modules in the form of a software solution that enables the integration of acquired data with standard software such as ArcGIS and AutoCAD, thus greatly accelerating the creation of geological maps.

## 2.2 Exploration

Technical progress within the context of Industry 4.0 also has a significant influence on exploration. New developments in the automation of data acquisition, evaluation, analysis, and model generation can have a positive effect on the invested amount of time and money. One example is the DMT CoreScan<sup>®</sup>3 (Figure 3), which enables the complete (360°) digitization and evaluation of drill cores as well as their transfer to an associated drill core database. In addition to the analysis of the mineral inventory and the grain size distribution, a detailed structural evaluation can also be carried out in this way.

Further DMT solutions in the field of exploration include the implementation of seismic methods such as 2D and 3D reflection seismics, refraction seismics, seismic tomography, as well as their interpretation and modelling. The results can be used to create

schwer zugänglichen Regionen der Welt oder in solchen mit einem hohen Sicherheitsrisiko.

Zur effizienten Unterstützung dieses Arbeitsschritts ist DMT mithilfe von Technologiepartnern u. a. dazu in der Lage, entsprechend ausgerüstete Drohnen einzusetzen. Im Hinblick auf die Einbindung zukünftiger Entwicklungen in diesem Sektor partizipiert das Unternehmen an einem Forschungsprojekt zur Nutzung sensor-bestückter Drohnen im Rahmen des EU-geförderten Programms „EIT Raw Materials“. Dort entwickelt DMT u. a. einen wichtigen Technologiebaustein in Form einer Softwarelösung, welche die Integration der gewonnenen Daten mit Standard-Software wie ArcGIS und AutoCAD ermöglicht und so die Erstellung von geologischen Karten enorm beschleunigt.

## 2.2 Explorationsgeologie

Der technische Fortschritt im Rahmen von Industrie 4.0 beeinflusst auch die Explorationsgeologie maßgeblich. Hier können sich neue Entwicklungen bei der Automatisierung von Datenerfassung, -auswertung, -analyse und Modellgenerierung positiv auf den Zeit- und Kostenaufwand auswirken. Ein Beispiel hierfür ist der DMT CoreScan<sup>®</sup>3 (Bild 3), mit welchem Bohrkern vollumfänglich (360°) digitalisiert, ausgewertet und in eine dazugehörige Bohrkerndatenbank überführt werden können. Neben der Analyse des Mineralbestands und der Korngrößenverteilung kann so beispielsweise auch eine detaillierte strukturelle Auswertung vorgenommen werden.

Weitere DMT-Dienstleistungen im Rahmen der Explorationsgeologie beinhalten die Durchführung von seismischen Methoden wie 2D- und 3D-Reflektionsseismik, Refraktionsseismik, seismische Tomografie sowie deren Interpretation und Modellierung. Die Ergebnisse können für die Erstellung eines „digitalen Zwillings“ der Lagerstätte genutzt werden, der kontinuierlich und idealerweise in Echtzeit aktualisiert wird. Besondere Herausforderungen sind hierbei die Kanalisierung und das Auswerten großer Datenmengen. Ein weiterer Aspekt ist, dass gerade in der geologischen Modellierung der Hintergrund und das Fachwissen des Modellierers die Interpretation der Lagerstätte beeinflussen. Durch einen gesteigerten Automatisierungsgrad kann die Abhängigkeit von persönlichen Erfahrungen bei der Modellierung reduziert und so der Grad an Objektivität erhöht werden. DMT verwendet hierfür moderne Spezialsoftware, in welcher Arbeitsabläufe hinterlegt und gespeichert werden können, die eine bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ermöglichen.

## 2.3 Planung und Projektbewertung

Die Durchführung von Bergbauplanungen begleitet Betreiber entlang weiter Teile des Rohstoffzyklus. Zur Bewertung eines Projekts muss anhand einer langfristigen Planung die technische und wirtschaftliche Machbarkeit nachgewiesen werden. Im operativen Geschäft wiederum werden in regelmäßigen Abständen ergänzende kurz- und mittelfristige Planungen erstellt. Insbesondere erstere müssen oft täglich aktualisiert werden, um Maschinen und sonstige Ressourcen optimal einzusetzen. Hierbei besteht durch Automatisierung und Digitalisierung ein besonders hohes Kosteneinsparpotential. So kann beispielsweise bereits beim Auffahren von Strecken in untertägigen Bergwerken oder beim Erstellen von Sprengbohrlöchern im Tagebau durch den

a “digital twin” of the deposit, which is continuously updated, ideally in real time. Particular challenges in this regard are the channelling and evaluation of large amounts of data. Another aspect is that, especially in geological modelling, the background and expertise of the modeller influences the interpretation of the deposit. By increasing the degree of automation, the dependence on personal experience in modelling can be reduced, thus increasing the degree of objectivity. For this purpose, DMT uses modern special software, in which workflows can be stored and saved, thus enabling a better reproducibility of the results.

