

The Digital Mine – Transparency in Operational Management for a Higher Level of Efficiency and Effectiveness

Mine operators have been facing enormous cost pressure caused by low prices for raw materials and challenging political parameters for some time now. A growing demand for cost reduction, increased efficiency, and minimization of maintenance efforts are some of the logical consequences. In order to meet these requirements, extensive optimization in the world's mining operations is essential. However, it should be noted that almost all optimization potential for the current technology has already been exploited to the greatest possible extent in the past. Thus creating additional possibilities to improve efficiency and effectiveness requires de-

velopment of a new range of topics, and to be open to reviewing current developments such as Industry 4.0 with respect to specific implementations.

When starting the design for the "Digital Mine" product, none of the key players – either from the operator nor the developer side – had been aware that the innovative approach and the thoughts and ideas of the modern topics of today, on which the fourth industrial revolution is based, had already been initiated back in those days.

Die Digitale Mine – Transparenz in der Betriebsführung für mehr Effizienz und Effektivität

Die Bergbaubetreiber sehen sich durch niedrige Rohstoffpreise oder anspruchsvolle politische Rahmenbedingungen schon seit längerem einem enormen Kostendruck ausgesetzt. Die logische Konsequenz sind wachsende Anforderungen an Kostenreduzierung, Effizienzsteigerung und Reduzierung der Instandhaltungsaufwände. Um dies zu erreichen, sind weitreichende Optimierungen auch in den Bergbaubetrieben dieser Welt erforderlich. Hierbei gilt es grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die größten Optimierungspotentiale in der eingesetzten Technik bereits in der Vergangenheit weitestgehend ausgeschöpft wurden. Will man also

weitere Möglichkeiten für Effizienz- und Effektivitätssteigerungen schaffen, muss man sich neue Themenfelder erarbeiten und sich aktuellen Entwicklungen, wie z.B. der Industrie 4.0, öffnen und sie auf spezifische Anwendungsmöglichkeiten hin überprüfen.

Als die Entwicklung des Produkts „Die Digitale Mine“ startete, war keinem der Akteure weder auf Betreiber- noch auf Entwicklerseite bewusst, welcher innovative Ansatz gewählt und welche grundsätzlichen Gedanken der heutigen, modernen Themen aus der vierten industriellen Revolution bereits damals vorgedacht wurden.

Automation, optimization, network

Within classic automation projects in the past, trades and equipment were always looked at individually. This is why e.g. excavators and loading carts, spreaders and tripper cars, bunker equipment, cranes, etc. became partially or fully automated and equipped with the relevant (local/peripheral/decentralised) sensor and actuator technology as well as logic. Most certainly not all equipment is state-of-the-art by today's standards, yet, there still is extensive potential to switch existing equipment from manual mode to the nowadays more common automated mode. However, it is much more in the operators' interest to regard the mining process as a whole and to create respective control domains, key figures or online analysing methods (Figure 1).

This approach reflects state-of-the-art technology and is also not new to the mining sector. Interconnecting all relevant partial processes and systems in the entire mining process has become

Automatisieren, Optimieren, Vernetzen

In den klassischen Automatisierungsprojekten wurden in der Vergangenheit immer nur einzelne Gewerke oder Anlagen betrachtet. So wurden z.B. Bagger und Beladewagen, Absetzer und Bandschleifenwagen, Bunkergeräte, Kräne usw. teil- oder vollautomatisiert und hierfür mit entsprechender (dezentraler) Sensorik, Aktorik und Logik ausgestattet. Sicher sind mit heutigem Datum auch hier noch nicht alle Geräte auf dem neuesten technischen Stand, und es gibt noch weitreichende Potentiale, existierende Geräte von der manuellen Betriebsweise zu einer vermehrt automatisierten zu entwickeln. Viel interessanter ist es jedoch für den Betreiber, die gesamte Wertschöpfungskette oder den gesamten Bergbauprozess zu betrachten und hierfür z.B. Regelkreise, Kennzahlen oder Onlineanalysemethoden zu entwickeln (Bild 1).

