

Ingenieurgeologische Aufnahmen im Bergbau zur Erkundung von unerwarteten Ausbruchskörpern und Einsatz geotechnischer Meßsysteme

Geotechnical investigations and application of geotechnical measuring systems in underground mining to reveal potential caving of surrounding rocks

Torsten Gorka¹, Stephan Peters², Ivo Kerosevic³, Hans-Joachim Rübél⁴

¹ Dipl.-Geol. Torsten Gorka, e-mail: torsten.gorka@dmtd.de, DMT GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

² Dipl.-Geol. Stephan Peters, e-mail: stephan.peters@dmtd.de, DMT GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

³ M.Sc. Ivo Kerosevic, e-mail: ivo.kerosevic@dmtd.de, DMT GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

⁴ Dipl.-Geoph. Hans-Joachim Rübél, e-mail: hans-joachim.ruebel@dmtd.de, DMT GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

Zusammenfassung

Ungünstige Ausbildungen und Orientierung von Trennflächen in Relation zur gewählten Abbaurichtung können im untertägigen Bergbau Folgen für die geplante Produktion haben. Erheblicher Aufwand muss in Sicherungsmaßnahmen investiert werden, da Ausbrüche an bestehenden und durch die Hohlräume aufwältigung neu gebildeten Trennflächen entstehen. Für die Erkundung von Trennflächen stehen dem Ingenieurgeologen verschiedenartige Meßsysteme zur Anwendung bei unterschiedlichen Aufschlussverhältnissen und in unterschiedlichen Erkundungsstadien zur Verfügung: angefangen von visuellen Aufnahmen während der Auffahrung der Strecken und während des Abbaus, über optische Meßsysteme wie Stereophotogrammetrie und optische Bohrlochsondierungen bis zu Vorauserkundungen durch geophysikalische Methoden und Bohrlochmessungen. Der Einsatz von geophysikalischen Bohrlochmessungen, stereophotogrammetrischen Aufnahmen und das Scannen von Ankerbohrlöchern und Bohrkernen insbesondere im Hinblick auf die Erfassung der Trennflächensysteme wird in diesem Paper näher vorgestellt.

Schlüsselworte: Geotechnik, Bergbau, Bohrlochmessung, Stereophoto, Bohrlochsonde, Trennflächen, Gebirgsbewertung

Abstract

Unfavourable characteristics and orientation of discontinuities with respect to the selected direction of excavation may have severe consequences on underground mine production. Major efforts have to be invested into safeguards due to caving roof rocks which develop along existing or new fractures which are generated during the excavation. Underground openings by roadway driving as well as extraction lead to a dynamic shift of the stress field in the vicinity of the cavities which re-mobilizes existing or generates new fractures. Depending on their orientation and characteristics the fractures may promote breakouts and caving roof rocks which have an adverse effect on underground mining by diluting the product with unwanted waste rock. Geotechnical investigation of the rock mass is often neglected during mine conception. Thus, problems occur during production and are unexpected. Extensive geotechnical reconnaissance work is needed to design adequate measures which prevent such difficulties. For example the direction of excavation may be altered or appropriate support devices installed. To examine fractures at variable outcrop conditions and exploration stages several measuring methods and systems are available for the responsible geotechnical engineer. These methods are: conventional inspection of joints and other discontinuities during roadway driving and ore / coal extraction, optical measuring techniques such as stereophotogrammetry, geophysical reconnaissance methods as well as downhole geophysics. The application of downhole geophysical probes, stereophotogrammetry and optical inspections of slim boreholes like anchor boreholes as well as scanning the drillcore, which are focused on the analysis of discontinuity systems, is presented in this paper.

