

Real-Time Mining: Grade Monitoring und Control Cockpit

Dr.-Ing. David Buttgerit, Dr.-Ing. Sebastian Bitzen¹,
Prof. Dr.-Ing. Jörg Benndorf², Dr. M.W.N. Buxton³

¹ XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

² TU Bergakademie Freiberg

³ TU Delft

1 Einleitung

Mit dem Kick-Off Meeting im April 2015 in Delft (NL) begannen die Forschungsarbeiten im Rahmen des durch das Europäische Rahmenprogramm Horizon 2020 geförderten Projektes Real-Time Mining. Das Ziel von Real-Time Mining ist die Integration von sensorgestützten Monitoring-Systemen in die Gewinnung komplexer Erzlagerstätten, die gekoppelt mit Echtzeit-Datenanalyse und Aktualisierung des Ressourcenmodells sowie intelligenter Entscheidungsoptimierung die Betriebsführung unterstützen sollen. Das Konzept fördert einen Paradigmenwechsel von einer bisher diskontinuierlichen auf eine zukünftig kontinuierliche Prozessüberwachung und Qualitätssteuerung in der hochselektiven Gewinnung von Lagerstätten. Im Vordergrund stehen dabei die Steuerung und Optimierung von Gehalten und weiteren relevanten Charakteristika des gewonnenen Rohstoffes in Stoffströmen entlang der gesamten Prozesskette von Erkundung, Extraktion, bergbauliche Logistik bis zur Zerkleinerung.

Das interdisziplinäre Projekt integriert Forschung und Entwicklung in den Bereichen sensorgestützte Materialerkennung, Sensoren zur Erfassung von Leistungsindikatoren von Gewinnungsmaschinen, untertägige Navigation, Prozesssimulation der untertägigen Gewinnung, Optimierung der Betriebsführung sowie Echtzeit-Lagerstättenmodellierung. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes sollen zur Verbesserung der Prozess- und Energieeffizienz, Erhöhung des Nutzungsgrades natürlicher Ressourcen sowie zur Verringerung der Umweltauswirkung durch eine frühzeitige Eliminierung von Nebengestein aus der Prozesskette beitragen.

Das Real-Time Mining Konsortium besteht aus dreizehn europäischen Partnern aus fünf Ländern, wird durch das Ressource Engineering Institut der Technischen Universität in Delft koordiniert und durch einen internationalen

Beirat unterstützt. Neben Delft sind folgende Partner in Real-Time Mining involviert: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen; Imperial College of Science, Technology and Medicine London; Associacao do Instituto Superior Tecnico para a Investigacao e Desenvolvimento Lissabon; Nederlands Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek-TNO; Geovariances, Dassault Systems GEOVIA Ltd.; LSA-Laser Analytical Systems & Automation GmbH; XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH, SonicSampDrill BV; Technische Universität Bergakademie Freiberg; Spectral Industries B.V. und Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik.

2 Real-Time Mining: Ziele und Konzepte

Der aktuelle Stand der Technik in Rahmen der untertägigen Rohstoffgewinnung ist ein diskontinuierlicher Abbauprozess: Die einzelnen Schritte von der Exploration über die Planung, dem eigentlichen Abbau bis hin zur Abfertigung der Rohstoffe werden Schritt für Schritt nacheinander durchgeführt und eine Bewertung durch Soll-/Ist-Abgleich findet erst am Ende des gesamten Produktionsprozesses statt. Die Feststellung von Abweichungen hinsichtlich der Ausbringungsqualität zu diesem Zeitpunkt bietet daher erst viel zu spät die Möglichkeit zur Anpassung oder Optimierung der einzelnen Prozesse (siehe oberer Teil in Abbildung 1).

Das Ziel von Real-Time Mining ist nun die Entwicklung eines innovativen Frameworks für eine effektive Qualitätskontrolle zur Maximierung des Ressourcenpotentials entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf folgenden Punkten

- Untertägiger Bergbau in komplexen geologischen Bedingungen
- Kurzzeitplanung und Produktionskontrolle
- Steigerung der Ressourcen-Effektivität

Im Rahmen des Projekts werden die folgenden zwei Szenarien bei der Extraktion von Rohstoffen berücksichtigt: Zum einen die Extraktion durch den Einsatz von kontinuierlichen Gewinnungsmaschinen mit anschließendem Abtransport über Bandanlagen. Zum anderen die zyklische Extraktion durch Bohren und Sprengen mit anschließendem Abtransport der Ausbringung.