### 2.3 Planning and project evaluation

The implementation of mine planning accompanies operators alongside large parts of the raw materials cycle. In order to evaluate a project, its technical and economic feasibility must be demonstrated based on long-term planning. Within the operational business, in turn, supplementary short- and medium-term planning is carried out at regular intervals. Specifically the former often has to be updated daily in order to make optimum use of machinery and other resources. Here, automation and digitalization offer a considerably high potential for cost-savings. The geological model, e. g., can already be updated while excavating stopes or drives in underground mines or while drilling blast holes in open-pit mines by employing suitable sensor technology. As a further aspect, the use of dispatch systems can record travel paths as well as idle- and downtimes of mining equipment in real time, thus enabling significant reductions in cycle times.

DMT supports owners and lenders in determining resources and reserves in accordance with international standards by conducting feasibility studies. In this process, the foundation for further planning is laid by creating three- or four-dimensional models (Figure 4) and by setting up initial databases. For visualization purposes, the opportunities of state-of-the-art Virtual Reality (VR) technology are used. With VR glasses, planning can

Einsatz geeigneter Sensorik das geologische Modell verdichtet werden. Als weiterer Aspekt können durch den Einsatz von “Dispatch-Systemen” Fahrwege sowie Leerlauf- und Stillstandzeiten von Bergbaumaschinen in Echtzeit erfasst und so signifikante Verkürzungen der Zykluszeiten ermöglicht werden.

DMT unterstützt Eigentümer und Kreditgeber bei der Ressourcen- und Reservenbestimmung nach internationalen Standards im Rahmen von Machbarkeitsstudien. Hierbei wird durch die Erstellung von drei- oder vierdimensionalen Modellen (Bild 4) und durch den Aufbau erster Datenbanken der Grundstein für weitere Planungen gelegt. Zu Visualisierungszwecken wird nach aktuellem Stand der Technik auf die Möglichkeiten der Virtual Reality (VR) zurückgegriffen. Mit VR-Brillen können Planungen auch für fachfremde Personen im wahrsten Sinne des Wortes greifbar gemacht werden. Durch den Einsatz von Spezialsoftware und einen breiten Marktüberblick ist DMT in der Lage, seinen Kunden ganzheitliche Lösungen anzubieten, die das Einbinden von Daten aus unterschiedlichen Quellen ermöglichen. Dazu gehören sowohl Lagerstättendaten als auch Maschinendaten oder solche aus geotechnischen Monitoring-Systemen. Im Rahmen von Due-Diligence-Studien können bestehende Bergbaubetriebe außerdem auch allgemein hinsichtlich ihres Automatisierungs- und Digitalisierungspotentials beraten werden.

Ergänzend zur Beratung von Bergbauunternehmen ist DMT an der Mitentwicklung von CERA beteiligt, einem standardisierten analytischen und ganzheitlichen Zertifizierungssystem, welches die ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit bei der Gewinnung, Verarbeitung, dem Handel und der Herstellung aller mineralischen Rohstoffe einschließlich fossiler Brennstoffe gewährleistet. Es garantiert die sichere Rückverfolgbarkeit von zertifizierten Rohstoffen durch den Einsatz verschiedener Technologien und Herkunftsnachweismethoden entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Digitale Technologien, wie Distributed Ledger beziehungsweise Blockchain, nehmen dabei, z. B. als Transaktionsdatenbanken, eine Schlüsselrolle ein, um Handel und Transportwege verifizierbar zu verfolgen.

### 2.4 Konstruktion

Bei der Umsetzung von Bergbauprojekten kann DMT auf eine lange Erfahrung sowohl im Infrastrukturbereich als auch im Anlagenbau zurückgreifen. Das Unternehmen verfügt dazu über maßgeschneiderte Ingenieurlösungen aus einer Hand. Speziell in wirtschaftlich volatilen Zeiten bedarf es einer verlässlichen und effizienten Planung, um Budget-, Termin- und Kostensicherheit zu garantieren, sowie nachhaltige Projekterfolge zu generieren. Das impliziert Verlässlichkeit in der Planung und im laufenden Betrieb durch intelligentes und ganzheitliches Engineering, den Einsatz moderner Messsysteme und Methoden, die Anwendung hoher Qualitätsstandards mit entsprechender Zertifizierung, sowie durch erweitertes Spezial-Know-how.

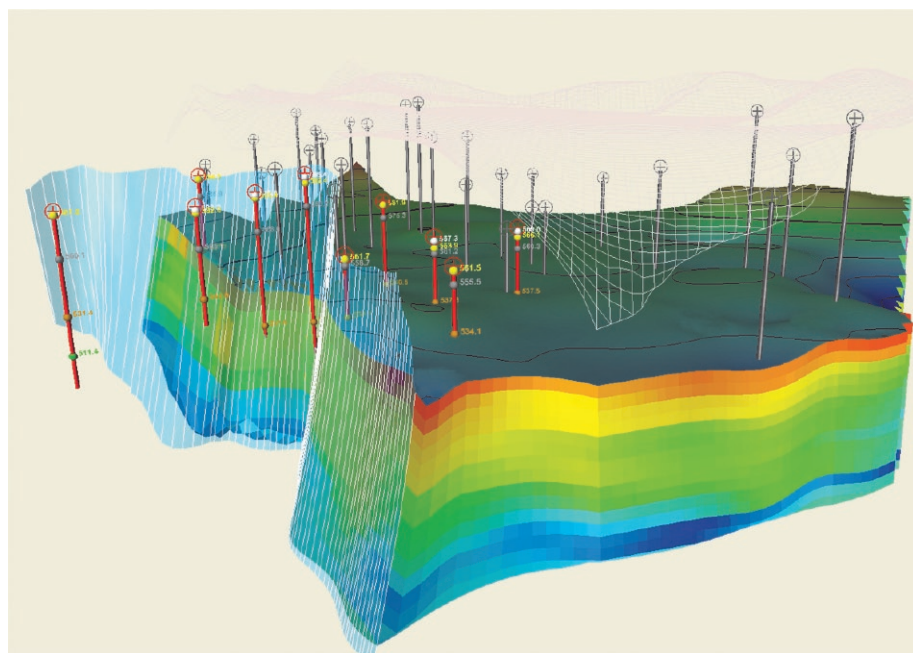


Fig. 4. Utilization of special software for the 3D visualization of a resource deposit.

