

Auf dem Weg zu nachhaltigen Abbauprozessen mit UPNS 4D+

Dr.-Ing. David Buttgereit¹, Tobias Hartmann, M. Sc.², Dipl. Ing, Dipl. Ing Sascha Schade², Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus²

¹ XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH

² Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie, RWTH Aachen University

Abstract

Für einen hochselektiven, effizienten und nachhaltigen Abbau mineralischer Rohstoffe und insbesondere seltener Erden in heimischen Lagerstätten werden im Rahmen des UPNS 4D+ Projekts neue Technologien für die Automatisierung entwickelt. Diese sollen den Automatisierungsgrad von der Erkundung bis zum späteren Produktionsprozess steigern. Dabei liegt die Herausforderung darin, innovative Abbautechniken an kleine Tunnelquerschnitte sowie geologisch komplexe Lagerstätten anzupassen. Letztlich soll ein Gesamtsystem entwickelt werden, welches in der Lage ist, sich dynamisch ändernden Abbauprozessen anzupassen und so eine gesteigerte Planungssicherheit bei geologischer Unsicherheit bietet. Außerdem wird mit Erreichen dieser Ziele der Abbauprozess nachhaltiger gestaltet.

Die praktische Umsetzung dieses Gesamtsystems gliedert sich in vier Teilsysteme: Erkundungsfahrzeug (Daten sammeln), Produktionsfahrzeuge (Automatisierung umsetzen), Leitstand (Visualisierung für Maschinenführer), Expertensystem (Einbindung gesammelter Bergwerksdaten). Diese Umsetzung erfolgt in verschiedenen Arbeitspaketen und den darin beinhalteten Neuerungen. Nach aktuellem Projektstatus steht nach den Vorarbeiten und zahlreichen Implementierungen von Sensoren und Schnittstellen nun eine erste gemeinsame Inbetriebnahme des Erkundungsfahrzeuges an.

1 Einleitung

Der Zugang zu wirtschaftsstrategischen Bodenschätzen ist von essentieller Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit der modernen Industriegesellschaft. Die Versorgung Europas mit nichtenergetischen Rohstoffen, wie Stahlveredlern,

Metallen der Seltenen Erden und Platingruppenelementen, als kritisch eingeschätzt. [1] So besteht zum Beispiel in Deutschland eine 100%-ige Importabhängigkeit für Molybdän, Wolfram, Nickel oder Platingruppenelemente, aber auch für das gesamte Eisenerz zur Stahlherstellung; ein Importwert von etwa 40 Mrd. Euro. [2] Die Nutzung noch vorhandener „heimischer“ Lagerstätten birgt unter diesen Umständen ein enormes volkswirtschaftliches Potenzial von mehreren Mrd. Euro. Beispielhaft hierfür stehen die mögliche Nutzung der Seltenen Erden: Niob Lagerstätte um Delitzsch oder Wolframvorkommen im Ehrenfriedersdorfer und Altenberger Raum in Sachsen.

Eine wesentliche Herausforderung für einen nachhaltigen Gewinnungsprozess in Lagerstätten dieser Art ist die erhöhte bergbau-geologische Komplexität, die im Wesentlichen in vier Aspekte zusammengefasst werden kann: (1) große Teufenlagen (>500m), (2) geringe Ausdehnung (Streblängen < 100m), (3) hohe lokale strukturgeologische Komplexität, z.B. in regionaltektonisch gestörten Gangerzlagerstätten mit Mächtigkeiten <1m sowie (4) eine hohe geochemische Variabilität der Wertstoffgehalte. Weiterhin ist der Erkundungsgrad dieser Lagerstätten im Vergleich zu heute gewonnenen Lagerstätten wesentlich geringer, was zu einer erhöhten Unsicherheit der Kenntnis über Geometrie und räumlicher Verteilung der Wertstoffgehalte führt.

