

Bergwerksplanung und interaktive Prozessüberwachung in der virtuellen Grubenwarte

David Buttgereit, Jörg Benndorf

XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH, TU Bergakademie Freiberg

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Rahmen des von der europäischen Kommission geförderten Forschungsvorhaben Real-Time Mining (Förderkennzeichen 641989) wurde eine Leitstand-Software entwickelt, mit der die heterogenen Daten der verschiedenen Partner in einer homogenen Benutzeroberfläche visualisiert und analysiert werden können. Das Visualisierungscockpit ist ein leistungsstarkes Modul, das die interaktive Darstellung von Lagerstättenmodellen, die 3D-Extraktionsplanung, integrierte Daten des Positionierungssystems sowie die Visualisierung von Sensor- und Maschinenleistungsdaten beinhaltet.

Neue Hardware-Technologien bieten heutzutage eine Vielzahl von Möglichkeiten für die innovative Umsetzung von Visualisierungslösungen. Der Einsatz von Virtual-Reality-Brillen ermöglicht eine immersive Erforschung der 3D-Daten. Dies ist noch intuitiver und komfortabler als eine "klassische" 3D-Visualisierung und bietet große Möglichkeiten zur Unterstützung einer optimierten Entscheidungsfindung. Insbesondere in der Bergbauindustrie stehen sehr heterogene und komplexe Datensätze zur Verfügung. Um die Exploration dieser Daten besonders intuitiv zu gestalten, ist der Einsatz der VR-Technologie besonders naheliegend und daher wurde die Cockpit-Software als „VR-ready“ konzipiert. Die Implementierung basiert auf modernsten Technologien unter Berücksichtigung spezieller Softwareentwicklungsanforderungen wie Benutzerfreundlichkeit, Performance, Kompatibilität, Modularität und Erweiterbarkeit.

ABSTRACT

As part of the research project funded by the European Commission (number 641989), a control station software was developed with which the heterogeneous data of the various partners can be visualized and analyzed in a homogeneous user interface. The visualization cockpit is a high-performance module that includes the visualization of deposit-model, 3D extraction planning, integrated data of the positioning-system as well as the visualization of sensor and machine performance data.

New hardware technologies offer a variety of possibilities for innovative implementation of visualization solutions. The use of virtual reality glasses enables immersive exploration of

the 3D data. This is even more intuitive and convenient than a “classic” 3D visualization and offer great opportunities to support optimized decision making. Especially in the mining industry very heterogeneous and complex data sets are available. To make the exploration of the data particularly intuitive, the use of VR technology is particularly obvious. The implementation of the cockpit software is carried out based on the latest technologies with respect to special software development requirements such as user-friendliness, performance, compatibility, modularity and expandability.

1 Einleitung

Die XGraphic GmbH entwickelt seit nunmehr 25 Jahren Individualsoftware und technische Systeme mit interaktiven grafischen Komponenten für vielfältige Einsatzgebiete. Die meisten dieser Anwendungen sind kundenspezifische Speziallösungen mit einem bestimmten Anwendungsbereich. Im Rahmen des von der europäischen Kommission geförderten Forschungsvorhaben Real-Time Mining (Förderkennzeichen 641989) wurde eine Leitstand-Software entwickelt, mit der die heterogenen Daten der verschiedenen Partner in einer homogenen Benutzeroberfläche visualisiert und analysiert werden können. Somit ist die Exploration der Daten, die Durchführung von Planungs- und Optimierungsaufgaben sowie die Überwachung von Prozessdaten mit ein und derselben Applikation möglich.