Bild 4. Einsatz von Spezialsoftware zur 3D-Visualisierung von Lagerstätten. Photo/Foto: DMT

be made tangible in the truest sense of the word, even for non-specialists. By utilizing special software and a broad market overview, DMT is able to offer its customers holistic solutions that enable the integration of data from various sources. These include deposit and machine data as well as data from geotechnical monitoring systems. Within the framework of "Due Diligence" studies, existing mining operations can also be advised about their general automation and digitalization potential.

In addition to advising mining companies, DMT is also involved in the development of CERA, a standardized analytical and integral certification system that guarantees the ecological, social and economic sustainability of mineral extraction, processing, trade and upgrading of all raw materials, including fossil fuels. It enables the reliable traceability of certified raw materials by using various technologies and proof of origin methods along the value chain. Digital technologies, such as Distributed Ledger or Blockchain, play a key role as transaction databases, e.g., in order to trace trade and transport routes in a verifiable manner.

## 2.4 Construction

With respect to the implementation of mining projects, DMT can rely on longstanding experience in both infrastructure and plant construction. For this purpose, the company offers tailor-made engineering solutions from a single source. Particularly in economically volatile times, reliable and efficient planning is required to guarantee budget, schedule and cost security as well as to generate sustainable project success. This implies reliability in planning and operations through intelligent and thorough engineering, the utilization of modern measuring systems and methods, the application of high quality standards with appropriate certification, as well as extended specialized expertise.

Especially with regard to measuring systems, digitalization makes an enormous contribution to increasing productivity, transparency and safety at work. It by way of example has led to a reduction in construction times for mining-related infrastructure projects and has contributed to a more efficient use of investment capital. DMT is represented in this segment with measuring instruments such as the IMAGER 5006EX, the world's only high precision, explosion-proof 3D laser scanner. The fully automatic GYROMAT can furthermore record and wirelessly transmit measurement data in real time. With a diameter of less than 2.5 cm, the DMT SlimBoreholeScanner allows logging the number and condition of joints in equally small boreholes and subsequently visualizes them along the entire length. In turn, geo and ground-penetrating radar enables high-resolution exploration of the subsoil in order to examine road surfaces, transmission lines and boreholes. The data from all devices can be combined, processed and visualized according to the respective purpose with in-house data platforms.

## 2.5 Optimization of mining operations

Nowadays, the conventional opportunities for cost savings have been exhausted in most mining operations. The automation of processes using digital technologies is therefore the only viable option to survive under the high price and produc-

Speziell im Hinblick auf Messsysteme leistet Digitalisierung einen enormen Beitrag zur Erhöhung von Produktivität, Transparenz und Arbeitssicherheit. Diese hat so beispielsweise zu einer Verringerung der Konstruktionszeiten von bergbaurelevanten Infrastrukturprojekten geführt und zu einer effizienteren Nutzung von Investitionskapital beigetragen. Im betreffenden Segment ist DMT mit Messgeräten wie dem weltweit einzigartigen, hoch-präzisen, explosionsgeschützten 3D-Laserscanner IMAGER 5006EX vertreten. Der vollautomatische GYROMAT kann zudem markscheiderische Messdaten in Echtzeit erfassen und kabellos übertragen. Mit einem Durchmesser von unter 2,5 cm erlaubt es der DMT SlimBoreholeScanner, in entsprechend kleinen Bohrlöchern Anzahl und Zustand von Klüftungen zu erfassen und entlang der gesamten Länge digital zu visualisieren. Geo- und Bodenradar ermöglichen wiederum hochauflösende Erkundungen des Untergrunds zur Untersuchung von Straßenflächen, Trassen und Bohrungen. Die Daten aller genannten Geräte können in hauseigenen Datenplattformen zusammengeführt, verarbeitet und entsprechend dem jeweiligen Zweck dargestellt werden.

## 2.5 Betriebliche Optimierung des Abbaus

In der heutigen Zeit sind die konventionellen Einsparungsmöglichkeiten in den meisten Bergbaubetrieben ausgeschöpft. Die Automatisierung der Prozesse mithilfe digitaler Technologien stellt daher den einzig gangbaren Weg dar, um unter dem hohen Preis- und Produktivitätsdruck im Rohstoffsektor bestehen zu können. Durch die effizientere Auslastung der eingesetzten Ressourcen und den erhöhten Ausnutzungsgrad der Lagerstätten sind so vielerorts immer noch Einsparungen im zweistelligen prozentualen Bereich zu erwarten. Die digitale Transformation bietet zusätzlich die Gelegenheit, eine stärkere Bindung zwischen den verschiedenen Interessengruppen im Betrieb zu erzielen, die bestehende Wissensbasis zu erweitern, neue Trainingsmethoden aufzusetzen, zusätzliche Märkte zu erschließen und eine wesentliche Verbesserung der Arbeitssicherheit im täglichen Betrieb herbeizuführen (2).