Dieser Ansatz stellt den heutigen Stand der Technik dar und ist auch im Bergbau kein Novum. In der Folge dieses Ansatzes

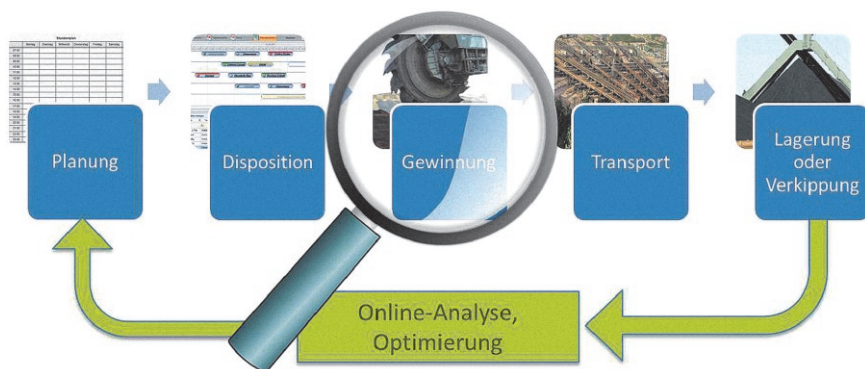


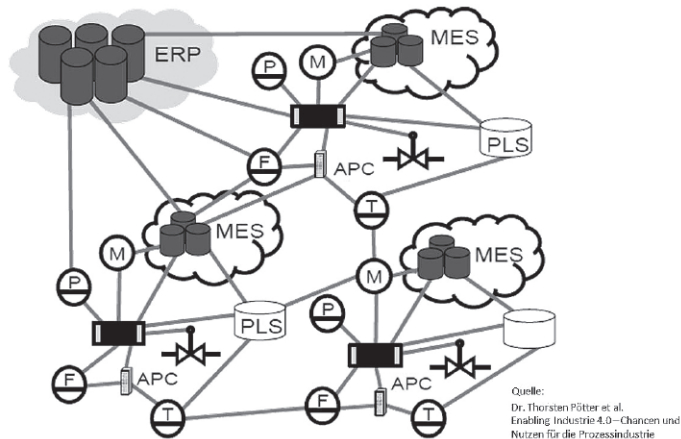
Fig. 1. Control loop for a mining process.
Bild 1. Regelkreis für einen Bergbauprozess.

vital and is a logical consequence of this approach. This means a network of data and processes which contrasts and occasionally conflicts with many historically grown system infrastructures. Keywords in this context are always safety, security and data protection – particularly if it involves the developments all around the so-called Internet of Things (IoT). Industry 4.0 is designed to in the best way possible support mining industry staff in the performance of their tasks, to automate process stages to the greatest extent possible, and to relieve employees of complex routine tasks. A basic requirement for this is interconnecting the infrastructure (Figure 2).

Interconnecting the infrastructure correlates with an enormous collection of data. The general need for this massive collection and archiving of process data and information is evident. However, one can only benefit from this comprehensive, transparent, accurate and immediate information to improve efficiency and effectiveness, if the data is also properly processed and evaluated for managing the operation. In addition, correlations have to be recognized and interpreted beyond system limits. Otherwise the data is worthless.

The main building blocks of a digital mine

By implementing the analogy of a classic CNC milling machine – and extraction equipment such as a bucket wheel excavator in an opencast mine is essentially nothing else, but just slightly bigger – and with the constant awareness of the bucket wheel position in the three-dimensional space, a three dimensional image that always shows the actual state of the extraction side of a



Quelle:
Dr. Thorsten Pötter et al.
Enabling Industrie 4.0 – Chancen und
Nutzen für die Prozessindustrie

Fig. 2. Interconnecting the infrastructure.
Bild 2. Vernetzung der Infrastruktur.

wird eine Vernetzung der im gesamten Bergbauprozess relevanten Teilprozesse und -systeme unerlässlich. Hierbei ist sowohl eine datentechnische als auch prozessuale Vernetzung gemeint, die im Gegensatz zu vielen historisch gewachsenen Systeminfrastrukturen und mitunter sogar im Konflikt zu ihnen steht. Schlagworte in diesem Zusammenhang sind immer wieder Safety, Security und Datenschutz – insbesondere dann, wenn man von den Entwicklungen rund um das sogenannte Internet of Things (IoT) spricht. Industrie 4.0 im Bergbau soll den Menschen bestmöglich bei der Durchführung seiner Aufgaben unterstützen, von aufwändigen Routinetätigkeiten entlasten und Prozessschritte weitestgehend automatisieren. Die Grundvoraussetzung hierfür ist die entsprechende Vernetzung der Infrastruktur (Bild 2).