In beiden Szenarien wird bereits eine Vielzahl von Sensorik zur Erkennung und Charakterisierung von Materialien, zur Überwachung von Maschinendaten sowie zur Geo-Referenzierung eingesetzt. Ziel im Rahmen von Real-Time Mining ist es nun, sämtliche Daten in einem zentralen Datenmanagementsystem zusammen zu bringen und durch intelligente

Auswertung eine Online-Optimierung des Gesamtprozesses zu erreichen. Dieser kontinuierliche Prozess ist im unteren Teil der Abbildung 1 dargestellt.

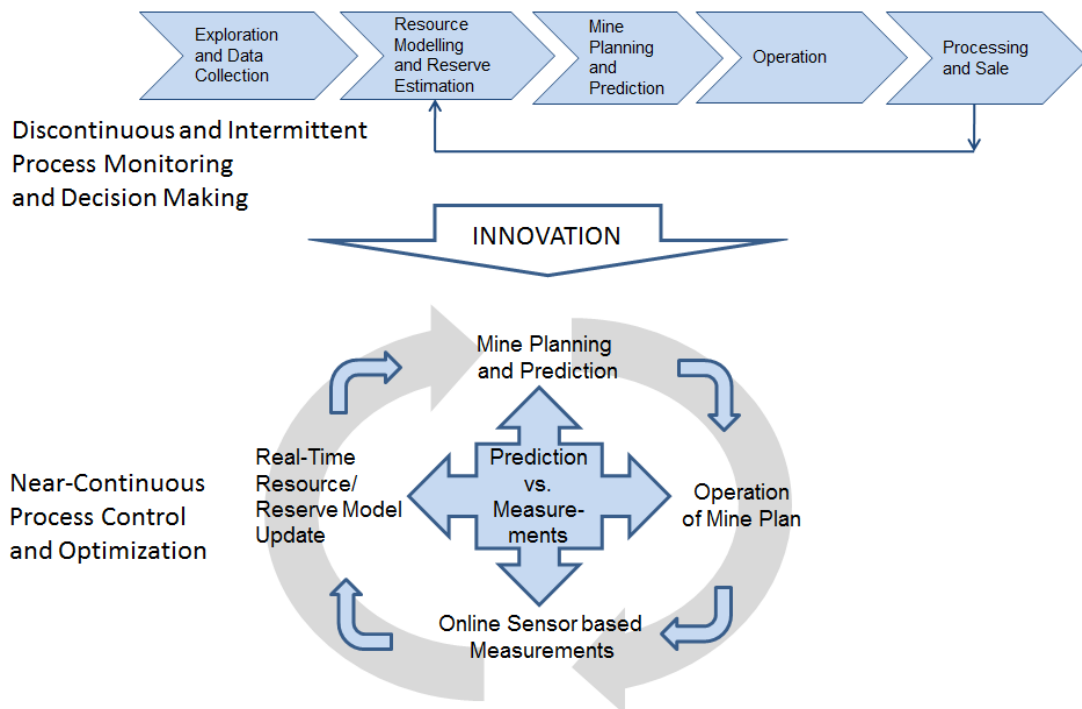


Abbildung 1: Paradigmenwechsel vom diskontinuierlichen Prozess hin zu einem in sich geschlossenen (kontinuierlichen) Echtzeit-Prozess

Die Entwicklung eines solchen Frameworks stellt signifikante Anforderungen an die verschiedenen für diesen Prozess relevanten Bereiche:

- Untertägiges Positionierungssystem
- Sensor-basierte Materialerkennung
- Sensor-basierte Maschinenüberwachung
- Vorhersage geologischer Gegebenheiten sowie Rohstoffqualität und -quantität
- Optimierung der Kurzzeit-Planung