In diesem Zusammenhang verfügt DMT über die Plattform MineSafe®. Diese wurde als hauseigenes Maschinendiagnosesystem speziell für die Zustandsüberwachung von Maschinen und Anlagen in der Bergbau- und Aufbereitungsindustrie (Pumpen, Brecher, Großbandanlagen, Fahrzeuge, etc.) entwickelt. Durch die Bereitstellung aller Kernfunktionen und Komponenten eines modernen Online Condition Monitorings kann MineSafe auch als kundenspezifisches, steuerungsintegriertes System realisiert werden und steht derzeit als solches bereits auf der Automatisierungsplattform von Caterpillar zur Verfügung. Der modulare Aufbau ermöglicht ein breites Einsatzspektrum und einen hohen Grad an Erweiterungsfähigkeit durch die relativ einfache Integration bestehender Steuerungssysteme. So entwickelt DMT aktuell „MAMMA (Maintained Mine and Machine)“ mit dem Ziel der signifikanten Reduzierung der Wartungskosten von Gerätschaften und Anlagen im Bergbaubetrieb durch die Konzentration, Verarbeitung und übersichtliche Darstellung aller relevanten Daten. Im Ergebnis führt dies zu verlängerten Wartungsintervallen und erhöhter Verfügbarkeit der Gerätschaften. Auch im Bereich der Bewetterung werden systematische Anstrengungen unternommen, um mit dem Einsatz von Ventilati-

tivity pressure inside the raw materials sector. More efficient utilization of employed resources and increased recovery of deposits can in many cases lead to double-digit percentage savings. The digital transformation also offers the opportunity to tighten the bonds between the various interest groups within a company, to expand the existing knowledge base, to set up new training methods, to open up additional markets and to induce significant improvements in occupational safety in daily operations (2).

In this context, DMT provides the MineSafe® platform. It was developed as an in-house machine diagnosis system specifically designed for the condition monitoring of machines and plants in the mining and processing industry (pumps, crushers, large belt conveyors, vehicles, etc.). By supplying all core functions and components of a modern online condition monitoring system, MineSafe can also be implemented as a customer-specific, controller-integrated system and is currently available as such on the automation platform of Caterpillar. The modular design allows a wide range of applications and a high degree of expandability through the relatively simple integration of existing control systems. DMT is currently developing "MAMMA (Maintained Mine and Machine)" aiming at significantly reducing the maintenance costs of machinery and systems within

on on Demand (VOD)-Systemen bedarfsgerechte und adaptive Anwendungen zu realisieren.

Durch den umfangreichen Kundenstamm sowie durch die Beziehungen zu großen Geräteherstellern gleichermaßen wie zu kleineren Anbietern neuer Technologien aus dem Bergbau 4.0-Umfeld verfügt DMT über einen ausgezeichneten Überblick der eingesetzten Technologien und ihrer Effektivität. Unabhängig davon, ob es sich um die Automatisierung einzelner individueller Arbeitsschritte oder um die Anpassung kompletter Prozessketten handelt, verfügt DMT über die Kompetenz, Unternehmen bei der Auswahl der Lösung beratend zur Seite zu stehen und bei der Umsetzung zu begleiten.

## 2.6 Umweltaspekte

Neben hoher Produktivität gehören auch Sicherheit, Effizienzsteigerung, Nachhaltigkeit und Transparenz zu den Zielen von Bergbau 4.0 (3). Negative Umweltauswirkungen in Verbindung mit Bergbauaktivitäten, wie beispielsweise in jüngerer Vergangenheit der Dammbbruch einer Eisenerzmine, nehmen noch viel zu oft obere Plätze in den Schlagzeilen ein. Um solche Ereignisse zu vermeiden, sind neben fundierten Planungen auch kontinuierliche Überwachungsmaßnahmen nötig. Hierfür wurde die Webplattform DMT SAFEGUARD entwickelt, in welcher Sensoren



mining operations by concentrating, processing and cleanly visualizing all relevant data. This leads to extended maintenance intervals and increased availability of the equipment. Systematic efforts are also under way in the area of ventilation in order to implement adequate and adaptive applications through the utilization of Ventilation on Demand (VOD) systems.

DMT has an excellent overview of the technologies in use and their effectiveness thanks to its extensive customer base as well as its relationships with both major equipment manufacturers and smaller suppliers of new technologies within the Mining 4.0 environment. Irrespective of whether it is a question of automating individual work steps or adapting complete process chains, DMT has the expertise to advise companies on the selection of a solution and to support them during its implementation.