Mit der Vernetzung der Infrastruktur geht auch eine enorme Sammlung von Daten einher. Die generelle Notwendigkeit der massiven Sammlung und Archivierung von Prozessdaten und Informationen steht außer Frage. Ein Nutzen aus diesen übergreifenden, transparenten, präzisen und schnellen Informationen für mehr Effizienz und Effektivität kann aber nur dann gezogen werden, wenn die Daten auch sinnfällig für die Betriebsführung aufbereitet und ausgewertet sowie Zusammenhänge über Systemgrenzen hinweg erkannt und interpretiert werden. Andernfalls sind die Daten nutzlos.

Die wesentlichen Bausteine der digitalen Mine

Unter Anwendung der Analogie einer klassischen CNC-Fräsmaschine – ein Gewinnungsgerät, wie z.B. ein Schaufelradbagger im Tagebau ist im Grunde genommen nichts anderes, nur etwas größer – und mit der ständigen Kenntnis der Position des Schaufelrads im absoluten dreidimensionalen Raum kann durch den Verschnitt des Schaufelrads mit dem bestehenden Geländemodell ein immer aktuelles dreidimensionales Abbild der Gewinnungsseite eines Abbaufelds erstellt werden. Hierbei werden die Informationen aus Lagerstättendaten ebenso verwendet wie Oberflächenmessungen durch regelmäßig stattfindende Befliegungen oder Daten von besonderen Objekten, wie z.B. Brunnen, Rohrleitungen, Fahrwege o.ä. Durch ein hochgenaues DGNS-System (Differential Global Navigation Satellite System) werden die Positionsdaten in eine SPS auf dem Gerät eingelesen und dort zu einem 3D-Gerätemodell weiterverarbeitet. Dies geschieht unter Einbeziehung etlicher sensorischer Daten der Gewinnungsmaschine. Das Modell bildet sie somit komplett in Realzeit im dreidimensionalen Raum ab. Jede beliebige Position kann auch im Nachgang durch geringe Anpassungen errechnet

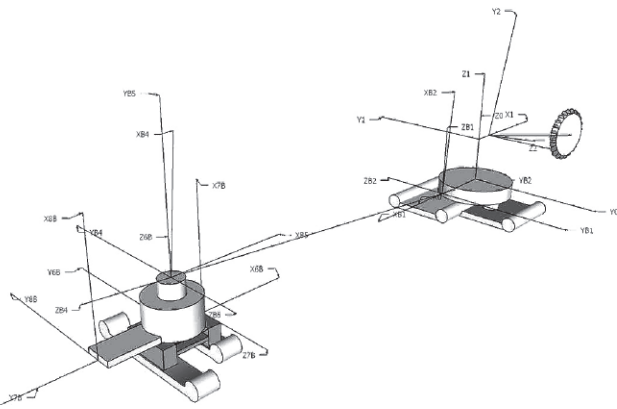


Fig. 3. Equipment model in a three-dimensional space.
Bild 3. Abbildung des Gerätemodells im dreidimensionalen Raum.

mining field can be generated with the combination of the bucket wheel and the existing terrain model. For the process, information is used from deposit data, as well as surface measurements from regular surveying flights, or data of special objects such as wells, pipes, roadways or similar. The positioning data is fed into a PLC on the device via a high-precision DGNSS system (differential global navigation satellite system) and processed into a 3D model unit. This is achieved by including data from several equipment sensors and thus rendering all the equipment in real time in a three-dimensional space. Consequently, any random position on the equipment can be calculated with minor adjustments even at a later time and subsequently be further used for other automation purposes (Figure 3).

A similar process is used in opencast mines on the dumping side of the spreader. Here, too, the aforementioned DGNSS system is applied with the highest standard of accuracy for the positioning of the model unit in three dimensional space. The discharge point plays a significant role with respect to the dumping

und für weitere Automatisierungszwecke weiterverwendet werden (Bild 3).

In ähnlicher Form wird im Tagebau auf der Verkippungsseite auf den Absetzern vorgegangen. Auch hier wird bei den höchsten Ansprüchen an die Genauigkeit der Positionierung des Gerätemodells im dreidimensionalen Raum das vorgenannte DGNSS-System eingesetzt. Jedoch ist am Absetzer zur Modellbildung der Verkippung insbesondere der Abwurfpunkt von Bedeutung. An der Spitze des Abwurfauslegers ist zusätzlich ein 3D-Laserscanner (alternativ zwei 2D-Laserscanner) installiert, der sekundlich großräumig den Bereich um den Auftreffpunkt des Materials scannt. Besondere Herausforderung hierbei ist das rechnerische Herausfiltern der Abwurfparabel des Materials, um Fehlmessungen und Artefakte im Geländemodell zu vermeiden (Bild 4).