Eine ressourceneffiziente Gewinnung dieser Lagerstätten unter Einhaltung der Nachhaltigkeitsgrundsätze Sicherheit, Umweltverträglichkeit und öffentliche Akzeptanz erfordert neue innovative Abbautechnologien. Dabei liegt der Fokus auf einer hochselektiven Gewinnung der werthaltigen Partien, der kompletten Ausnutzung der anstehenden mineralischen Ressourcen sowie auf der Minimierung der Förderung von Nebengestein. Die Grundlage für das Erreichen dieser Ziele ist die Entwicklung innovativer Technologien für die autonome und präzise Positionierung von Gewinnungsmaschinen in Bezug auf den erkundeten Lagerstättenkörper. Dies wiederum ermöglicht einen hohen Grad an Automatisierung unter den beengten Platzverhältnissen und rauen Bedingungen im untertägigen Bergbau, sowie Echtzeit-Systeme zur lagerstättenoptimierten Steuerung der Gewinnung.

Das hier vorgeschlagene zu entwickelnde untertägige Lagerstätten-Positionierungs-, Navigations- und Mapping System (UPNS 4D+) soll diesen, im Vergleich zum konventionellen Untertagebergbau, dynamischeren Veränderungsprozessen und der damit erhöhten Planungsunsicherheit Rechnung tragen.

Der Fokus des Artikels und dem Kapitel 2 zum Stand der Technik liegen in der Lokalisierung, Positionierung und Navigation sowie der Leitwarten-Visualisierung, da die Konsortialpartner Institut für Maschinentechnik der

Rohstoffindustrie, RWTH Aachen University und XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH im Zuge des Projektes schwerpunktmäßig an diesen Arbeitspaketen beteiligt sind.

2 Stand der Technik

Die Positionierung und Navigation im untertägigen Bergbau wird seit der Verfügbarkeit von Inertialsensoren und Lokalisierungssensoren untersucht. 1997 wurde erstmalig die Tauglichkeit und Zuverlässigkeit eines Inertialsensors und Scanners für den Einsatz in autonomer Maschinensteuerung untertage getestet. [3] Die nachfolgende Forschung konzentrierte sich schwerpunktmäßig auf Techniken der absoluten [4] und reaktiven Navigation. [5] Absolute Navigation untertage, d.h. bezogen auf das Bergwerkskoordinatensystem, erfordert a-priori eine präzise Karte, sowie zur Positionierung die Installation einer Infrastruktur (bspw. RFID- Tags oder Wireless Ethernet) zur Lokalisierung von Fahrzeugen mit elektromagnetischen Wellen. [6] Beide Voraussetzungen sind nachteilig für hochselektive Gewinnung. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse ist jede zusätzliche Infrastruktur zu vermeiden. Ebenfalls erlaubt eine Navigation basierend auf einer a-priori Karte nicht, auf unvorhergesehene Hindernisse oder eine Veränderung in der Umgebung zu reagieren.

Letzteres kann durch die SLAM-Technologie (Simultaneous Localization and Mapping) gelöst werden. Diese gehört zur Gruppe der reaktiven Navigation. [7] Diese Technologie ist jedoch für untertägige Bedingungen wenig getestet und validiert. Bisherige Anwendungen beziehen sich lediglich auf lokale Navigation, um z.B. einen Lader autonom mittig im Grubengebäude zu steuern, allerdings noch nicht auf die komplexe Herausforderung der selbständigen Positionierung, Navigation und Erkundung (unter Berücksichtigung von geologischen Unsicherheiten).

3D-basierte Visualisierungen werden heute in vielfältigen Bereichen eingesetzt, wie beispielsweise in Spezialapplikationen für die Architektur [8] oder Automobilindustrie [9], aber auch in web-basierten Massenslösungen für den Endverbrauch wie etwa in virtuellen Raum- oder Küchenplanern [10] [11]. Aufgrund der immer leistungsstärkeren Hardware sind komplexere 3D-Darstellungen heutzutage aber auch schon „in der Westentasche“ verfügbar, denn sogar moderne Smartphones und Tablets sind leistungsstark genug für die Darstellungen größerer Datenmengen [12].

Im Bergbau wird seit mehreren Jahren auf sehr einfache, mehr oder weniger lediglich schematische 3D-Visualisierungen zurückgegriffen. Hier dient das 3D-

Modell vor allem als Navigationshilfe durch die großen Datenbestände [13]. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass auch in der Praxis nicht immer digitale Daten des Grubengebäudes vorliegen bzw. diese nicht geeignet aktualisiert werden (können).