## 2.6 Environmental aspects

In addition to high productivity, the objectives of Mining 4.0 include safety, increased efficiency, sustainability and transparency (3). Negative environmental impacts associated with mining activities, such as the recent tailings dam collapse at an iron ore mine, still too often occupy top positions in the headlines. To avoid such events, continuous monitoring measures are necessary in addition to sound planning. For this purpose, the DMT SAFEGUARD web platform has been developed in which sensors are embedded in complex geomonitors with alarm functions to record ground movements, object deformations, vibrations, seismicity or geotechnical parameters. It is irrelevant whether the data is recorded and archived only several times a day or more than 1,000 times a second, and also whether it is temperature, water level, vibration or video data. All information is automatically visualized according to needs and requirements and can be accessed at any time, decentralized and location-independent via a web portal.

Based on SAFEGUARD, DMT is currently developing an all-in-one solution for the monitoring of tailings as part of the EIT RawMaterials project STINGS and is already using it successfully at a model site in South America. This includes the planning and installation of a sensor network for the geotechnical monitoring of tailings, as well as the use of remote sensing techniques to detect ground movements. All measurement data is stored in a central database, which enables the creation of complex models to assess the safety of the plants and to detect and warn against dangers at an early stage.

## 2.7 Mine closure and site remediation

At the end of a raw materials cycle, the closure of the mining operation is usually combined with reclamation. Such processes are also known as perpetual loads. In Germany, mine operators have to set aside provisions during the extraction phase to ensure that the mine can be rehabilitated in an orderly manner (4). A prominent example for this is the management of pumps for mine water in the Ruhr and Saar area. Optimization, automation and digitalization are required instruments to secure that the costs do not exceed the amount of safety provisions. As part of its water management activities, DMT compiles three-dimensional images of ground and surface water. This provides mine

in komplexe Geomonitorsysteme mit Alarmfunktion eingebettet werden, um Bodenbewegungen, Objektverformungen, Erschütterungen, Seismizität oder geotechnische Parameter zu erfassen. Dabei ist es unerheblich, ob die Daten lediglich mehrmals täglich oder über 1.000-mal in der Sekunde erfasst und archiviert werden sowie ob es sich dabei um Temperatur, Wasserstands-, Erschütterungs- oder Videodaten handelt. Alle Informationen werden automatisch sowie bedarfs- und anforderungsgerecht visualisiert und sind über ein Webportal jederzeit dezentral und ortsunabhängig abrufbar.

Auf Basis von SAFEGUARD entwickelt DMT derzeit im Rahmen des EIT RawMaterials-Projekts „STINGS“ weiterhin eine Komplettlösung zur Überwachung von Tailings und setzt diese auch bereits erfolgreich an einem Modellstandort in Südamerika ein. Hierzu gehört die Planung und Installation eines Sensornetzes zur geotechnischen Überwachung der Absetzbecken oder Schlammteiche, genauso wie der Einsatz von Fernerkundungsverfahren, um Bodenbewegungen zu detektieren. Alle Messdaten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert, welche die Erstellung von komplexen Modellen ermöglicht, um die Sicherheit der Anlagen zu bewerten und Gefahren frühzeitig zu erkennen und davor zu warnen.

## 2.7 Stilllegung und Rekultivierung von Bergwerken

Am Ende eines Rohstoffzyklus steht meist die Stilllegung des Bergbaubetriebs in Verbindung mit einer Rekultivierung. Derartige Prozesse werden auch als Ewigkeitslasten bezeichnet. Bergwerksbetreiber müssen in Deutschland in Teilen bereits während der Gewinnungsphase Rückstellungen zur Gewährleistung einer geordneten Wiedernutzbarmachung bilden (4). Ein prominentes Beispiel hierfür ist das Pumpen von Grubenwässern im Ruhrgebiet oder im Saarland. Damit die Kosten den Verfügungsrahmen der Sicherheitsleistungen nicht überschreiten, sind Optimierung, Automatisierung und Digitalisierung notwendige Instrumente. Im Rahmen des Wassermanagements erstellt DMT hierfür dreidimensionale Abbilder von Grund- und Oberflächenwasser. Dadurch erhalten Bergwerksbetreiber einen „digitalen Zwilling“ ihres Untergrunds, welcher wiederum komplexe weiterführende Analysen und Berechnungen ermöglicht. So können in verschiedenen Szenarien die Auswirkungen technischer Eingriffe vorweggenommen und die richtigen Maßnahmen abgeleitet werden.

Das bereits beschriebene SAFEGUARD-System kann in diesem Zusammenhang auch zur kontinuierlichen Überwachung stillgelegter Bergbaubetriebe eingesetzt werden. So werden abbauintuzierte Bodenbewegungen, wie z.B. Böschungsrutschungen erkannt und sogar prognostiziert. Das System ist verfahrensunabhängig und arbeitet mit allen Arten von Daten aus den Gebieten Geotechnik, Geodäsie, Geophysik, sowie Lärm und Erschütterung.

## 3 Mitarbeitende

Die zunehmende Digitalisierung birgt neben einer Vielzahl an Gelegenheiten auch neue und bisher unbekannte Herausforderungen, nicht zuletzt für die Mitarbeitenden und ihr gewohntes Arbeitsumfeld. Entsprechend endet sie auch nicht beim Einsatz digitaler Werkzeuge. In Deutschland haben mehr als die Hälfte der Industrieunternehmen die digitale Transformation bereits in



operators with a “digital twin” of their underground, which in turn enables complex further analyses and calculations. In this way, the effects of technical interventions can be anticipated in different scenarios and the right measures can be derived.