Die Implementierung erfolgt auf Basis modernster Technologien unter Berücksichtigung spezieller Anforderungen an die Softwareentwicklung wie Benutzerfreundlichkeit, Performance, Kompatibilität, Modularität und Erweiterbarkeit. Im Rahmen der Entwicklung wurde auf die langjährige Expertise bei der Umsetzung von grafischen Anwendungen und Prozessüberwachungssystemen für den Einsatz im Untertagebau zurückgegriffen. Darüber hinaus bieten neue Hardware-Technologien eine Vielzahl von Möglichkeiten für innovative Erweiterungen des Visualisierungscockpits. Auf Basis der Entwicklung eines proprietären VR-Frameworks im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts UPNS4D+ (Förderkennzeichen 033R126E) wurde das RTM-Cockpit als „VR-ready“ konzipiert und verschiedene Funktionalitäten auch bereits in VR umgesetzt.

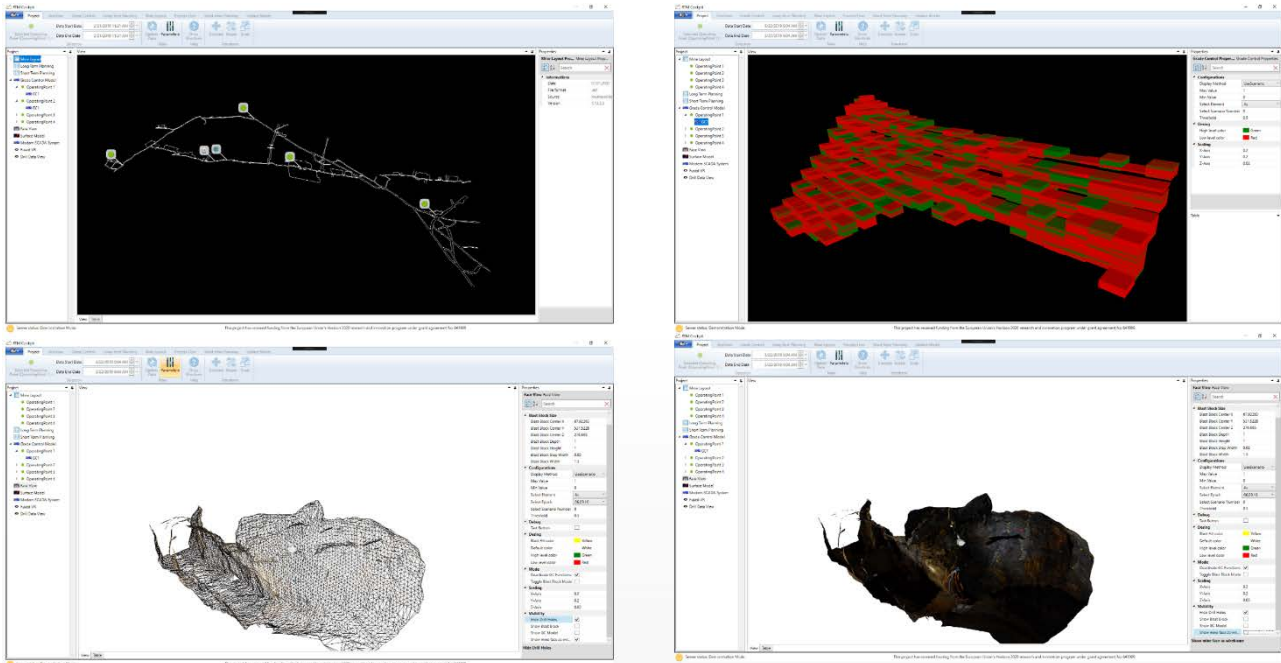
2 Cockpit-Software

Das im Rahmen des Real-Time Mining-Projekts entwickelte Visualisierungscockpit ist eine interaktive 3D-Anwendung mit verschiedenen Bildschirmen zur übersichtlichen Darstellung der aus den sensorbasierten Überwachungsprozessen resultierenden Daten sowie der berechneten Potenziale zur Prozessoptimierung auf Basis der 3D-Bergwerksgeometrie. Die Module beinhalten die Visualisierung des Lagerstättenmodells, die 3D-Extraktionsplanung, integrierte Daten des Positionierungssystems sowie die Visualisierung von Sensor- und Maschinenleistungsdaten. Es wurden verschiedene Tools zur Unterstützung der Betriebskontrolle und zur Optimierung der Entscheidungsfindung auf der Grundlage von Echtzeitdaten aus der zentralen Datenbank entwickelt.