Die Realisierung von Virtual Reality (VR) Applikationen ist heutzutage schon mit handelsüblicher PC Hardware möglich. Dazu werden lediglich geeignete Bildschirme, eine leistungsfähige Grafikkarte und eine sogenannte Shutter-Brille benötigt [14]. Neben der VR Darstellung an Bildschirmen, ist die Visualisierung über VR Headsets eine weitere Möglichkeit. Ein solches Headset wird von einem Anwender aufgesetzt und bietet durch eine Abschottung von der Umgebung ein noch immersiveres Erlebnis als herkömmliche VR Applikationen [15] [16]. Hierzu besteht ein VR Headset aus einer integrierten Lösung zum Anzeigen eines für das jeweilige Auge angepassten 3D-Bildes und Positions- und Ausrichtungsverfolgung des VR Headsets.

3 Ziele und Konzepte von UPNS 4D+

Das Ziel des Projekts UPNS 4D+ ist die Entwicklung eines integrierten Positionierungs-, Navigations- und Mapping Systems für die hochselektive Gewinnung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe untertage. Im Ergebnis stünde erstmals ein modulares Multisensor-System für Gewinnungsmaschinen, Kleinfahrzeuge oder Erkundungsroboter zur Verfügung. Dieses erlaubt eine absolute Positionierung innerhalb der Lagerstätte, eine autonome Navigation (3D) sowie die kontinuierliche Echtzeit-Erfassung (4D) raumbezogener geometrischer und geologischer Merkmale (4D+). Effektiv kann dieses System die Basis zur autonomen und rohstoffeffizienten hochselektiven Gewinnung in bergbau-geologisch komplexen Lagerstätten darstellen.

Bei den zukünftigen Entwicklungen in der Rohstoffindustrie bilden innovative Sensorkonzepte die Basis zur erfolgreichen Prozessoptimierung und Automatisierung entlang der gesamten Produktionskette von der Gewinnung über den Transport bis hin zur Aufbereitung. Folgende Tabelle 1 enthält eine Zusammenfassung der Neuheiten des Verbundprojektes:

	Neuheit	Beschreibung
1	Absolute Navigation innerhalb des Grubengebäudes und Lagerstättenmodells	Zur Steuerung der hochselektiven Gewinnung und Verfolgung des Erzganges erfolgt erstmalig eine Navigation in einem Echtzeit-aktualisierten Lagerstättenmodell

2	6D-Untertage-Kartographie	Erzeugung einer hochdimensionalen Karte basierend auf der Kombination von unterschiedlichen Sensortechnologien (LIDAR, Radar, Laufbildfotographie, Infrarot), die fortlaufend aktualisiert wird
3	Integrierte Lokalisation, Positionierung und Navigation	Integrierte Systeme und Algorithmen zur präzisen Bestimmung der Untertage-Lage und Orientierung basierend auf bekannten Passpunkten, Umgebungsdaten sowie Erkennung markanter Punkte und Hindernisse unter Bergbaubedingungen
4	Datenverarbeitung	Effiziente Datenstrukturen zur Speicherung und Datenextraktion der 6D-Karte und parallele Algorithmen
5	Effizienzsteigerung	Teilautomatisierte Kluft - Haufwerksanalyse zur Optimierung des Downstream-Prozesses (Zerkleinerung) zur automatisierten Ableitung der Korngrößenverteilung sowie der räumlichen Orientierung repräsentativer Kluftflächen eines Gebirgskörpers
6	Aktualisierung Lagerstättenmodell	Verknüpfung von Sensordaten mit Erkundungsdaten zur Echtzeitaktualisierung und Genauigkeitssteigerung des Lagerstättenmodells
7	Kleinfahrzeugentwicklung	Entwicklung eines bergbautauglichen Kleinfahrzeugs, das in der Lage ist, sich bei schlechten Umgebungsbedingungen autonom zu bewegen, um ein komplettes 3D-Mapping der Umgebung durchzuführen; 3D-Mapping Robot
8	Visualisierung & Monitoring	Effiziente 2D- und 3D-Visualisierung der Umgebungsdaten im Bergmännischen Risswerk zur Navigation und zum Monitoring des Gesamtsystems (Leitstand)

Tabelle 1: Neuheiten im Rahmen der geplanten Entwicklungen

4 Projektentwicklungen und Arbeitspakete

Die Projektstruktur und Einteilung der Arbeitspakete ist in einer Übersicht (Abbildung 1) dargestellt und wird nachfolgend an der konkreten Umsetzung des Projektes beschrieben. Den Kern des Forschungsprojektes stellt dabei das untertägige Lagerstätten-Positionierungs-, Navigations- und Mapping System (UPNS 4D+) dar.