Keywords: geotechnics, mining, borehole measurement, stereophoto, borehole scanner, discontinuity, rock mass classification

1 Einleitung

Während es im Tunnelbau üblich ist, die geotechnischen Eigenschaften des Gebirges insbesondere im Bereich des geplanten Hohlraums intensiv zu untersuchen, steht im Bergbau die Exploration des Lagerstättenkörpers im Vordergrund. Geophysikalische Messungen von der Erdoberfläche, wie Seismik oder Magnetik, sowie geophysikalische

Bohrlochmessungen und Bohrungen werden im Hinblick auf die Aufklärung der räumlichen Verteilung des Rohstoffes im Untergrund und der tektonischen Strukturen durchgeführt. Abhängig vom Erkundungsstadium wird oftmals auch zunächst auf geophysikalische Messungen und geotechnische Gesteinsuntersuchungen verzichtet. Bei Bohrlochmessungen liegt das Augenmerk auf der Abgrenzung des Rohstoffes, der Erkundung der Geologie und der Interpretation



der Strukturen. Zu der Messung des Bohrlochverlaufs kommen zusätzliche Messmethoden individuell und rohstoffspezifisch zum Einsatz. Werden dann geotechnische Untersuchungen durchgeführt, so handelt es sich meist um geotechnische Kernaufnahmen der Bohrkerne und Probenahme für geomechanische Laborversuche. Bei vielen Bergbauprojekten in Ländern mit niedrigem technologischem Standard wird die geotechnische Erkundung des Gebirges weitestgehend vernachlässigt.

Durch die bei dem Abbau und der Streckenauffahrung dynamische Verlagerung des Spannungsfeldes im Umfeld des unterirdischen Hohlraumes werden bestehende Trennflächen mobilisiert und neue Trennflächen gebildet, die je nach Orientierung und Ausbildung zu einer Beeinträchtigung des untertägigen Abbaus führen können (Abb. 1). Im ungünstigen Fall können diese auftretenden Ausbruchskörper den Abbau negativ beeinflussen. Diese Nachfälle führen zu einer Vermischung des Fördergutes mit ungewünschtem Abraummaterial und somit zu einer Verdünnung des geförderten Rohstoffs. Oftmals konzentriert sich die bergmännische Planung auf den Abbau des Rohstoffs, vernachlässigt jedoch die Vorerkundung des Gebirges bzw. des Nebengesteins, so dass diese Probleme erst während des Abbaus unerwartet auftreten. Zur Vermeidung solcher Schwierigkeiten kann nur eine umfassende Vorerkundung des Gebirges beitragen, durch die sich bereits im Vorfeld des Abbaus geeignete Gegenmaßnahmen, wie Änderungen der Abbaurichtung oder Armierungsmaßnahmen, planen lassen.



Abb. 1: Unerwünschter Mehrausbruch im Hangenden eines Kohlenflözes.

Fig. 1: Overbreaks in the roof of a coal seam.

2 Geotechnische Erkundungen im deutschen Steinkohlenbergbau

Die Untersuchung von über Tage erstellten Bohrungen für den deutschen Steinkohlenbergbau umfassten in der Vergangenheit die lithologisch-stratigraphische Kernaufnahme, die tektonische Ansprache der Bohrung, sowie – bereits seit den 1950ern – die geophysikalische Vermessung des Bohrlochs. Hierzu zählen i.d.R. der Verlauf, die natürliche Gammastrahlung (GR) zur Abgrenzung von Kohlelagen und Nebengestein, Schichtneigungsmessungen (Diplogs, DIP), Widerstandsmessungen (Focused electric log (FEL) oder Laterolog (LL)), Dichte (DEN), Kaliber (CAL), und Full wave sonic (FWS). Die Ergebnisse der Gamma-

Messung sind insbesondere durch vor allem im Flöz auftretende Kernverluste zur genauen Ermittlung des Flözaufbaus wichtig. In einigen wenigen Fällen wurden auch ingenieurgeologische Untersuchungen an den Kernen der Tagesbohrungen durchgeführt, wie Festigkeitsuntersuchungen des Nebengesteins und die Ermittlung der Quellfähigkeit von milden Schiefen, die im Liegenden eines Bauflözes zu Abbauschwierigkeiten durch Aufweichen der Sohle und Einsinken der Schilde führen können. Daten über das Trennflächengefüge wurden nicht ermittelt. Einzig aus der tektonischen Aufnahme lassen sich Informationen über die Kluftsysteme ableiten.