Insbesondere die Integration sämtlicher heterogener Disziplinen in einen zusammenhängenden Gesamtprozess bietet große technologische Herausforderungen. Die verschiedenen Arbeitspakete und der Datenfluss zwischen den einzelnen Systemkomponenten ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

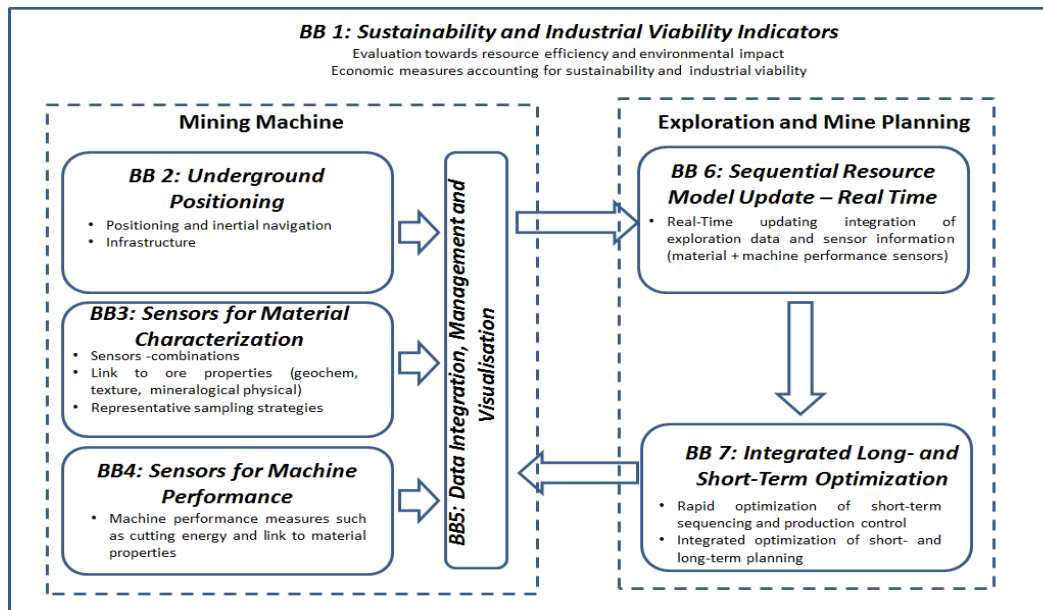


Abbildung 2: Darstellung der verschiedenen Komponenten von Real-Time Mining und dem Datenfluss zwischen den verschiedenen Arbeitspaketen

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitspakete des Projektes kurz erläutert.

BB1: Nachhaltigkeitsindikatoren

Um quantifizierbare Ergebnisse der im Rahmen des Projekts durchgeführten Maßnahmen erhalten zu können, werden verschiedene Indikatoren zur Bewertung der Nachhaltigkeit und industriellen Durchführbarkeit benötigt. Der Fokus liegt insbesondere auf den Bereichen Sicherheit, Wirtschaftlichkeit sowie Realisierbarkeit und Entwicklungsfähigkeit.

BB2: Untertägiges Positionierungssystem

Ein Kernpunkt zur Erreichung der Projektziele ist die Kenntnis der aktuellen Position der eingesetzten Geräte, Maschinen und Materialien. Im Rahmen des Projekts wird dazu ein untertägiges Positionierungssystem entwickelt und entsprechende Machbarkeitsstudien unter Realbedingungen durchgeführt. Die besonderen Herausforderungen sind hier vor allem die besonderen Anforderungen an die eingesetzte Sensorik wie auch die Datenkommunikation unter Tage.

BB3: Sensorgestützte Materialerkennung

Das Ziel von BB3 ist Entwicklung neuer Verfahren zur sensorgestützten Materialerkennung. Durch die Kombination verschiedener Sensoren und algorithmische Auswertungen sollen wichtige Informationen für die Online-Überwachung und die Prozessoptimierung geliefert werden. Sämtliche

Informationen werden außerdem für die Weiterverarbeitung (BB6, BB7) bzw. die Visualisierung (BB5) mit der zugehörigen räumlichen Position (BB2) versehen.