Das Visualisierungscockpit ist in zwei Ebenen unterteilt: Die Planungssichten bieten verschiedene Bildschirme, in denen die für die kurzfristige Planung und Prozessoptimierung relevanten Informa-

tionen angezeigt werden. In den Betriebsansichten werden die aktuellen Positionen der mobilen Einheiten und verschiedene Sensordaten georeferenziert auf dem 3D-Modell dargestellt.

Der Hauptbildschirm des Cockpits basiert auf einer interaktiven 3D-Darstellung des Grubengebäudes. Der Benutzer kann das Modell drehen, verschieben und vergrößern/verkleinern, um individuelle Ansichten zu erstellen. Basierend auf dieser Darstellung werden alle aktiven Betriebspunkte mit den entsprechenden Basisinformationen über allgemeinen Status, Mineraliengehalte, Tonnagen und Informationen zum Abbauplan angezeigt. Durch die Auswahl eines Betriebspunktes können weitere Datensätze aufgerufen werden. Aufgrund der Georeferenzierung der Daten ist die gemeinsame Darstellung bzw. auch eine Überlagerung der verschiedenen Informationsschichten möglich.



3 Interaktive Visualisierung der Ortsbrust (“FaceView”)

Der wichtigste Bildschirm im Rahmen von Real-Time Mining ist der sog. „FaceView“ (Ortsbrustdarstellung). Hier laufen sämtliche Daten aus den verschiedenen Arbeitspaketen der Projektpartner in einem gemeinsamen Bildschirm zusammen.

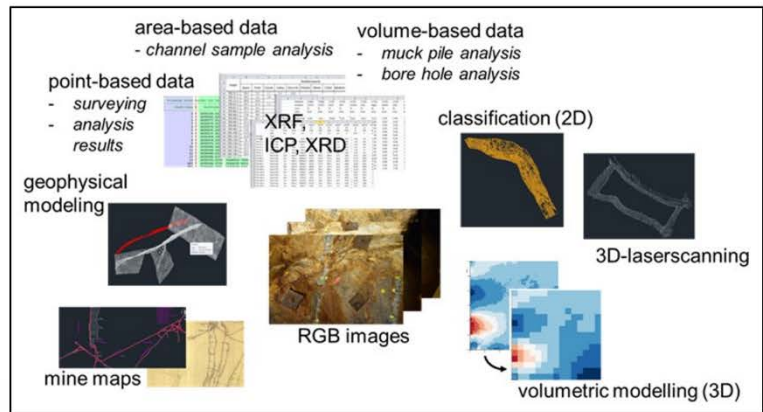
Auf Basis der untertägig erfassten Laserscan-Daten entstehen Punktwolken und durch Triangulierung dann Polygonmodelle der Strecken. Die Materialerkennung liefert georeferenzierte Bilder in Form von Fotos oder Klassifizierungen. Diese gilt es, den Geometriedaten geeignet zuzuordnen, um diese als Texturierung der Bergwerksgeometrie verwenden zu können. Dadurch wird erstens eine realistische Darstellung erreicht und außerdem eine interaktive visuelle Analyse der Datensätze möglich. Die dafür notwendigen Transformationen zur Berechnung der Texturkoordinaten basieren auf den gegebenen Kameraparametern und den Basiswechsellmatrizen der verschiedenen Koordinatensysteme. All diese Daten sind im Rahmen der Georeferenzierung in den Datensätzen bereits enthalten und werden aus dem Markscheidewesen geeignet zur Verfügung gestellt.