In this context, the SAFEGUARD system described above can also be used for the continuous monitoring of closed mining operations. In so doing, mining-induced ground movements such as slope failures can be detected and even predicted. The system is method-agnostic and works with all kinds of data from the fields of geotechnics, surveying, geophysics, noise and vibration.

### 3 People

Increasing digitalization generates, besides of a multitude of opportunities, also new and previously unknown challenges in equal measure, not least for employees and their familiar working environment. Accordingly, it is not supposed to end with the use of digital tools. In Germany, more than half of the industrial companies have already anchored digital transformation in their business strategy with the aim of simplifying processes, increasing sales, and improving customer satisfaction. Nevertheless, many companies shrink back from their own digital transformation. There are many reasons for this: 30 % of the companies identify inadequate digital qualification of their employees as a major problem and thus as a crucial implementation hurdle. In addition, more than half criticize that their company needs a more open failure culture (5).

These are precisely the points where DMT, in cooperation with the Digital Academy of TÜV NORD GROUP, comes into play as employees are the key to making a company more digital by its own power. The central element of the empowerment and motivation programme is a certified training course to become a “Digital Expert”. After all, the latest and best machines are only as good as the people operating them. The more digital the products, processes and machines are, the more important is the education and training of employees. Employees as well as managers must therefore likewise be prepared for thorough digital transformation. The various training offers in that regard can be individually adapted to the requirements and challenges of the respective companies in terms of content and duration. In addition, further modules for digital transformation, such as accompanying events series and employee networks, have already been successfully implemented internally and also made available to other companies externally.

For this dedication, TÜV NORD was awarded twice at the German Excellence Award 2020: on the one hand in the category “Transformation” and on the other hand in the category “Training and Further Education”, acknowledging the VR training of prospective experts for steam and pressure. At this point, TÜV NORD and DMT can also provide mining companies with tailored support solutions by both generic and customer-specific courses. One possible application is the use of VR in the education and training of employees on a wide variety of mining equipment, without having to interfere with the actual production processes.

### 4 Processes

Detailed analyses build the foundation for further process optimization. In cooperation with a professional network of part-

their Geschäftsstrategie verankert mit dem Ziel, so Prozesse zu vereinfachen, Umsätze zu steigern und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen. Dennoch schrecken viele Unternehmen vor ihrer eigenen digitalen Transformation zurück. Die Gründe hierfür sind vielfältig: 30 % der Unternehmen sehen eine unzureichende digitale Qualifikation ihrer Mitarbeitenden als großes Problem und damit als entscheidende Umsetzungshürde an. Sogar mehr als die Hälfte fordert, dass ihr Unternehmen eine offenere Fehlerkultur braucht (5).

Genau an diesen Punkten setzt DMT in Kooperation mit der Digital Academy der TÜV NORD GROUP an, denn Mitarbeitende sind der Schlüssel, um ein Unternehmen aus eigener Kraft digitaler aufzustellen. Im Zentrum des Befähigungs- und Motivationsprogramms steht eine zertifizierte Ausbildung zum “Digital Expert”. Die neuesten und besten Maschinen sind nämlich nur so gut wie der Mensch, der sie bedient. Je digitaler die Produkte, Prozesse und Maschinen sind, umso wichtiger ist die Weiterbildung und Schulung der Angestellten. Für die umfassende digitale Transformation müssen Mitarbeitende und Führungskräfte also entsprechend fit gemacht werden. Die unterschiedlichen Trainingsangebote hierzu können hinsichtlich Inhalt und Laufzeit individuell auf die Bedürfnisse und Herausforderungen der jeweiligen Unternehmen angepasst werden. Darüber hinaus wurden auch weitere Bausteine zur digitalen Transformation wie ergänzende Veranstaltungsreihen und Mitarbeiternetzwerke bereits sowohl intern erfolgreich umgesetzt als auch anderen Unternehmen extern zur Verfügung gestellt.

Für dieses Engagement durfte TÜV NORD beim Deutschen Exzellenzpreis 2020 zwei Auszeichnungen entgegennehmen: Zum einen in der Kategorie „Transformation“ sowie zum anderen in der Kategorie „Aus- und Weiterbildung“ für das VR-Training angehender Sachverständiger im Bereich Dampf und Druck. An diesem Punkt können TÜV NORD und DMT auch Bergbauunternehmen sowohl mit generischen als auch kundenspezifischen Trainings- und Schulungsangeboten passgenau unterstützen. Eine Möglichkeit stellt der Einsatz von VR in der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeitenden an den unterschiedlichsten Bergbaumaschinen dar, ohne dass dazu in den tatsächlichen Produktionsablauf eingegriffen werden muss.