Grundlage für die Automatisierung nach der markscheiderischen Initialisierung ist zunächst die präzise, automatisierte Kartierung der Bergwerksumgebung, welche die Grundlage für die Navigation von selektiv arbeitenden, autonomen Gewinnungsgeräten bietet. Damit einhergehend muss für die Erkundung eine Lokalisierung, mit einem Höchstmaß an Präzision, durchgeführt werden. Für diese beiden Aufgaben werden verschiedene Sensoren wie beispielsweise Inertialnavigationseinheiten gestützt durch 3D Kameras und Laserscanner eingesetzt. Die Daten werden entlang der Fahrstrecke zu einer 6D-Karte fusioniert. Wie spätere Produktionsfahrzeuge, wird auch das

Erkundungsfahrzeug mit Radaren ausgestattet, welche der Sammlung von der 6D Karte zuordenbaren Signaturen dienen.

Aufbauend auf den Daten des Erkundungssystems werden reale Produktionssysteme mithilfe von produktionsstauglicher Sensorik wie beispielsweise inertialer Messtechnik, Doppler- und 2D/3D Radare automatisiert. Die Erfahrung im Bergbau zeigt, dass optische Systeme im Bergwerksbetrieb aufgrund der entstehenden Stäube nicht zuverlässig verwendet werden können.

Parallel dazu, wie ebenfalls in (Abbildung 1) erkennbar ist, wird die Bergwerksumgebung global durch Visualisierung dargestellt und lokal durch Sicherheit/Kollisionsschutz. Analysen zur Ressourceneffizienz werten die gesammelten Bergwerksdaten aus.

Die gewonnenen Informationen der Systeme sollen Maschinenoperatoren im Leitstand in der finalen Ausbaustufe der Implementierung mittels Virtual/Augmented Reality dargestellt und Vermessungsingenieuren zur Beobachtung der Bergwerkskontur zur Verfügung gestellt werden. Der Einsatz von diesen Technologien insbesondere auch für eine Tele-Remote Steuerung von Bergbaumaschinen von über Tage bietet großes Potential für einen effizienten und vor allem sicheren Abbaubetrieb.