Um die Ladezeit der Applikation zu optimieren werden diese Daten zunächst vorberechnet und in einem geeigneten Datenformat abgespeichert. Dies muss natürlich bei einer Aktualisierung der Daten dann jeweils erneut durchgeführt werden.

Der FaceView stellt schließlich eine detaillierte Ansicht der Ortsbrust mit kontextsensitiven Informationen dar. Diese zeigt neben der Bergwerksgeometrie das lokale GradeControl-Modell zur Optimierung der Bohrschemata und ermöglicht den Zugriff auf aktuelle Daten aus der Materialerkennung.

```

1 ply
2 format ascii 1.0
3 comment File exported by RISCAN PRO
4 element vertex 8885
5 property float x
6 property float y
7 property float z
8 property uchar red
9 property uchar green
10 property uchar blue
11 element face 16619
12 property list uchar int vertex_indices
13 end_header
14 67.8817520141602 533.746276955469 275.496002197266 2 2 2
15 67.9612503051758 533.747985839844 275.475494384766 3 3 3
16 68.1445007324219 533.74224853156 275.462493896484 1 1 1
17 68.0442504882813 533.77001953125 275.460754394531 0 0 0
18 67.9492492675781 533.859497070313 275.465240478516 2 2 2
19 68.0587463378906 533.8642578125 275.44775390625 1 1 1
20 68.1282501220703 533.869506835937 275.4482421875 1 1 1
21 67.9317474365234 533.965759277344 275.454490291016 3 3 3
22 67.9532470703125 534.048522949219 275.445007324219 0 0 0
23 68.0490036010742 533.956481933594 275.447998046875 3 3 3
24 68.151496887207 533.9794921875 275.434265136719 4 4 4
25 68.0387496948242 534.050231933594 275.440734863281 3 3 3
26 68.1569976806641 534.047241210937 275.433258056641 2 2 2
    
```



```

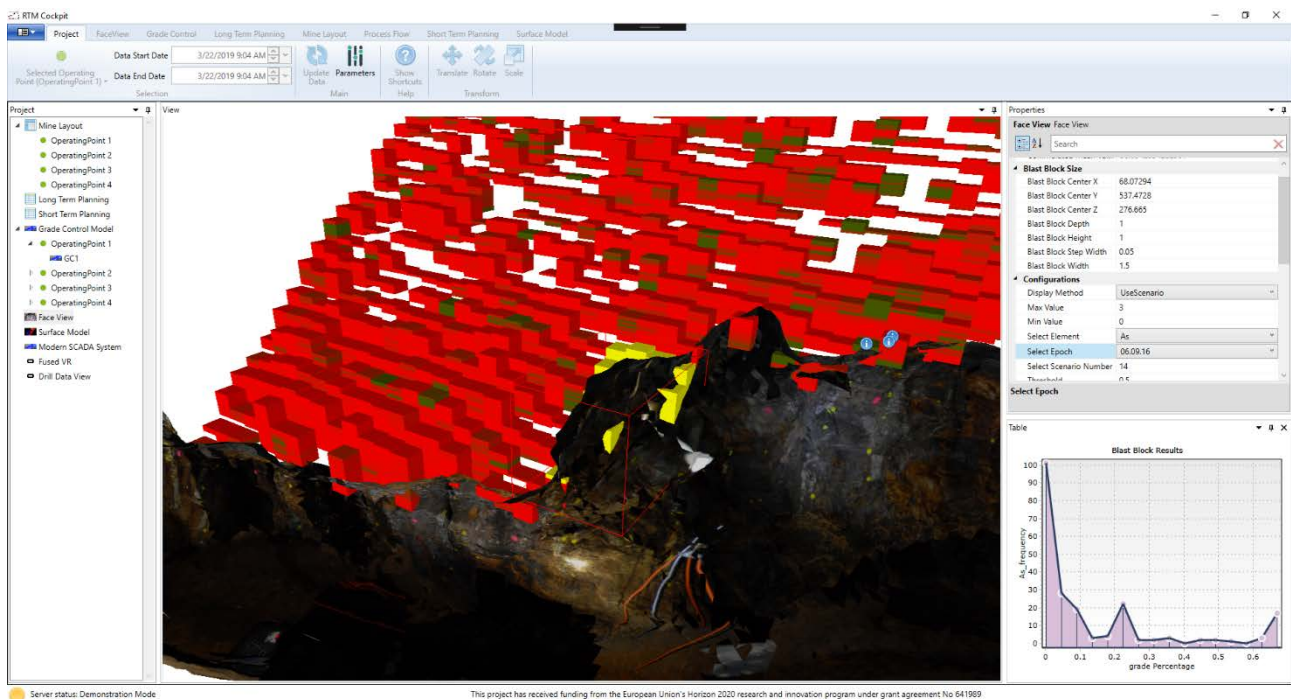
1 (GENERAL)
2 CameraSerial=194191310
3 CameraSerial=14109191
4 SensorModel=1811811
5 SensorSerial=1401124
6 SettingsAperture F, Exposure Time = 1/250 sec, F14
7 Velocity
8 Name=Ra1_1mm
9 (PARAMETERS)
10 Z=2337.48212373731101000
11 Fpx=187.091748374302000