### 4 Prozesse

Detaillierte Analysen sind die Grundlage weiterer Prozessoptimierung. In Zusammenarbeit mit einem professionellen Partnernetzwerk bietet DMT Beratungsleistungen an, die der Leistungssteigerung von Bergbaubetrieben im Sinne der „Operational Excellence“ dienen. Die Planung von Betriebsmitteln und Material, aber auch das Steuern von Kapitalflüssen und die Personalverwaltung gehören zu den herausfordernden administrativen Verantwortlichkeiten von Bergbauunternehmen. Der Einsatz moderner Enterprise Resource Planning (ERP)-Software im Hinblick auf Planungsprozesse sowie auf Automatisierungen bei der Abrechnung, Schichtplanung, Zeiterfassung und Rechnungslegung sind nur einige Beispiele, welche entsprechende Einsparpotentiale bewirken können. In der Regel werden ERP-Systeme von der kaufmännischen Abteilung eingeführt, um im weiteren Verlauf dann nach und nach auch das operative Geschäft abzubilden. Für die produzierenden Abteilungen eines

ners, DMT offers consulting services that serve to improve the performance of mining operations in terms of "Operational Excellence". The planning of equipment and materials as well as the control of cash flows and personnel management are challenging administrative responsibilities of mining companies. The use of modern Enterprise Resource Planning (ERP) software in terms of planning processes, as well as automation of accounting, shift planning, time recording and invoicing are just a few examples for the potential savings that can be achieved. Usually, ERP-systems are introduced by the commercial department in order to later on gradually penetrate the operative business. For the producing departments of a company, such systems result in advantages in material procurement and warehousing. By means of further analyses, it is also possible to timely identify materials that are required more frequently or are particularly critical for a smooth operating process. In so doing, countermeasures can be taken at the right time. As a result, there are fewer delays in production, unnecessary stored material is prevented, and capacities can be released.

Another cross-company process is the provision of IT infrastructure. It has already been pointed out, that structures being taken for granted over years in our everyday lives have yet to be build and implemented within mining. In addition to the area-wide provision of internet reception with corresponding security standards in underground mining operations, it can be noted that even in open-pit mining operations, communication via mobile data is not directly available due to shadowing effects and dead spots. Synergies can be created by taking a holistic view of the existing and future necessary infrastructures. Accordingly, DMT, in cooperation with global partners, supports and advises companies through its longstanding mining expertise and its broad knowledge of spanning processes by providing one-stop solutions to help them meet the challenges of digital transformation.

## 5 Summary

In recent years, the ongoing digitalization of mining has led to continuous changes in the way the raw materials sector explores resources, carries out mining operations, processes products and ultimately delivers them to its customers. This article illustrated the Mining 4.0 concept of DMT, which is based on the three pillars of "operations", "people", and "processes" and which covers digital transformation in a holistic way throughout the entire life cycle of the raw materials industry.

With regard to the digitalization of mining processes, state-of-the-art "4.0 solutions" include sensor technology, data platforms, a targeted IT infrastructure inside the company, human-machine interaction, as well as digital assistance and expert systems. For that purpose, DMT combines modern technologies with decades of experience within the raw materials sector in order to offer a broad portfolio of digital products and services in the fields of remote sensing, geomonitoring, and the remote monitoring and control of machines and equipment.

DMT furthermore teams up with the Digital Academy, a group-wide project of the TÜV NORD GROUP, which aims to make executives, employees, as well as products and processes of companies fit for digitalization. Ultimately, education and

Unternehmens ergeben sich durch derartige Systeme u.a. Vorteile bei der Materialbeschaffung und der Lagerhaltung. Durch weitergehende Analysen kann zudem frühzeitig erkannt werden, welche Materialien besonders häufig benötigt werden oder besonders kritisch für einen reibungsfreien Betriebsablauf sind, sodass rechtzeitig gegengesteuert werden kann. Als Resultat kommt es zu weniger Verzögerungen in der Produktion, unnötig gelagertes Material lässt sich einsparen und Kapazitäten können freigesetzt werden.

Als weiterer, unternehmensübergreifender Prozess ist das Thema Bereitstellung von IT-Infrastruktur zu nennen. Eingangs wurde bereits darauf hingewiesen, dass Strukturen, die in unserem normalen Alltag als seit Jahren gegeben vorausgesetzt werden, im Bergbau teilweise erst noch geschaffen und implementiert werden müssen. Zusätzlich zu der flächendeckenden Bereitstellung von Internet mit den dazugehörigen Sicherheitsstandards in untertägigen Bergwerksbetrieben lässt sich festhalten, dass auch in Tagebaubetrieben die Kommunikation über mobile Daten, bedingt durch Abschattungen und Funklöcher, nicht unmittelbar gegeben ist. Durch eine gesamtunternehmerische Betrachtung der vorhandenen sowie der zukünftig erforderlichen Infrastrukturen können Synergien geschaffen werden. Entsprechend unterstützt DMT durch langjährige Bergbauexpertise und durch breites Fachwissen hinsichtlich der umspannenden Prozesse in Kooperation mit weltweiten Partnern dabei, Unternehmen mit Lösungen aus einer Hand bei den Herausforderungen der digitalen Transformation anzuleiten und zu begleiten.

## 5 Zusammenfassung

Die fortschreitende Digitalisierung im Bergbau führte in den letzten Jahren zu kontinuierlichen Veränderungen in der Art und Weise, wie der Rohstoffsektor seine Ressourcen erkundet, den Abbau betreibt, die Produkte verarbeitet und sie letztendlich an seine Kunden liefert. Der Beitrag veranschaulicht das hauseigene Bergbau 4.0-Konzept der DMT-Group, das auf den drei Säulen „Betriebsabläufe“, „Mitarbeitende“ und „Prozesse“ beruht und ganzheitlich die digitale Transformation im gesamten Lebenszyklus der Rohstoffindustrie abdeckt.