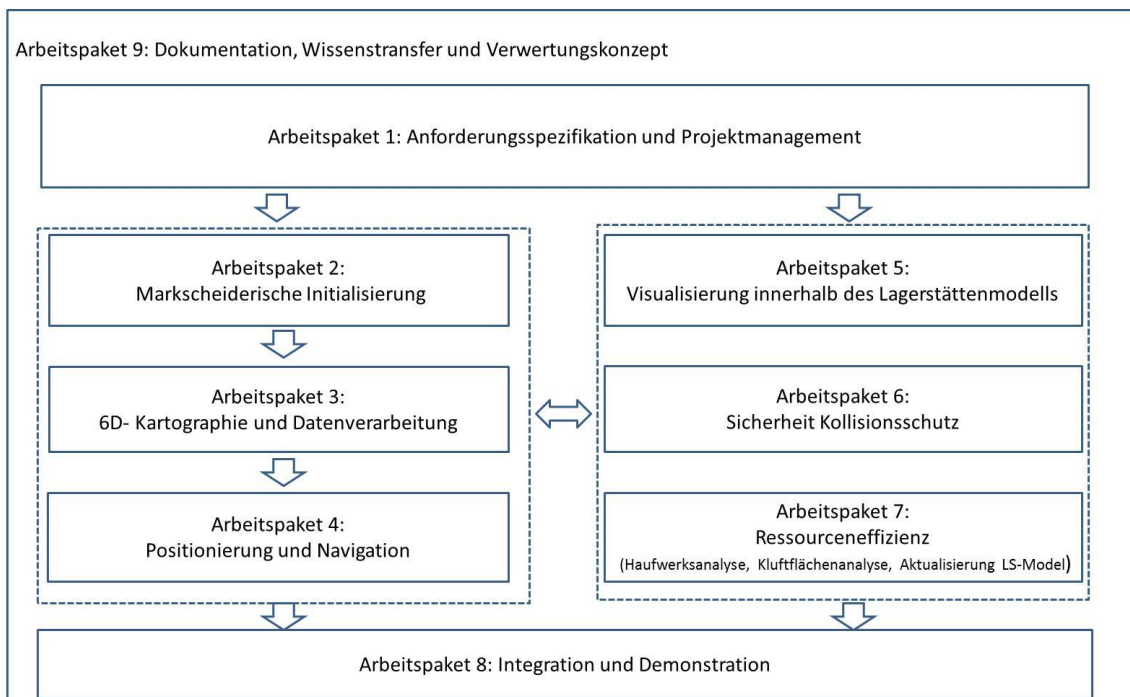


Abbildung 1: Projektstruktur und Einteilung in Arbeitspakete

Das zu entwickelnde Gesamtsystem besteht im Wesentlichen aus vier in der Demonstration vorgesehenen Teilsystemen: Zum einen soll ein *Erkundungssystem*, bestehend aus einem kettengetriebenen und schienengeführten Kleinfahrzeug, auf dem die Sensoren aller Partner angebracht werden können, zum Einsatz kommen. Weiter soll ein *Produktionssystem* bestehend aus einem Fahrlader der Fa. Paus und einem Niederflurfahrlader der Fa. GHH automatisiert werden. Für die Prozessführung soll ein *Leitstand* mit einer Karte des Bergwerks und einem Benutzerinterface, über welches die Fahrzeuge gesteuert werden können, sowie deren momentaner Zustand gezeigt werden. Komplettiert werden soll diese Entwicklungen durch ein *Expertensystem*, welches alle Messdaten der Bergwerkskontur, markscheiderische Daten sowie durch das Produktionssystem neu detektierte Objekte beinhaltet.

Die Umsetzung der verschiedenen Teilsysteme entspringt, entsprechend der Zielstellung, aus den separaten Arbeitspaketen (AP). Diese beinhalten die verschiedenen zu bearbeitenden Kernaufgaben mit den Neuerungen gemäß Tabelle 1. Die Inhalte der Arbeitspakete sind nachfolgend zusammengefasst. Auf erste Veröffentlichungen aus den jeweiligen APs wird hingewiesen.

Die Aufgabe der „**Markscheiderischen Initialisierung**“ in AP 2 ist die Konzeption und Implementierung von Verfahren zur Passpunkterkennung und hochgenauen photogrammetrischen Auswertung zur initialen Positionierung und Orientierung unter Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten unter Tage. Grundlage dafür ist die Schaffung der notwendigen Infrastruktur, deren Einrichtung entsprechend den Anforderungen in einem bekannten Abschnitt im Forschungsbergwerk Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg zur Validierung ebenfalls im Rahmen dieses Arbeitspakets umgesetzt wird.

Das Arbeitspaket „**6D-Kartographie und Datenverarbeitung**“ (AP 3) umfasst die Entwicklung einer Kartographie-Software zur Erzeugung und dynamischen Erweiterung von hochdimensionalen 6D-Untertage-Karten basierend auf SLAM-Algorithmien. Die Algorithmien zur Registrierung und Fusionierung werden zur Integration der verschiedenen Sensordaten in die 6D-Karte erforscht. Für die Verarbeitung der enormen Datenmengen müssen effiziente hierarchische Datenstrukturen zur Speicherung und Datenabfrage der großen Datenmengen entwickelt werden. Erste Ergebnisse zur schnellen Aufnahme von dichten Punktwolken sind unter [17] nachzulesen.

In AP 4 („**Positionierung und Navigation**“) erfolgt die Integration der Sensoren zur initialen Positionierung sowie zur Navigation (Inertialsensor) mit der 6D Karte

aus AP3 zu einem modularen System. Konkrete Herausforderungen sind hier die Entwicklung eines Verfahrens zur Genauigkeitsanalyse in der Positionierung sowie zur Genauigkeitsoptimierung basierend auf rekursiver geodätischer Ausgleichung. Weiterhin ist die Entwicklung einer Navigationssoftware einschließlich der Möglichkeit der Teleoperation Teil des Arbeitspaketes.