12 k1=0.992833271875992
13 k2=0.994853833939008
14 k3=0.970363823719990
15 k4=0.988214620211890
16 Cx=1893.999432733800000
17 Cy=1326.556786580000000
18 px=0.000195894311105
19 py=0.001993332750990
20 N=2572
21 Np=152
22 Ns=0.000041000000000
23 Np=0.000041000000000
24 (CAMERA_MOUNTING)
25 Name=Mounting_Mo_14_1mm
26 ElementOrder=11794425
27 ElementOrder=0.026011049
28 ElementOrder=99482121
29 ElementOrder=0
30 ElementOrder=0.004859944
31 ElementOrder=0.994841119
32 ElementOrder=0.026960037
33 ElementOrder=0
    
```

```

public Vector2D CameraCoordinateToPixelCoordinate(Vector3D coordinate)
{
    var matrixA = new Matrix3D(Clip.fx, 0, 0, 0, Clip.fy, 0, Clip.Cx, Clip.Cy, 1);
    var uv = new Vector2D(uvStrich.x / uvStrich.Z, uvStrich.y / uvStrich.Z);
    //return uv;
    var x = (uv.X - Clip.Cx) / Clip.fx;
    var y = (uv.Y - Clip.Cy) / Clip.fy;
    var r2 = calculateSquare(uv);
    var r4 = r2 * r2;
    var r6 = r4 * r2;
    var r8 = r4 * r4;
    var ud = uv.X * x + Clip.fx * (Clip.k1 * r2 + Clip.k2 * r4 + Clip.k3 * r6 + Clip.k4 * r8) + 2 * Clip.fx * x * y * Clip.p1 + Clip.p2 * Clip.fx * (r2 + 2 * x * x);
    var vd = uv.Y * y + Clip.fy * (Clip.k1 * r2 + Clip.k2 * r4 + Clip.k3 * r6 + Clip.k4 * r8) + 2 * Clip.fy * x * y * Clip.p1 + Clip.p1 * Clip.fy * (r2 + 2 * y * y);
    //return new Vector2D(uv.X/clip.dx, uv.Y / clip.dy);
    return new Vector2D(ud / Clip.dx, vd / Clip.dy);
}

public Vector4D ProjectCoordinateToScannerCoordinate(string imageName, Vector4D coordinate, string scanPointName)
public Vector4D WorldCoordinateToProjectCoordinate(string imageName, Vector4D coordinate)
public Vector4D ProjectCoordinateToCameraCoordinate(string imageName, Vector4D coordinate)
public Vector4D ScannerCoordinateToMountingCoordinate(string imageName, Vector4D coordinate)
public Vector4D MountingCoordinateToCameraCoordinate(string imageName, Vector4D coordinate)
    
```