BB4: Sensorgestützte Maschinenüberwachung

Zu Optimierung des Gesamtprozesses können auch aktuelle Leistungsdaten der eingesetzten Bohrgeräte oder Schneidmaschinen einen wichtigen Beitrag leisten. In BB4 werden dazu Verfahren auf Basis verschiedener Sensorkombinationen wie Dehnungsmessstreifen, Infrarotkameras, Beschleunigungssensoren wie auch akustischer Emission untersucht.

BB5: Datenintegration, -management und Visualisierung

BB5 bildet das zentrale Modul des Projektes. Zum einen müssen hier die enormen Datenmengen aus den o.g. Arbeitspaketen verarbeitet, aufbereitet und gespeichert werden sowie entsprechende Schnittstellen bereitgestellt werden. Zum anderen wird im Rahmen von BB5 das Visualisierungscockpit zur 3D-Darstellung entwickelt, welches neben den aktuellen Geometrie- und Sensordaten auch die aus BB6 und BB7 resultierenden Optimierungen darstellt.

BB6: Echtzeit-Lagerstättenmodellierung

Einer der Kernpunkte im Real-Time Mining Konzept ist die Möglichkeit, aktuelle Sensordaten, die im Rahmen des Extraktionsprozesses gewonnen wurden, in „Echtzeit“ auszuwerten und für die Optimierung des Lagerstättenmodells zu nutzen. Im Rahmen von BB6 wird dazu ein geostatistisches Framework entwickelt, welches als Eingabe die in BB3 gewonnenen Materialinformationen und die Maschinendaten aus BB4 erhält. Das Ergebnis von BB6 dient dann als Input zur Optimierung des Gewinnungsprozesses in BB7.

BB7: Optimierung der Betriebsführung

Das Ziel von BB7 ist die Berechnung und Analyse des Optimierungspotentials durch die Integration von „Echtzeit“-Daten des Gewinnungsprozesses in die Verfahren zur Planung und Produktionskontrolle des Bergwerks. Um also den Kreis wie im unteren Teil von Abbildung 1 dargestellt schließen zu können, wird das Ergebnis von BB7 als aktuelles Lagerstättenmodell in BB5 verwendet und die Abweichungen und Möglichkeiten zur Optimierung des Gesamtprozesses sowie entsprechende Entscheidungshilfen im Visualisierungscockpit dargestellt.

BB8: Integration und Demonstration

Die Demonstration der Systemkomponenten/des Gesamtsystems wird unter nahezu Realbedingungen im Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche“ in Freiberg durchgeführt. Im Rahmen einer prototypischen Entwicklung soll hier auch die Integration der Projektergebnisse in das Konzept einer integrierten Gruben- und Sicherheitswarte gezeigt werden.

3 Schnittstellen und Datenmanagement

Die zentrale Komponente des hier entwickelten Systems ist der Baustein Nr. 5 „Datenintegration, -management und Visualisierung“. Wie in Abbildung 2 zu sehen, bildet BB5 die Schnittstelle zu allen anderen Arbeitspaketen, dient zur Verwaltung und Aufbereitung der Daten aus den verschiedenen Bereichen und schließlich der Bereitstellung für die Darstellung im Visualisierungscockpit, auf welches im nächsten Kapitel im Detail eingegangen wird.

Für die Umsetzung des Datenbanksystems wird auf die Expertise einiger Partner hinsichtlich branchenerprobter Software-Lösungen für Bergwerksplanung sowie Betriebsüberwachung zurückgegriffen. Die folgende Auflistung zeigt einen Auszug der wichtigsten Anforderungen an ein solches Datenbank-Management-System:

- Zentrale Datenhaltung sämtlicher Datensätze
- I/O-Schnittstellen
- Qualitätsmanagement
- Archivierung
- Benutzer-/Gruppenverwaltung
- Datenverschlüsselung
- Skalierbarkeit
- „Echtzeit“-Fähigkeit

Eine große Herausforderung ist die Konzeption und Entwicklung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Arbeitspaketen. Dazu wird auf Technologien und Datenformate nach dem aktuellen Stand der Technik zurückgegriffen, um eine möglichst robuste, aber ebenfalls nachhaltig erweiterbare und wieder verwendbare Lösung zu erhalten. Die Komplexität der Abhängigkeiten im Rahmen eines wie in diesem Projekt angestrebten kontinuierlichen Abbauprozesses wird in Abbildung 3 verdeutlicht.