Die Konzeption und Implementierung einer übergeordneten Leitstand-Software ist Aufgabe des AP 5 („**Visualisierung innerhalb des Lagerstättenmodells**“). Die Entwicklung einer dreidimensionalen Visualisierungskomponente ermöglicht die Integration der Informationen aus der 6D-Karte für das Lagerstättenmodell und der multiplen erfassten Sensordaten. Neben der Positionsverfolgung mobiler Einheiten im 3D-Modell werden außerdem untertägige Infrastruktur und Prozesswerte dargestellt. Weitere Ziele sind die Entwicklung von Augmented- und Virtual Reality-Schnittstellen für die 3D-Visualisierung sowie die Entwicklung einer eingeschränkten Visualisierungsversion auf mobilen Endgeräten.

Das Ziel von Arbeitspaket 6 „**Sicherheit Kollisionsschutz**“ ist die Entwicklung eines Kollisionsschutz-Systems zur Erkennung drohender Kollisionen von mobilen Plattformen mit sowohl statischen als auch dynamischen Objekten der Umgebungen. Dazu gehören ebenfalls Anzeige der Warnungen und gegebenenfalls Verhinderung von Kollisionen durch Eingriffe in sowohl die manuelle Steuerung als auch die autonome Navigation der jeweiligen Plattform. Besonderes Augenmerk liegt auf der Sicherstellung einer robusten Erkennung dynamischer und statischer Objekte in der unmittelbaren Umgebung anhand der Sensorik und durch Zugriff auf die Kartographieinformationen.

Im Arbeitspaket „**Anwendungen zur Ressourceneffizienz**“ (AP 7) werden drei Anwendungen aus den gewonnenen Daten zur Optimierung des Abbaus, des geologischen Modells (Lagerstättenmodell) und der Standsicherheit entwickelt. Eine teilautomatisierte Kluft- und Haufwerksanalyse dient dabei zur Erkennung von Korndurchmesser, Volumen und Lage von Partikeln aus Bild- und Punktwolkendaten. Ein Verfahren zur automatisierten Deformationsanalyse ermöglicht die Überwachung der Hohlraumkonvergenzen. Aus den mehrfach erfassten Daten und mittels geostatistischer Verfahren wird eine Aktualisierung des Lagerstättenmodells vorgenommen. An dieser Stelle sei auf die untersuchten Einsatzmöglichkeiten der 3D Geometrieerfassung durch Time-of-Flight Kameras in [18] hingewiesen.

Als Sensorträger dient ein im Rahmen des Arbeitspaketes „**Integration und Demonstration**“ (AP 8) eigens entwickeltes Kettenfahrzeug. Die Anforderungen für den Einsatz unter Tage werden hier im Besonderen berücksichtigt. Zu diesen gehören der modulartiger Aufbau, Austauschbarkeit von Messeinrichtungen von bis zu 150 kg Gesamtgewicht, autonome Bewegung bei schlechten Umgebungsbedingungen mit angemessener Geschwindigkeit, komplettes 3D-

Mapping der Umgebung sowie Eignung des Antriebsmoduls sowohl für Ketten- als auch Radantrieb. Die Demonstration und Validierung der Machbarkeit des entwickelten Systems wird im Rahmen von verschiedenen Versuchsreihen an der TU Bergakademie Freiberg im Lehr- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche durchgeführt. Erste Fahrversuche der unbestückten Demonstratorplattform sind in Abbildung 2 zu sehen.