Im Hinblick auf die Digitalisierung von Arbeitsprozessen beinhalten aktuelle „4.0-Lösungen“ u.a. Sensortechnologie, Datenplattformen, eine zielgerichtete IT-Infrastruktur im Betrieb, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine sowie digitale Assistenz- und Expertensysteme. Zu diesem Zweck kombiniert DMT modernste Technologien mit jahrzehntelanger Erfahrung im Rohstoffsektor, um ein breites Portfolio an digitalen Produkten und Dienstleistungen in den Bereichen Remote Sensing, Geomonitoring sowie der Fernüberwachung bzw. Steuerung von Geräten und Anlagen anzubieten.

DMT arbeitet darüber hinaus mit der Digital Academy zusammen, einem konzernweiten Projekt der TÜV NORD GROUP, das Führungskräfte, Angestellte sowie Produkte und Prozesse von Unternehmen fit für die Digitalisierung macht. Letztlich geht es bei den Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen darum, Herz und Verstand der Mitarbeitenden zu gewinnen, ihnen die notwendigen Kompetenzen und Fertigkeiten zu vermitteln, sowie ihnen geeignete Methoden und Werkzeuge an die Hand zu geben.

training measures are all about winning the hearts and minds of employees while helping them to acquire the necessary competences and skills, as well as providing them with suitable methods and tools.

Finally, “Operational Excellence” through the digitalization of supporting functions and administrative processes, such as human resources, accounting or procurement, plays another important role by realizing significant potentials for cost optimization. Here too, DMT is able to create value added for customers. On the one side, employees become enabled to identify and apply respective measures through a set of methods and tools for the systematic analysis of processes. On the other side, specific consulting services can be utilized as well.

Within the frame of its long-proven ability to pick up on new developments and integrate them into its own core competencies, DMT works with great passion on the digitalization of existing products and services, but also very intensively on the development of new digital business models. In the spirit of the motto ENGINEERING PERFORMANCE, the aim is to provide digitalized, intelligent and connected solutions for the raw materials industry – following the German concept Industry 4.0 – and thus – together with partners inside and outside the TÜV NORD GROUP – to help shaping the vision of a smart (autonomous) mine of the future.

Schließlich spielt auch die operative Exzellenz durch die Digitalisierung von unterstützenden Funktionen und administrativen Prozessen wie Personalwesen, Rechnungswesen oder Beschaffung eine wichtige Rolle, indem so erhebliche Potentiale zur Kostenoptimierung realisiert werden. Auch hier ist DMT in der Lage, einen Mehrwert für Kunden zu schaffen. Zum einen werden die Mitarbeitenden durch eine Reihe von Methoden und Werkzeugen zur systematischen Analyse von Prozessen in die Lage versetzt, entsprechende Maßnahmen zu identifizieren und anzuwenden. Auf der anderen Seite können auch spezifische Beratungsleistungen in Anspruch genommen werden.

Im Rahmen der langjährig bewiesenen Fähigkeit, neue Entwicklungen aufzugreifen und in die eigenen Kernkompetenzen zu integrieren, arbeitet DMT an der Digitalisierung bestehender Produkte und Dienstleistungen, aber auch an der Entwicklung neuer digitaler Geschäftsmodelle. Im Geiste des Leitspruchs ENGINEERING PERFORMANCE wird darauf abgezielt, digitalisierte, intelligente und vernetzte Lösungen für die Rohstoffindustrie – in Anlehnung an das deutsche Konzept Industrie 4.0 – bereitzustellen und so – gemeinsam mit Partnern innerhalb und außerhalb der TÜV NORD GROUP – die Vision eines intelligenten (autonomen) Bergwerks der Zukunft mitzugestalten.

#### References / Quellenverzeichnis

- (1) Clausen, E.; Nienhaus, K.; Bartnitzki, T.; Baltes, R. (2020): Bergbau 4.0. In: Frenz, W. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft. Berlin: Springer, S. 919–937.
- (2) Walsh, S.; Klein, P.; Simpson, G.; Swart, A.; Cormack, D.; Woods, J.; Ninio, B.; Davidse, A.; Labuhn, R.; Lane, A.; Jacobs, R. (2017): The digital revolution – Mining starts to reinvent the future. Sydney: Deloitte Toude Tohmatsu.
- (3) Bartnitzki, T. (2017): Bergbau 4.0 – Die Bedeutung der Industrie 4.0 für den Rohstoffsektor. In: Mining Report Glückauf 153 (2017) Heft 1, S. 25–31.
- (4) § 56 Abs.2 BbergG.
- (5) Deutsche Telekom AG (2019): Digitalisierungsindex Mittelstand 2019/2020. Abrufbar unter: [https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2019/11/techconsult\\_Telekom\\_Digitalisierungsindex\\_Industrie\\_2019.pdf](https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2019/11/techconsult_Telekom_Digitalisierungsindex_Industrie_2019.pdf).

#### Autoren / Autors

Christoph Klötzer M. Sc., Dipl.-Ing. Niklaos Christou and Dipl.-Ing. Julia Ridder, DMT GmbH & Co. KG, Essen/Germany, Dr. Ellen Rettig, TÜV NORD GROUP, Essen/Germany, Dr. Vassilis Roubos, DMT Group, Nottingham/UK