Cyclic Underground Mining – Future State

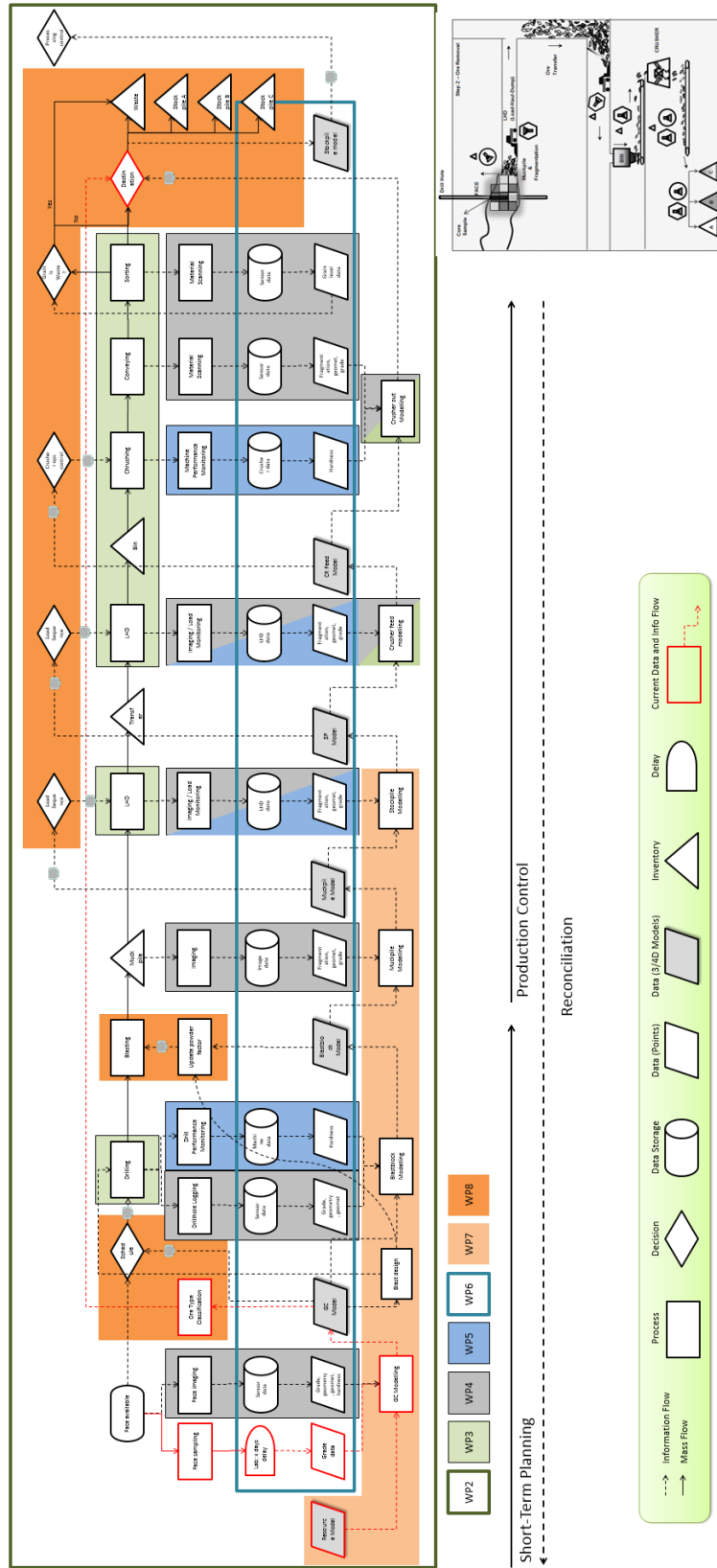


Abbildung 3: Real-Time Mining Daten- und Informationsfluss

In der ersten Phase der Projektlaufzeit sind zunächst sämtliche Anforderungen der verschiedenen Partner zusammengetragen worden und auf Basis aktueller Standards für Datenkommunikation und -formate wurde eine entsprechende Spezifikation für das Gesamtkonzept des Systems erarbeitet. Der nächste Meilenstein umfasste die detaillierte Spezifikation der Schnittstellen für die verschiedenen Arbeitspakete und die Anbindung an das Datenmanagement-Framework. Aktuell werden diese Schnittstellen von den verschiedenen Partnern implementiert und der nächste Schritt wird die Integration eines ersten prototypischen Gesamtsystems zur Datenkommunikation sein.

4 Visualisierung

Das im Rahmen von BB5 entwickelte sog. Visualisierungscockpit (siehe Abbildung 2) dient der Darstellung der aus den sensorbasierten Überwachungsprozessen resultierender Daten (BB2, BB3, BB4) sowie der berechneten Potentiale zur Prozessoptimierung (BB6, BB7).

Die Visualisierungskomponente ist als interaktive 3D-Applikation mit verschiedenen Bildschirmen für übersichtliche Darstellungen auf Basis der 3D-Bergwerksgeometrie geplant. Die Implementierung erfolgt auf Basis neuester Technologien und berücksichtigt insbesondere auch spezielle Anforderungen bei der Softwareentwicklung wie Anwenderfreundlichkeit, Performanz, Kompatibilität, Modularität und Erweiterbarkeit. Im Rahmen der Entwicklung wird dazu auf die Expertise der beteiligten Partner bei der Implementierung grafischer Applikationen und Prozessüberwachungssystemen für den Einsatz im untertägigen Bergbau zurückgegriffen.