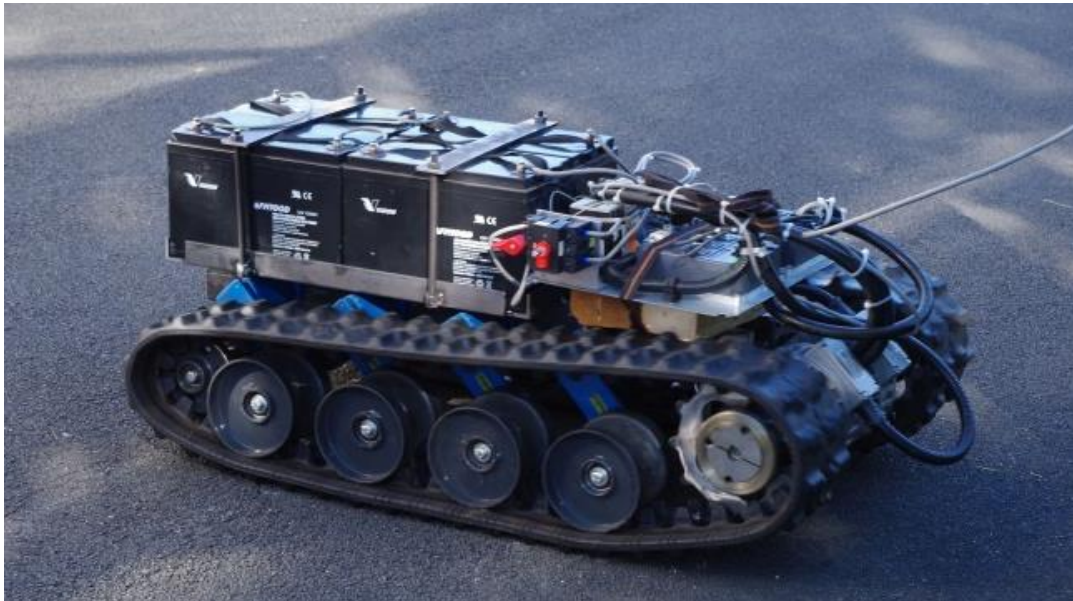


Abbildung 2: Erste Fahrversuche der unbestückten Demonstratorplattform

5 Projektkonsortium

Das UPNS4D+ Konsortium besteht aus insgesamt acht Partnern und wird durch zwei assoziierte Partner unterstützt.

Konsortialführer und Projektkoordinator ist die indurad GmbH aus Aachen. Durch die RWTH Aachen University und die Fachhochschule Aachen sowie die Technische Universität Bergakademie Freiberg sind insgesamt drei Hochschulen im Partnerverbund vertreten. Das Konsortium wird komplettiert durch die Unternehmen Fritz Rensmann, Maschinenfabrik, Diesellokomotiven, Getriebe GmbH & Co. KG aus Dortmund, GHH Fahrzeuge GmbH aus Gelsenkirchen, MILAN Geoservice GmbH aus Kamenz und XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH aus Aachen.

Zu den assoziierten Partnern zählen die Hermann Paus Maschinenfabrik aus Emsbüren sowie die Technische Universität Delft.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Vorhaben UPNS 4D+ hat zum Ziel, wesentliche technologische Entwicklungen voranzutreiben, mit deren Hilfe kleinere und schwer zugängliche Bergwerke wirtschaftlich betrieben werden können. Im Rahmen des Projekts liegt der Fokus auf dem ressourcenschonenden Abbau nichtenergetischer Rohstoffe.

Erstmalig arbeiten fachübergreifend Sensorhersteller, Fahrzeughersteller und Leitstandhersteller sowie Hochschulen und Universitäten mit ihren Fachgebieten in Markscheidewesen, Kartenerzeugung und autonomes Fahren zusammen, mit dem Ziel, einen real funktionierenden Demonstrator am Ende des Projekts zu entwickeln.

Im Projekt sind eine Reihe von Neuerungen auf den Gebieten der Lokalisierung und Kartographie über die Datenverarbeitung bis hin zur Effizienzsteigerung von Gewinnungsprozessen in verschiedenen Arbeitspaketen zu erforschen.

Zur Realisierung des Vorhabens wird ein Erkundungsfahrzeug mit verschiedensten Sensoren umgesetzt und Produktionssysteme mit Sensorik für den robusten Betrieb ausgestattet. Es ist vorgesehen, dass das Erkundungssystem ein hochpräzises inertiales Messsystem und optische Sensoren, wie 3D Kameras und Laserscanner verwendet. Die gemessenen Daten werden entlang der tatsächlichen Fahrstrecke des Erkundungsfahrzeugs hochgenau fusioniert. Hierüber entsteht eine 6D Raumkarte, die in einem Expertensystem mit markscheiderischen Informationen zusammengebracht werden soll. Ferner ist vorgesehen am Erkundungssystem dieselben Radarsensoren anzubringen wie auch am Produktionssystem, so dass charakteristische Radarsignaturen bereits in der 6D Karte annotiert werden können. Für das Produktionssystem ist seinerseits eine Ausstattung mit u.a. inertialer Messtechnik und Radaren geplant. Eine Visualisierung der gesammelten Daten findet im Leitstand für Maschinenführer über Tage u.a. auch mittels Virtual Reality statt.

