

iDeepMon – Intelligente Inspektion und Überwachung von tiefen Bergwerksschächten

Norbert Benecke¹, Helmut Engelhardt², Adam Heyduk³, Marek Jendryz³, Bernhard Jung⁴, Henryk Kleta³, Philipp Koch², Jakob König⁵, Shane Leighton⁶, Paul O’Leary⁵, Stefan May², Sönke Rapp¹, Mark Sastuba⁴, Adrian Schischmanow⁷, Martin Weber¹ und Sergej Zuev⁷

¹DMT GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

²Technische Hochschule Georg Simon Ohm Nürnberg, Nürnberg, Deutschland

³Politechnika Slaska, Gliwice, Polen

⁴TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

⁵Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

⁶New Boliden AB, Boliden, Schweden

⁷Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) – Optische Sensor Systeme, Berlin, Deutschland

Eingegangen 7. Juli 2017; angenommen 7. Juli 2017; online publiziert 18. Juli 2017

Zusammenfassung: Zunächst werden existierende Lösungen für die Vermessung und Überwachung von Schächten vorgestellt, insbesondere kinematische Vermessungssysteme. Solche Systeme sind vor allem für moderne Hochleistungsbergwerke von großer Bedeutung, da hier eine permanente Verfügbarkeit der Schächte über 24 h an 7 Tagen der Woche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg sind. Daher haben die Betreiber ein großes Interesse an kostengünstigen, zeitsparenden und sicheren Verfahren zur Schachtvermessung und -überwachung sowie zur Zustandsinspektion, einschließlich erforderlicher Wartungsarbeiten.

Ein besonderes Augenmerk gilt dabei den behördlichen Anforderungen an die vorgeschriebenen Überwachungen und Inspektionen aufgrund der geltenden gesetzlichen Regeln und behördlichen Zulassungen.

Aufgrund dieser hohen Anforderungen wurde im Rahmen des Europäischen Innovationsnetzwerks EIT RawMaterials das Projekt iDeepMon zur Förderung ausgewählt. Das Projektteam mit industriellen und universitären Partnern aus Deutschland, Österreich, Polen und Schweden entwickelt zurzeit auf Basis der genannten existierenden Schachtvermessungssysteme den Prototyp eines weitgehend automatisierten Systems zur regelmäßigen Schachtinspektion, das langfristig ein integrierter Bestandteil eines umfassenden

den Kontrollprozesses eines autonomen Bergwerks werden kann.

Der Hauptteil des Beitrages informiert über die grundsätzliche Projektidee, den aktuell erreichten Status, die weiter geplanten Arbeitsschritte und betrachtet die zur erwartenden Vorteile für die Schachtbetreiber.

Insbesondere sollen die ganz aktuellen Erkenntnisse eines Anwenderworkshops dargestellt werden.

Schlüsselwörter: Automatisierte Vermessung, Überwachung und Inspektion von Bergwerksschächten

iDeepMon – Intelligent Deep Mine Shaft Inspection and Monitoring

Abstract: At first, the paper presents the existing solutions in shaft surveying and monitoring, in particular kinematic survey systems. Shaft surveying and monitoring is essential for the success of high-performance underground mining operations aiming at a 24 h/7 days operability of the shafts. Therefore, mining companies have serious interest in cost and time efficient as well as safe technologies to monitor, inspect and maintain their shafts. In addition, mining companies are obliged to carry out monitoring and inspection of their shafts as a mandatory part of the operational permissions by the mining authorities.

Due to this demand, the iDeepMon project idea was awarded for funding within the European EIT RawMaterials Network. The project team is under way to enhance the already existing shaft surveying technologies towards a fully automated process of shaft inspection, which will

Diplom-Ingenieur, Assessor des Markscheidefachs N. Benecke (✉)
 DMT GmbH & Co. KG,
 Essen, Deutschland
 norbert.benecke@dm-tgroup.com

finally be integrated into the overall control process of an autonomous mine.

The main part of the paper informs about the iDeepMon project idea, the achieved Project Status as well as the results and benefits for shaft operations. In particular, the recent results from a user workshop are reported.

Keywords: Automated shaft surveying, Monitoring and inspection

1. Existierende Schachtvermessungssysteme

Wie schon berichtet [1, 2], sind Schachtvermessung, -überwachung und -inspektion für alle betriebenen Schächte, häufig aber auch für stillgelegte Schächte aus unterschiedlichen Gründen von großer Bedeutung. Traditionelle Vermessungssysteme und -konzepte sind in Schächten immer mit großem Aufwand und häufig mit schwierigen und gefährlichen Arbeitsbedingungen verbunden. Zur Verkürzung der Stillstandzeiten, zur Reduzierung des personellen und technischen Aufwandes, zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verbesserung der Qualität der Messergebnisse wurden in den letzten Jahren kinematische Vermessungssysteme für Schächte mit und ohne Fahrungs-einrichtungen entwickelt und mittlerweile in zahlreichen internationalen Projekten erfolgreich eingesetzt.