Neben den ebenfalls georeferenzierten Bohrlochdaten mit Informationen zu den Materialvorkommen steht auch das lokale GradeControl-Modell zur Verfügung, welches das Kurzzeitmodell mit Blockgehalten und Eigenschaften des Erzes darstellt. Für eine visuelle Datenanalyse stehen dem Anwender verschiedene Funktionalitäten zur Verfügung: Zunächst kann in der Applikation zwischen den verschiedenen Epochen hin und her geschaltet werden, um das GradeControl-Modell zu verschiedenen Zeitpunkten miteinander vergleichen zu können. Durch Auswahl verschiedener Filter können individuelle Farbkodierungen der einzelnen Blöcke vorgenommen werden, um die Gehalte gezielt auszuwerten zu können. Durch die Überlagerung von Bergwerksgeometrie und GradeControl-Modell kann schließlich eine interaktive Analyse des nächsten Sprengblocks bzw. auch der Ausbringung einer durchgeführten Sprengung erfolgen.

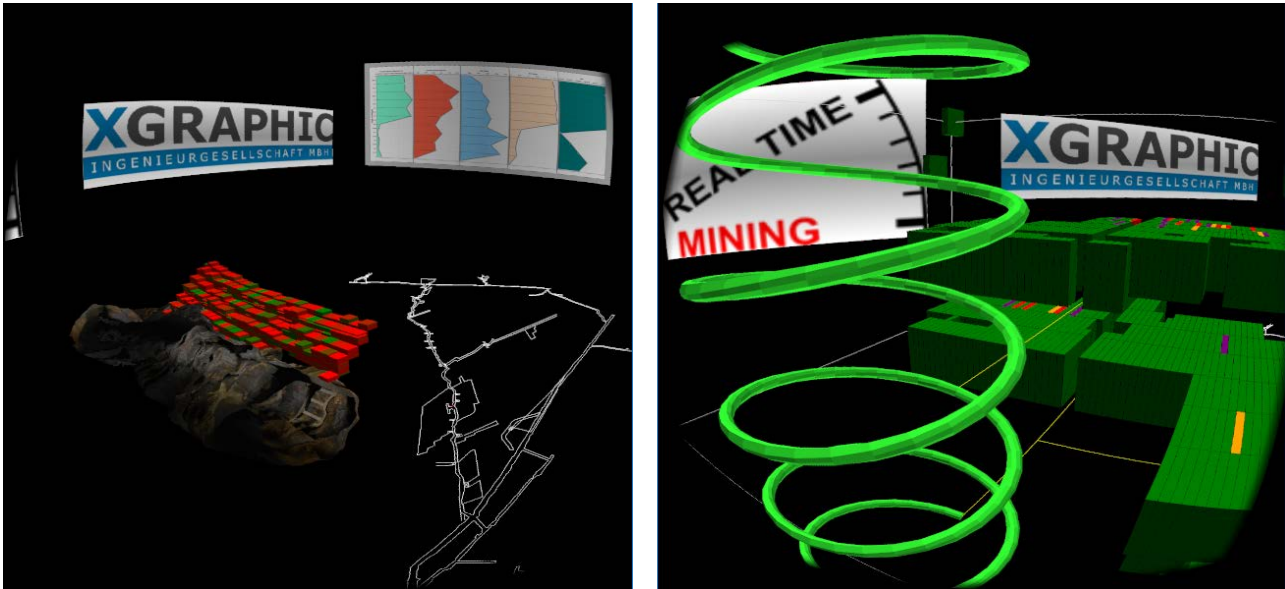


4 Virtual Reality

Virtual Reality (VR) ist definiert als eine computergenerierte Simulation einer realen Umgebung unter Verwendung spezieller Hardware. VR ist sowohl immersiv als auch hochgradig interaktiv und bietet großartige Möglichkeiten für die intuitive Erforschung dreidimensionaler Daten. Um eine genaue Definition von Begriffen zu geben, wird Augmented Reality (AR) definiert als Erweiterung der wahrgenommenen realen Umgebung durch virtuelle Überlagerungen mit kontextabhängigen Informationen. Beide Technologien (insbesondere VR) sind nicht neu, aber heute sind sie in Consumer-Hardware zu günstigen Preisen erhältlich. Es gibt verschiedene Technologien und viele verschiedene Anwendungsbereiche.