Aktuell ist gut ein Drittel der Projektlaufzeit verstrichen. Nach der initialen Abstimmung und den grundlegenden Arbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen ist der nächste Meilenstein nun die erste gemeinsame Inbetriebnahme des Demonstrators. Nach der Integration aller verschiedenen Komponenten und Sensoren der Projektpartner, stehen erste gemeinsame Tests an. Dazu werden aktuell die Schnittstellen angepasst und erste Kommunikationstest zwischen den verschiedenen Partnern durchgeführt. Die Zusammenführung von Sensorträger

und der Sensorplattform ist die Grundvoraussetzung für den Einsatz des Roboters unter quasi Realbedingungen im Testbergwerk. Ziel ist eine erste Kartierung dynamischer Prozesse im Bergwerk und die Evaluierung der Ergebnisse, um die gewonnenen Erkenntnisse dann im nächsten Schritt für die Implementierung des Demonstrators in ein weiteres Bergwerk übertragen zu können.

Das im Rahmen des Projektes als „Proof-of-Concept“ entwickelte, getestete und zertifizierte modulare System soll nach Beendigung des Projektes gemeinsam mit deutschen Herstellern für Bergbautechnik national und international vermarktet werden. Auf UPNS4D+ aufbauende Projekte im Rahmen der Horizon 2020 – Initiative sind vorgesehen.

7 Förderhinweis

UPNS 4D+ wird durch das Förderprogramm „IKT 2020 – Forschung und Innovationen“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 033R126E gefördert.

[1] European Commission. „Critical raw materials for the EU“ Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, European Commission, June 2010.

[2] Deutschland – Rohstoffsituation 2012. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, November 2013.

[3] Scheduling, Steve, et al. "Experiments in autonomous underground guidance." Robotics and Automation, 1997. Proceedings., 1997 IEEE International Conference on. Vol. 3. IEEE, 1997.

[4] A. Hemami, V. Polotski, Path tracking control problem formulation of an lhd loader, The International Journal of Robotics Research 17 (2) (1998) 193–199.

[5] E. Duff, J. Roberts, and P. Corke, "Automation of an underground mining vehicle using reactive navigation and opportunistic localization," in IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 4, 2003, pp. 3775-3780.

[6] Larsson, Johan, Mathias Broxvall, and Alessandro Saffiotti. "A navigation system for automated loaders in underground mines." Field and Service Robotics. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

[7] A. Nuchter, H. Surmann, K. Lingemann, J. Hertzberg, S. Thrun, 6D-SLAM with an application in autonomous mine mapping, in: Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA'04), New Orleans, USA, 2004, pp. 1998–2003.

[8] Internetquelle: <http://www.vistagraph.de/>, Stand: 30.12.2016

[9] Internetquelle: <http://www.3dexcite.com/de/angebot/industrie/automobil>, Stand: 30.12.2016

[10] Internetquelle: <http://www.homesolute.com/3d-raumplaner/>, Stand: 30.12.2016

[11] Internetquelle: <http://www.kuechentreff.de/de/kuechenstudio/kuechenplaner-3d>, Stand: 30.12.2016

[12] Bitzen, S.; Buttgerit, D.; Hünefeld, R, Augmented Reality" - Mehrwert oder Spielerei?, Tagungsband AKIDA - Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung, S 389ff, Aachen, 2012

[13] Bitzen, S.; Buttgerit, D.; Hünefeld, R., MineView - Web Based 3D Infrastructure and Information Management for Mining, Tagungsband Aachen International Mining Symposia - High Performance Mining, S. 123-134, Aachen, 2009

[14] Internetquelle: <http://www.nvidia.de/object/3d-vision-technology-de.html>, Stand: 30.12.2016

[15] Internetquelle: <https://www3.oculus.com/en-us/rift/>, Stand: 30.12.2016

[16] Internetquelle: <https://www.vive.com/de/>, Stand: 30.12.2016

[17] T. Neumann, E. Dülberg, S. Schiffer, and A. Ferrein (2016). "A Rotating Platform for Swift Acquisition of Dense 3D Point Clouds". In: ICIRA (1). Vol. 9834. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 257–268.

[18] Geier, Andreas. "Time-of-Flight Kameras für die 3D Geometrieerfassung im Kontext markscheiderischer Aufgabenstellungen." in: 17. Geokinematischer Tag, Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiberg, Heft 2016(1), Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, Nossen, S. 238-249.