2. Von der Vermessung zur Inspektion

Mit dem EU-geförderten Projekt iDeepMon konnte mit der Weiterentwicklung der beschriebenen Schachtvermes-

sungssysteme hin zu weitgehend automatisierten Schachtinspektionssystemen begonnen werden.

In nahezu allen Bergbauregionen weltweit gibt es gesetzliche, behördliche und betriebliche Vorschriften zur regelmäßigen Inspektion der betriebenen Schächte. In Abhängigkeit von der Art und Intensität der Nutzung, des Zustandes und Alters, der Gebirgsverhältnisse und ggf. der bergbaulichen Beeinflussung ist diese Inspektion monatlich bis täglich durchzuführen und zu protokollieren. Dabei hat eine Anwenderbefragung im Rahmen des iDeepMon Projektes gezeigt, dass weltweit fast ausschließlich die visuelle Inspektion zur Erfüllung dieser Aufgaben verwendet wird. Das bedeutet, dass – wie schon vor 50 oder 100 Jahren – mehr oder weniger erfahrene Schachthauer auf dem Korbdeckel stehend, in Langsamfahrt die Schachtwände und Installationen visuell und ggf. haptisch begutachten. Traditionell einziges Hilfsmittel ist eine Leuchte, heute meist LED. Ansonsten müssen sich die Inspektoren auf ihr Gedächtnis und ihre Erfahrung verlassen. In Einzelfällen werden immerhin von kritischen Zuständen Fotos angefertigt.

In iDeepMon wird nun erstmalig ein modernes technisches Sensorsystem entwickelt, das einfach auf dem Schachtkorb oder Skipgefäß befestigt werden kann und das in einer oder mehreren Inspektionsfahrten alle relevanten Elemente der Schachtröhre und der Einbauten geometrisch und visuell erfasst und speichert. Wesentliche Sensorkomponenten sind dabei ein Positionierungssystem mit Inertialmesssystem und weiterer Sensorik und Algorithmik sowie mehrere Hochleistungskameras zur visuellen Dokumentation und Ableitung eines dreidimensionalen Oberflächenmodells. Damit erfolgt regelmäßig eine qualitativ hochwertige Dokumentation des Schachtinventars und seines Zustandes zu definierten Zeitpunkten und mit messbaren und damit vergleichbaren Daten. Diese Daten können von erfahrenen Schachtinspektoren am Computer, in einem VR-Theater oder mittels einer 3D-Datenbrille/Hololense betrachtet und analysiert werden. Schon der Prototyp des iDeepMon wird die Auswertung und Analyse der Daten semi-automatisch unterstützen, z. B. durch Anzeige von deutlich erkennbaren Veränderungen zur Vormessung. Langfristig ist geplant, dass eine vollautomatische Datenbearbeitung in Echtzeit möglich sein wird, deren Ergebnisse direkt in den Gesamtkontrollprozess des Bergwerks integriert werden können.

3. Das Projekt iDeepMon

iDeepMon ist ein sogenanntes „Upscaling Project“ im Rahmen des EU-geförderten Innovationsnetzwerkes EIT RawMaterials. Details zum Projekt und zum EIT RawMaterials sind auf folgenden Internetseiten verfügbar: www.ideepmon.eu [3] und www.eitrawmaterials.eu [4].

3.1 iDeepMon – Machbarkeitsstudie

Als erster Schritt im Projekt iDeepMon wurde Mitte 2016 ein Online-Fragebogen zu der konkreten Situation bzgl. Schachtinspektion entwickelt und an ca. 60 Personen ver-

| TABELLE 1 Projektpartner und ihre Rollen | |
|---|---|
| Partner | Rolle(n) im Projekt |
| DMT | Projektleitung |
| | Hardware Design |
| | Hardware Entwicklung |
| | Prototyptests |
| | Gesamtsystemverantwortung |
| DLR | Entwickler der grundlegenden Technologie- und Algorithmusbasis IPS |
| | Technologieberatung |
| TUBAF | Mitwirkung bei der Sensorintegration und Systementwicklung (Hardware) |
| | Bereitstellung des Trainingsbergwerks Reiche Zeche |
| MUL | Speicherung und intelligente Prozessierung großer Datenmengen |
| | Softwareentwicklung |
| THN | Entwicklung der Auswertesoftware |
| SUT | Experten für die Bewertung von Schächten |
| New Boliden AB | Anwendungspartner |
| | Bereitstellung des Schachtes für den Test des Prototyps |