Da die existierenden geotechnischen Daten aus den von über Tage abgeteuften Explorationsbohrungen im deutschen Steinkohlenbergbau gering sind, wird seit einigen Jahren gezielt eine geotechnische Aufnahme der neu abgeteuften Kernbohrungen durchgeführt. Die Exploration der Flöze erfolgt heutzutage direkt von Untertage. Hierzu werden Bohrungen aus den bereits aufgefahrenen Strecken ins Liegende, seltener auch ins Hangende, zur Erkundung der Stratigraphie, Tektonik und Geotechnik gebohrt. Bei diesen Bohrungen werden die Kerne des Nebengesteins im Hangenden und Liegenden der bauwürdigen Flöze geotechnisch aufgenommen (Abb. 2).

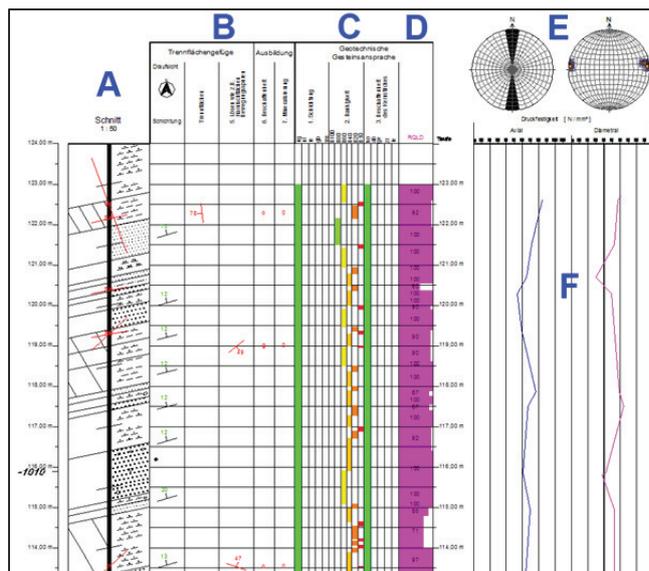


Abb. 2: Geotechnisches Bohrprofil. A: Lithologisches Profil, B: Trennflächen und deren Beschaffenheit, C: Schichtausbildung, Bankigkeit, Kernbeschaffenheit, D: RQLD, E: Kluftrose und Polpunktendiagramm, F: axiale und diametrale Punktlastfestigkeiten.

Fig. 2: Geotechnical borehole profile. A: Lithologic profile, B: Discontinuities and their characteristics, C: Bedding structure, bed thickness, core condition, D: RQLD, E: joint and pole diagrams, F: axial and diametral point load strength.

Die Aufnahmemethode wurde speziell für die Bedürfnisse des Steinkohlenbergbaus im Hinblick auf die Ausbauplanung, aber auch die Abbauplanung und die Konvergenzvorabrechnung, entwickelt. Nicht nur die Bohrkerne sondern auch die Ortsbrust wird während der Streckenauffahrung geotechnisch aufgenommen. Mithilfe der erfassten Daten erfolgt eine Gebirgsklassifikation nach einem eigens

entwickelten System. Die geologisch-geotechnische Bearbeitung an Bohrkernen und untertägigen Aufschlüssen sowie beim Streckenvortrieb beinhaltet die Ermittlung folgender Parameter (POLYSOS & PETERS 2002):

- Ausbildung der Schichtung
- Bankigkeit
- Ablösungsflächen
- Ausbildung der Trennflächen und Oberflächenbeschaffenheit
- Tektonische Beanspruchung der Gebirgsschichten
- Störungsart und -ausbildung
- Lage der Trennflächen in Bezug zur Schichtung bzw. Streckenachse
- Ermittlung des RQLD-Wertes (Rock Quality Lithologic Designation Index, d.h. Lithologie-bezogener Gesteinsqualitätsindex)
- Gesteinsbeschaffenheit
- Zertrennungs- bzw. Durchtrennungsgrad