Da das Material digital auch von der Gewinnungsseite zur Verkippungsseite transportiert werden muss, sind die beiden vorgenannten Prozessmodelle mit einem Transportmodell verbunden, welches für sich gesehen diverse Basisdaten zur Anlagen- und Prozessdiagnose bereitstellt, um u.a. die wesentlichen Funktionen, wie die qualitative Bestimmung der Energieeffizienz einer Bandanlage, die Vorausbestimmung der Transportzeit des Materials, die Bestimmung der Beladung auf einer Bandanlage oder die Visualisierung der Transportsituation, zu ermöglichen. Zusammenfassend ist es mit dem Transportmodell möglich, aktuell wie retrospektiv nachzuverfolgen, was lag wann und wo mit welcher Qualität und Masse auf dem Band (Bild 5).

Über den mitunter mehrere Kilometer langen Weg von der Gewinnung hin zur Verkippung erhalten die vielen „Materialpakete“ an jeder markanten Transportposition weitere Informationen oder Kennwerte, beispielsweise Messwerte aus einem Online-Analysator, Volumenstromdaten von einem Laserscanner, Masseninformationen und Beladungen von Bandwaagen, Mischungsverhältnisse bei 2:1-Förderung usw. Über diese Form der Verwendung von multisensorischen Daten können sodann Kalib-



Fig. 4. Scanning the discharge of the spreader.
Bild 4. Scannen des Materialabwurfs am Absetzer.



Fig. 5. Visualizing the transport situation in an open pit mine.
Bild 5. Visualisierung der Transportsituation im Tagebau.

model design of the spreader. On top of the discharge boom an additional 3D laser scanner (alternatively two 2 D laser scanners) is installed which scans every second on a large scale the area around the material impact point. A particular challenge is the process of mathematically filtering out the discharge pattern of the material in order to prevent faulty measurements and artefacts in the terrain model (Figure 4).

As the material has to be transported digitally from the extraction side to the dumping side, the two process models are interlinked with a transport model. This transport model in itself provides diverse basic data regarding equipment and process diagnosis in order to ensure major functions such as the qualitative determination of the conveyor belt's energy efficiency, predetermination of the material's transport time, determination of the load on a conveyor belt or the visualization of the transport situation. In summary, the transport model allows to trace, even in retrospect, what is or was when and where with which quality and mass on the conveyor, at present or in the past (Figure 5).

During the route from extraction to dumping, which can sometimes extend over several kilometres, the many "material packages" receive further information or parameters such as measuring values from an online-analyzer, flow rate data from a laser scanner, information regarding mass and load from conveyor belt scales, mixing ratios at 2:1 mining, etc. This technique of using multi-sensory data enables the application of calibrations in order to gradually increase the accuracy of the transport model by means of actual operational values (Figure 6).

rierungsmethoden angewendet werden, um die Genauigkeit des Transportmodells anhand von gesammelten Erfahrungswerten sukzessive weiter zu erhöhen (Bild 6).

Einbezug von Planung und Disposition

Durch die Vernetzung der beschriebenen, eher produktiv ausgelegten Bausteine der digitalen Mine mit der Planungs- und Dispositionsumgebung eines Bergwerks wird der mögliche Optimierungseffekt erst spürbar. Für die Gewinnungsseite können die Aufträge/Jobs auf dem aktuellen Stand des Geländemodells je nach Angebots- und Nachfragesituation erstellt und direkt zum abarbeitenden Gerät transferiert werden. Dies kann auch vorlaufend geschehen oder variabel in Abhängigkeit der betrieblichen Erfordernisse. Ein Operator kann vor Ort den gewünschten Job auswählen und bei Bedarf automatisch abarbeiten lassen. Die Vorgaben hinsichtlich betrieblicher Parameter, z.B. Förderleistung, Materialqualität und -beschaffenheit etc., sind bereits im Job enthalten und müssen nicht mehr vor Ort entschieden werden. Bei Besonderheiten bzw. außerplanmäßigen Ereignissen kann ein solches Qualitätsmanagementsystem schneller als bisher reagieren und passende Alternativen bereitstellen. Über die Kenntnis, welches Material wo gefördert und verkippt wurde, sind Rückschlüsse auf eine optimale Verwendbarkeit der in Zukunft zu fördernden Materialien möglich, was sich wiederum in der Planung und Disposition niederschlägt. Eine zunehmende Vernetzung der Prozesse und Systeme von der Sensorik/Aktorik bis hin zur Planungs- und Dispositionsebene ist somit Grundvor-



Fig. 6. Calibration of multi-sensory data.
Bild 6. Kalibrierung multisensorischer Daten.