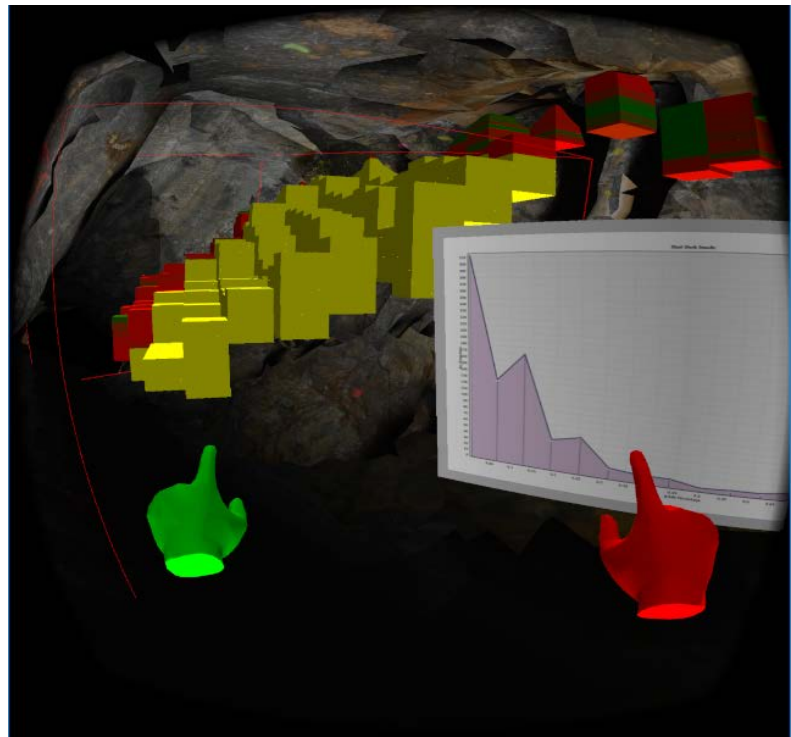
Zahlreiche Studien belegen das große Marktpotenzial für solche Anwendungen und Virtual/Augmented Reality-Anwendungen werden in einer Vielzahl von Bereichen eingesetzt. Zum Beispiel in speziellen Anwendungen für Architektur oder Automobilindustrie, aber auch in webbasierten Massenslösungen für Endverbraucher, wie z.B. in virtuellen Raum- oder Küchenplanern. Aufgrund der heutigen Verfügbarkeit sehr leistungsfähiger Hardware können solche Anwendungen auch von Endanwendern direkt auf einem Smartphone oder Tablet genutzt werden. Im Bergbau werden jedoch seit einigen Jahren meist sehr einfache und schematische 3D-Visualisierungen eingesetzt. Dabei dient das 3D-Modell in erster Linie als Navigationshilfe durch die großen Datensätze.

Die Realisierung von Virtual Reality-Anwendungen ist heute schon mit handelsüblicher Computerhardware möglich. Alles, was man benötigt, sind geeignete Bildschirme, eine leistungsstarke Grafikkarte und eine Datenbrille. Neben der VR-Darstellung auf Bildschirmen ist die Visualisierung über VR-Headsets eine weitere Möglichkeit. Ein solches Headset wird von einem Benutzer getragen und bietet aufgrund seiner Isolation von der Umgebung ein noch intensiveres Erlebnis als herkömmliche VR-Anwendungen. Ein VR-Headset besteht aus einer integrierten Lösung zur Darstellung eines an das jeweilige Auge angepassten 3D-Bildes und zur Verfolgung der Position und Ausrichtung des VR-Headset.