Das Visualisierungscockpit gliedert sich in zwei Ebenen: Das „Planungsmodul“ bietet verschiedene Bildschirme, in denen die für die Kurzzeitplanung und Prozessoptimierung relevanten Informationen dargestellt werden. Im „Betriebsmodul“ werden aktuelle Positionen mobiler Einheiten und verschiedene Sensordaten georeferenziert am 3D-Modell dargestellt. Im Folgenden werden zunächst die einzelnen Komponenten des Planungsmoduls beschrieben.

Geologische 3D-Visualisierung

Auf dem Markt sind verschiedene Lösungen für eine dreidimensionale Ressourcenplanung verfügbar. Die Neuentwicklung eines solchen Tools ist natürlich nicht Schwerpunkt im Rahmen dieses Projektes. Jedoch wird das Real-Time Mining Cockpit eine proprietäre 3D-Darstellung der Lagerstätte bereitstellen, um eine möglichst intuitive Datenexploration zu ermöglichen.

Übersicht der Produktionsbereiche

Der Hauptbildschirm des Cockpits basiert auf einer interaktiven 3D-Darstellung des Grubengebäudes. Der Anwender kann das Modell drehen, verschieben und hinein- bzw. herauszoomen, um individuelle Ansichten zu erstellen. Auf Basis dieser Darstellung werden alle aktiven Betriebspunkte mit den zugehörigen Basisinformationen zu Mineralgehalt, Tonnage und Information zum Abbauplan angezeigt. Durch Auswahl eines Betriebspunktes gelangt man zur Detailansicht der Ortsbrust mit grafischer Angabe entscheidungsrelevanter Lagerstätteninformationen, dem sogenannten FaceView. Dieser zeigt das lokale Grade Control Modell (Kurzfristmodell mit Blockgehalten und Eigenschaften des Erzes) zur Optimierung der Bohrschemata und ermöglicht den Zugriff auf aktuelle Daten aus der Materialerkennung (Fotos, Klassifizierungen, ...).

3D-Visualisierung des Ressourcen-Modells

Im oben beschriebenen FaceView wird lediglich ein lokaler Auszug des gesamten Blockmodells für den jeweils selektierten Betriebspunkt dargestellt. Zusätzlich bietet das Cockpit die Möglichkeit, aus dieser Ansicht quasi „herauszuzoomen“, um das gesamte Blockmodell (Grade Control Modell) mit entsprechender Farbkodierung der verschiedenen Gesteinsqualitäten zu visualisieren.