Integration of planning and disposition

Only when interlinking the described building blocks of the digital mine geared to productivity with the planning and disposition environment of a mining operation is the potential optimization effect noticeable. For the extraction side, orders/jobs can be created according to current status of the terrain model and depending on the supply and demand situation and then directly transferred to the processing equipment. This may also happen in advance or variably depending on operational demand. An operator can select the desired job on site and has it processed automatically as required. The specifications with regard to operational parameters – e.g. mining capacity, material quality and consistency, etc. – are already included in the job and do not have to be determined any more. For specific characteristics or unforeseen events, such a quality management system is able to react faster than before and provide appropriate alternatives. The knowledge about which material was dumped where and where it was transported to allows drawing conclusions about an optimal future use of the mined materials, which in turn is reflected in the planning and disposition. An increasing network of sensor and actuator processes and systems all the way to the level of planning and disposition is therefore prerequisite for the further development of the initiated automation projects and the introduction of alternative modes of operation.

Conclusion and outlook

By imaging the current geometry and deposits under consideration of the existing material types and the planned mining body optimization in the planning of profits are as possible as quality oriented control of coal and overburden mining. With precise information to help comply with the target within the operational orders, the operators are supported in the optimized mode of operation and can adapt the specifications with regard to planning more easily. The basis for automated site measuring could be created and manual routine tasks may be reduced. Pilot-like operational orders were already implemented into the automation and were processed automatically – the foundation for further progress of the already started automation project has been laid. The goals for the application of Industry 4.0 mentioned can therefore be met and the theoretical approach is thus quite applicable for the mining industry (Figure 7).

Author / Autor

Dipl.-Ing. Holger Boxnick, Geschäftsführer der Actemium Fördertechnik Rheinland GmbH, Köln

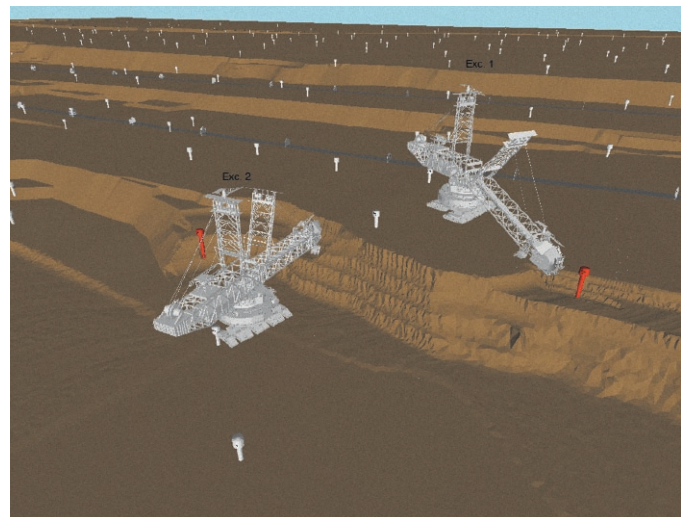


Fig. 7. Application of Industry 4.0 in a lignite open pit mine.
Bild 7. Einsatz von Industrie 4.0 im Braunkohlentagebau.

aussetzung für die Weiterentwicklung der begonnenen Automatisierungsvorhaben und den Einstieg in alternative betriebliche Verfahrensweisen.

Fazit und Ausblick

Durch die Abbildung der aktuellen Geometrie der Lagerstätte unter Berücksichtigung der anstehenden Materialarten und der geplanten Abbaukörper sind Optimierungen in der Gewinnungsplanung ebenso möglich wie eine qualitätsorientierte Steuerung der Kohle- und Abraumförderung. Durch präzise Informationen zur Einhaltung von Sollvorgaben innerhalb der Einsatzaufträge werden die Operatoren in der optimierten betrieblichen Fahrweise unterstützt, und sie können leichter die Vorgaben aus der Planung übernehmen. Die Grundlage für ein automatisiertes Aufmaß konnte geschaffen und routinemäßige manuelle Tätigkeiten können reduziert werden. Einsatzaufträge konnten bereits pilotartig an die Automation übergeben und automatisch abgearbeitet werden – das Fundament für die Weiterentwicklung der begonnenen Automatisierungsvorhaben ist also geschaffen. Die eingangs genannten Ziele für den Einsatz von Industrie 4.0 können demnach erfüllt werden, und der theoretische Ansatz ist somit durchaus auch für den Bergbau anwendbar (Bild 7).