Jeder Bildschirm der oben beschriebenen Desktop-Lösung kann auch in die immersive Visualisierung geladen werden: 3D-Modell des Grubengebäudes, Erzkörperoberflächendaten, GradeControl-Modell, Blockmodell aus der Abbauplanung, Messdaten der durchgeführten Bohrungen sowie die Ergebnisdiagramme der Sprengblock-Analyse.

Das wichtigste Ziel der VR-Integration war es, einen interaktiven FaceView für eine möglichst intuitive Datenexploration, Sprengblockplanung und Analyse der Ausbringungsmengen in VR umzusetzen. Aufgrund der Einschränkungen von 2D-Eingabegeräten werden diese Aufgaben in einer immersiven Umgebung deutlich intuitiver und genau hier wird der Mehrwert von VR sehr konkret deutlich. Mit Hilfe der Handsensoren kann der Anwender mit dem 3D-Modell sowie sämtlichen grafischen Elementen in der virtuellen Welt interagieren: Diese können individuell ein-/ausgeblendet, positioniert oder in der Größe angepasst werden. Durch interaktives „Schneiden“ der dargestellten Blöcke mittels eines virtuellen Sprengblock-Modells können die aktuellen Daten hinsichtlich der Gehalte und/oder des Verhältnisses von Erz zu Nebengestein analysiert werden. Auch in VR werden selbstverständlich die Analysedaten grafisch in Form von Histogrammen angezeigt, so dass der gesamte Planungsprozess vollständig in VR durchgeführt werden kann.



5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Implementierung der Cockpit-Software erfolgt auf Basis modernster Technologien unter Berücksichtigung spezieller Softwareentwicklungsanforderungen wie Benutzerfreundlichkeit, Performance, Kompatibilität, Modularität und Erweiterbarkeit. Darüber hinaus bieten neue Hardware-Technologien eine Vielzahl von Möglichkeiten für innovative Erweiterungen der Cockpit-Software. Der Einsatz von Virtual-Reality-Hardware ermöglicht eine immersive Exploration der 3D-Daten. Auf diese Weise können die relevanten Entscheidungsprozesse noch intuitiver gestaltet werden.

Basierend auf den Ergebnissen des Real-Time Mining Projekts werden bereits verschiedene Folgemaßnahmen mit verschiedenen Partnern des Konsortiums diskutiert. Um die Ergebnisse des Projekts zu einem Softwarepaket für den produktiven Einsatz weiterzuentwickeln, ist eine gezielte Abstimmung mit anderen Partnern und mit dem Input von Bergwerksbetreibern der nächste Schritt.

In Zusammenarbeit mit der TU BAF werden die Komponenten für die Umsetzung einer moderner Grubenwarten-Applikationen weiterentwickelt. In Zukunft soll dies als modulare und kostengünstige Lösung insbesondere auch für kleinere Bergwerksbetriebe interessant sein. Die Reiche Zeche wird weiterhin als Testumgebung dienen und eine permanente Vor-Ort-Installation mit Echtzeit-Datenanbindung installiert.

Darüber hinaus wird XGraphic die Verbesserung der VR-Interaktivität und die Integration möglicher partnerspezifischer Addon-Features/Anforderungen übernehmen. Abhängig von den Anforderungen potenzieller Endanwender ist die Integration anderer VR/AR-Hardware eine weitere Möglichkeit, die Lösung auf die nächste Stufe zu heben und bietet so die Möglichkeit, auch völlig neue Märkte außerhalb der Rohstoffindustrie bedienen zu können.