2D/3D Visualisierung des Face Views

Eine sogenannte FaceMap besteht aus den RGB-Bildern des Gesteins an der entsprechenden Stelle und zugehörigen Klassifizierungen. Diese dienen der zusätzlichen Unterstützung des Entscheidungsprozesses hinsichtlich der Anordnung der nächsten Bohrlöcher im aktuellen Block. Zusätzlich dazu sind nun aus dem lokalen 3D-Grade Control Modell weitere Informationen über Qualität und Härte des Gesteins bekannt. Durch die Kombination dieser 2D-Oberflächendaten und dem 3D-Schnitt durch das aktuelle Modell kann nun der oben beschriebene Entscheidungsprozess deutlich verbessert werden. Dies wird ermöglicht über eine visuelle Auswertung der zu erwartenden Ausbringungsquantität und insbesondere -qualität in Abhängigkeit eines vorgegebenen Bohrlochschemas.

Editor für Optimierungsparameter

Für die in BB7 durchgeführte Optimierung werden verschiedene Parameter benötigt. Um diese durch einen Experten optimal anpassbar zu machen bietet das Cockpit einen entsprechenden Editor.

Das Betriebsmodul dient schließlich der Darstellung aktueller Statusinformationen zu Infrastruktur, Maschinen und mobilen Geräten im Produktivbetrieb unter Tage. Diese Komponente stellt die Schnittstelle zur integrierten Gruben- und Sicherheitswarte dar, welche im Rahmen der Demonstration der Systemkomponenten/des Gesamtsystems im Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche“ (BB8) konzeptuell vorgestellt wird.

Position und Statusdarstellung von Maschinen und Ausrüstung

Die aus BB2 resultierenden Positionen mobiler Einheiten unter Tage wie auch die Leistungsdaten eingesetzter Maschinen aus BB4 werden ebenfalls im Real-Time Mining Cockpit visualisiert. Dazu werden diese direkt am 3D-Modell des Grubengebäudes angezeigt, um eine möglichst intuitive Darstellung zu gewährleisten.

Aktuelle Messwerte, Warnungs- und Fehlermeldungen

Zusätzlich zu einfachen Statusanzeigen der eingesetzten Maschinen sind auch detaillierte Darstellungen spezifischer Maschinenparameter denkbar. Im Zuge der später angedachten Anbindung der hier entwickelten Lösung an eine integrierte Gruben- und Sicherheitswarte wird dies exemplarisch anhand einiger Leistungsdaten umgesetzt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel von Real-Time Mining ist die Entwicklung eines Frameworks für eine effektive Qualitätskontrolle zur Maximierung des Ressourcenpotentials entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dies wird erreicht durch die Integration von sensorgestützten Monitoring-Systemen in die Gewinnung komplexer Lagerstätten, die gekoppelt mit Echtzeit-Datenanalyse und Aktualisierung des Ressourcenmodells sowie intelligenter Entscheidungsoptimierung die Betriebsführung unterstützen. In dieser Arbeit wurden die grundlegenden Konzepte von Real-Time Mining vorgestellt und insbesondere auf die Komplexität der Schnittstellen und des Datenmanagements eingegangen. Eine zentrale Komponente des Gesamtsystems stellt auch das Visualisierungscockpit dar, dessen Komponenten ebenfalls kurz erläutert worden sind.

Aktuell ist gut ein Drittel der Projektlaufzeit verstrichen und nach der initialen Abstimmung und den grundlegenden Arbeiten ist die Entwicklung nun in allen Arbeitspaketen voll im Gange. Der nächste Meilenstein ist die Fertigstellung des Datenmanagementframeworks und die Integration der verschiedenen Schnittstellen.