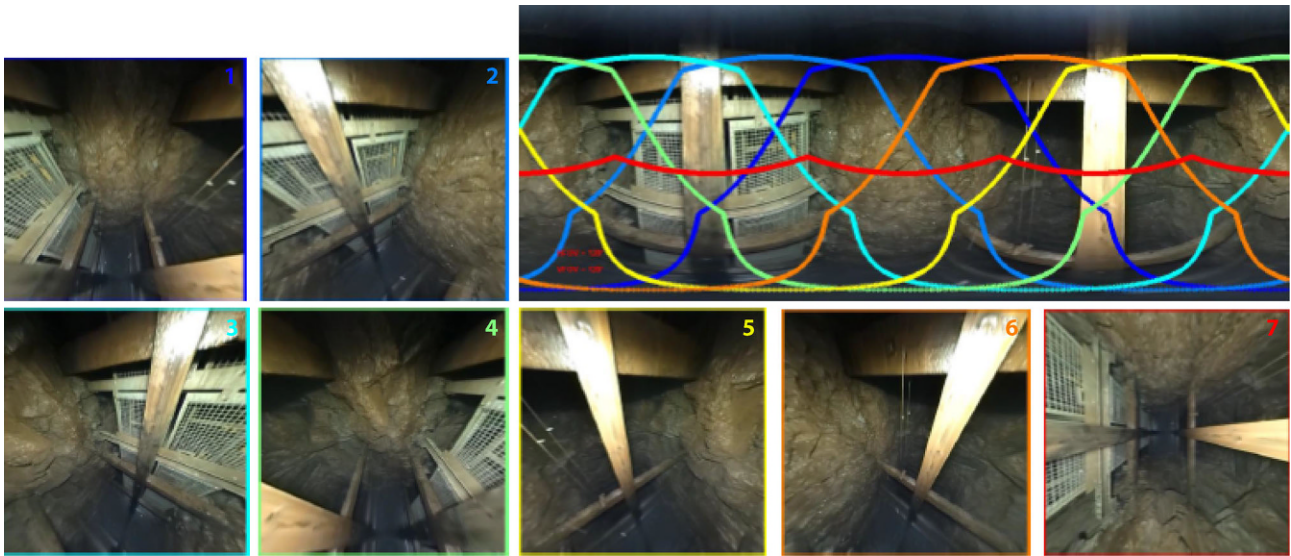


Abb. 1: Bilder der ersten Komponententests im Schacht des Trainingsbergwerks Reiche Zeche in Freiberg

TABELLE 2
iDeepMon Anwenderworkshops

| Datum | Veranstaltungsort | Zielgruppe |
|------------|--|--|
| 26.09.2017 | Leoben (AT) im Rahmen der Konferenz Bergbau, Energie und Rohstoffe | Markscheider, Bergbauingenieure mit Interesse und Kenntnissen bezogen auf Schächte, überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum |
| 12.10.2017 | Sudbury (CA) im Rahmen der Konferenz Deep Underground Mining | Markscheider, Bergbauingenieure mit Interesse und Kenntnissen bezogen auf Schächte, überwiegend aus dem internationalen Bergbau (erwartete Teilnehmer aus Nord- und Südamerika, Asien, Südafrika und Australien) |

schickt, die in Bergbauunternehmen mit Schachtbetrieb tätig sind. Die Rücklaufquote betrug 31,6 %, wobei die meisten Antworten aus Europa, insbesondere aus Deutschland, und russisch-sprachigen Ländern kamen. Aber es gab auch Rückmeldungen aus Südafrika und Australien. Insgesamt repräsentieren die Antworten ca. 100 Schachtanlagen mit über 250 einzelnen Schächten mit und ohne Fahrungsrichtung [5].

Wesentliche Erkenntnisse aus den erhaltenen Antworten waren:

- Nahezu alle Schächte müssen aufgrund behördlicher und betrieblicher Erfordernisse regelmäßig überwacht werden.
- Fast alle Schachtinspektionen werden als konventionelle visuelle Inspektionen ausgeführt.
- Als wesentliche Schwachpunkte der bisherigen Vorgehensweise und damit gleichzeitig als wichtigste Anforderungen an ein zukünftiges System wurden genannt:
 - Reduktion der Inspektionsdauer zur Steigerung der Verfügbarkeit für die Produktion
 - Verbesserung der Sicherheit für die Mitarbeiter durch Vermeidung gefährlicher Arbeiten im Schacht
 - Verfügbarkeit objektiv messbarer und vergleichbarer Ergebnisse von Inspektion zu Inspektion zur Verbesserung der Qualität der Bewertung der Schächte

- Verfügbarkeit dokumentierter Inspektionsergebnisse nach Schäden oder Unfällen

Als Hindernisse für die Einführung neuer Technologie wurden gesehen:

- Akzeptanz durch die zuständigen Behörden
- Akzeptanz durch die betroffenen Mitarbeiter (Angst vor Verlust des Arbeitsplatzes als Schachtinspekteur)
- Investitionskosten der neuen Technologie

Insgesamt wurde die Projektidee aber sehr positiv bewertet und aufgrund der konkreten Anforderungen der Nutzer wurde das Technologiekonzept angepasst.