Im Rahmen des Projekts wird eine Entwicklung bis hin zum Technologie-Reifegrad (TRL) 6 angestrebt. Die Funktionalität der verschiedenen Komponenten sowie des Gesamt-Frameworks wird durch prototypische Demonstration in einer realen Einsatzumgebung nachgewiesen werden. Dafür stehen das Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche“ in Freiberg sowie das Kupfer-Bergwerk Neves-Corvo in Portugal zur Verfügung. Die Vorstellung des ersten Demonstrators ist etwa in eineinhalb Jahren geplant.

Insbesondere neue Hardware-Technologien bieten vielfältige Möglichkeiten für innovative Erweiterungen des Visualisierungscockpits. Beispielsweise ist durch den Einsatz von Virtual-Reality Brillen eine immersive Exploration der 3D-Daten möglich. Dadurch können die relevanten Entscheidungsprozesse noch intuitiver gestaltet werden und diese Ansätze bieten daher interessante Möglichkeiten für weitere Arbeiten und etwaige Folgeprojekte.

6 Förderhinweis

Real-Time Mining wird durch das Forschungs- und Innovationprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union unter Grant Agreement No 641989 gefördert.

7 Literaturverzeichnis

- [1] R. Hünefeld und T. Küpper, „Untertägige Fahrzeugüberwachung und Materialverfolgung mittels drahtloser Datenübertragung,“ *Kolloquium Fördertechnik im Bergbau, Tagungsband, Clausthal*, p. 289ff., 2008.
- [2] R. Hünefeld, T. Küpper und J. B. H. Stimming, „ProNet 3D – Visualisierung markscheiderischer Daten im Intranet,“ *Wissenschaftliche Schriftenreihe im Markscheidewesen, Heft 21, Tagungsband 44. Wissenschaftliche Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins e.V.*, 2004.
- [3] S. Bitzen, D. Buttgerit und R. Hünefeld, „Mobiler Einsatz von Augmented Reality in der Instandhaltung,“ *Tagungsband "AKIDA - Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung"*, p. 453ff, 2010.
- [4] JSON Interface, „Introducing JSON,“ [Online]. Available: <http://www.json.org/>. [Zugriff am 14 10 2016].
- [5] Geostatistical Software Library, [Online]. Available: <http://www.gslib.com/>. [Zugriff am 14 10 2016].

- [6] Microsoft, „.NET,“ [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/net>. [Zugriff am 14 10 2016].
- [7] Microsoft, „Integration Services Programming Overview,“ [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms403344.aspx>. [Zugriff am 14 10 2016].
- [8] J. Benndorf, „Making use of online production data: sequential updating of mineral resource models. Mathematical Geosciences, in print, available online.,“ 2014.
- [9] RFC4180, "CSV file format specification," [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc4180>. [Accessed 14 10 2016].
- [10] Autodesk, "DXF file format," [Online]. Available: http://images.autodesk.com/adsk/files/autocad_2012_pdf_dxf-reference_enu.pdf. [Accessed 14 10 2016].
- [11] ISO 19136:2007, "Geographic information -- Geography Markup Language (GML)," [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=32554. [Accessed 14 10 2016].
- [12] Geostatistical Software Library, "GSLIB File Format," [Online]. Available: http://www.gslib.com/gslib_help/format.html. [Accessed 14 10 2016].
- [13] Dassault Systemes GEOVIA, "Hub," [Online]. Available: <http://www.geovia.com/products/Hub>. [Accessed 14 10 2016].
- [14] Dassault Systemes GEOVIA, "InSite," [Online]. Available: <http://www.geovia.com/products/InSite>. [Accessed 14 10 2016].
- [15] XGraphic GmbH, „MineView - 3D-basierte Überwachung von Bergwerken,“ 2014. [Online]. Available: <http://xgraphic.de/index.php?nav=MineView>. [Zugriff am 14 10 2016].
- [16] Oculus VR, „Oculus Rift - Virtual Reality Headset,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.oculusvr.com/>. [Zugriff am 14 10 2016].
- [17] OPC Foundation, the Industrial Interoperability Standard, „OPC UA Standard,“ [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>. [Zugriff am 14 10 2016].
- [18] IREDES initiative, "Whitepaper," [Online]. Available: <http://www.iredes.org/phocadownload/publicdownload/iredesonlinewhitepaper.pdf>. [Accessed 14 10 2016].