Ebenfalls Bestandteil der Machbarkeitsstudie war die Entwicklung einer vorläufigen Markteinführungsstrategie, die zum Ende des Projektes Mitte 2018 an die konkret erreichten Ergebnisse und die dann herrschende Marktsituation angepasst wird.

3.2 iDeepMon – Aktueller Status

Seit Anfang 2017 hat das Projektteam (Tab. 1) mit der Systementwicklung (Hard- und Software) begonnen. Nach der Definition des grundsätzlichen Systemdesigns erfolgten bereits die ersten Praxistests mit Systemkomponenten

TABELLE 3

Andere relevante Entwicklungen

| Bezeichnung der Entwicklung | Beteiligte Partner | Thema |
|-----------------------------|--|---|
| IPS | DLR, DMT | Integriertes Positionierungssystem, ursprünglich vom DLR für Raumfahrtanwendungen entwickelt, durch Kooperationsvertrag zwischen DLR und DMT für andere Anwendungen (z. B. Bergbau) verfügbar gemacht |
| PILOT ^{3D} | DMT, DLR, andere | Handgehaltenes System zur Positionierung, Orientierung, Inspektion und 3D Dokumentation auf Grundlage der DLR IPS-Technologie |
| UNDROMEDA | DMT, DLR, TUBAF, MUL, THN, Boliden, andere | Neues EIT RawMaterials Innovationsprojekt (ab 2018) zur Entwicklung eines autonom fahrenden und/oder fliegenden Vermessungs- und Dokumentationssysteme für Bergwerke unter Tage |

im Trainingsbergwerk Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg (Abb. 1). Des Weiteren werden die dabei gewonnenen Daten sowie weitere Testdaten, die mit den operationellen Vermessungssystemen erzeugt wurden, für die weitere Analyse und Auswertung auf einem Datenservert der Montanuniversität Leoben verfügbar gemacht und werden im Rahmen der einzelnen Arbeitspakete von den jeweiligen Teilteams zur weiteren Entwicklung genutzt.

3.3 iDeepMon – Weiteres Vorgehen

Bis Anfang 2018 soll das Prototypensystem fertig sein und dann nach weiteren Tests in Reiche Zeche in einem aktiven Schacht des Bergwerks Kristineberg bei Boliden in Schweden unter realen Bedingungen getestet werden. Die Auswertung dieser Tests wird dann den Abschluss des laufenden Projektes bilden.

3.4 iDeepMon – Anwenderworkshops

Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes ist die laufende Einbindung potenzieller Anwender des geplanten Systems. Neben der o. g. Fragebogenaktion und der Einbindung von New Boliden in das Projektteam gehören auch zwei Anwenderworkshops zum Programm (Tab. 2).

4. Relevante Entwicklungen

Parallel zum Projekt iDeepMon sind die Projektpartner gemeinsam oder in anderer Zusammensetzung an weiteren Entwicklungen beteiligt, die für die iDeepMon Entwicklung

relevant sind. Die Tab. 3 gibt einen Überblick über diese Entwicklungen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Innovationsprojekt iDeepMon ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zum autonomen Bergwerk der Zukunft. Die vorgestellte Systementwicklung hat das Potenzial zur deutlichen Verbesserung der Qualität, Effektivität und Sicherheit der erforderlichen Schachtinspektion. Parallel begonnene Entwicklungen sind weitere Bausteine auf dem Weg zum Bergwerk der Zukunft; unsichtbar, ohne Auswirkungen, intelligent, sicher und vollkommen autonom.

Danksagung. Das Projekt iDeepMon wird von der Europäischen Union im Rahmen des Innovationsnetzwerks EIT RawMaterials von 2016 bis 2018 gefördert. Das Projektteam dankt der EU, insbesondere dem „European Institute for Innovation and Technology (EIT)“ für die Förderung und Unterstützung.

Literatur

1. Benecke, N.; Hancock, P.; Weber, M.: Latest developments for practice in shaft inspection; in: Proceedings of the XVI Congress of the International Society of Mine Surveying (ISM), Brisbane, Australia, 2016
2. Benecke, N.; Weber, M.: A new approach for shaft monitoring by kinematic laser scanning; in: Proceedings of the XV Congress of the International Society of Mine Surveying (ISM), Aachen, Germany, 2013
3. iDeepMon project webpage; <http://www.ideepmon.eu> (26.06.2017)
4. EIT RawMaterials webpage; <http://www.eitrawmaterials.eu> (26.06.2017)
5. Kröger, G.; Benecke, N.: iDeepMon Feasibility Study Report; EIT RawMaterials 2016 (unveröffentlicht)