3 Geophysikalische Bohrlochmessungen für ingenieurgeologische Fragestellungen

Durch geophysikalische Bohrlochmessungen lassen sich eine Reihe von geotechnischen Parametern für den Bergbau ableiten, die für die Abbau- und Ausbauplanung von Bedeutung sind. Auch wenn der genaue Umfang der Untersuchungen immer auch von der jeweiligen Fragestellung, dem Rohstoff und den weiteren Untersuchungszielen für die Lagerstättenerkundung abhängen, sind doch folgende Bohrlochmessungen für ingenieurgeologische Fragestellungen von maßgeblicher Bedeutung:

- Optischer / akustischer Televiever (OBI / ABI)
- Full wave sonic (FWS)
- Dichte

3.1 Borehole-Televiever-Messungen

Televiever-Messungen ergeben ein Bild der Bohrlochwand. Hierdurch können sehr gut die Trennflächen, wie Schichtflächen, Klüfte und Störungsflächen, erkannt werden. Orientierung, Lage und Öffnungsweiten können so ermittelt werden. Diese Ergebnisse sind bedeutend für die Klüftkörperberechnungen und damit die Planung des Ausbaus im untertägigen Bergbau. Auch für die Bestimmung der Abbauleistung spielen die Trennflächensysteme eine wichtige Rolle.

Bei optischen Televievern (OBI) wird ein rein optisches Bild der Bohrlochwand aufgenommen. Somit sind diese Messungen auch für die Exploration hilfreich, da sich die Gesteinstypen und Rohstofflagen erkennen lassen. Voraussetzung sind aber ein entweder trockenere oder mit vollkommen klarer Flüssigkeit gefülltes Bohrloch und eine saubere Bohrlochwand. Bei den akustischen Borehole-Televievern (ABI) wird die Bohrlochwand über ein Ultraschallsignal abgetastet. Die gemessene Amplitude ist abhängig von den Reflexionseigenschaften. Aus ihrer bildli-

chen Darstellung erkennt man die Trennflächen im Gestein und kann Gesteinsschichten unterscheiden. Die gemessenen Laufzeiten stellen im Prinzip das Kaliber des Bohrlochs dar. Das Bohrloch muss mit Wasser oder Spülung gefüllt sein, das Verfahren kann auch in trüben Flüssigkeiten eingesetzt werden.

3.2 Full wave sonic

Bei der Full wave sonic Messung (FWS) handelt es sich um ein Ultraschallmessverfahren, bei dem die P- und S-Wellensignale gemessen werden. Neben dem klassischen Einsatzgebiet der Bestimmung der Porosität wird das Verfahren in der Ingenieurgeologie zur Ermittlung der Zertrennung / Klüftigkeit des Gesteins und der Ableitung von mechanischen Gesteinseigenschaften eingesetzt. Entweder durch Korrelation mit Labortests an Gesteinsproben oder mit Gamma-Gamma-Messungen können Gesteinsfestigkeit, Poissonzahl und E-Modul entlang der Messstrecke im Bohrloch ermittelt werden.

3.3 Dichtemessungen

Bei der Dichtemessung (auch Gamma-Gamma-Messung) kommt eine Gammaquelle zum Einsatz, deren Strahlung nach Wechselwirkung mit dem Gestein mit einem Szintillator gemessen wird. Hierdurch kann die Dichte des Gesteins gemessen und die Porosität abgeleitet werden. Dies dient v.a. einer lithologischen Ansprache, kann unter geotechnischen Gesichtspunkten aber auch Hinweise auf mechanisch beanspruchte, geklüftete Bereiche im Gebirge geben. Zudem unterstützen die Ergebnisse der Gamma-Gamma-Messung die Ableitung von mechanischen Gesteinseigenschaften aus FWS-Messungen.

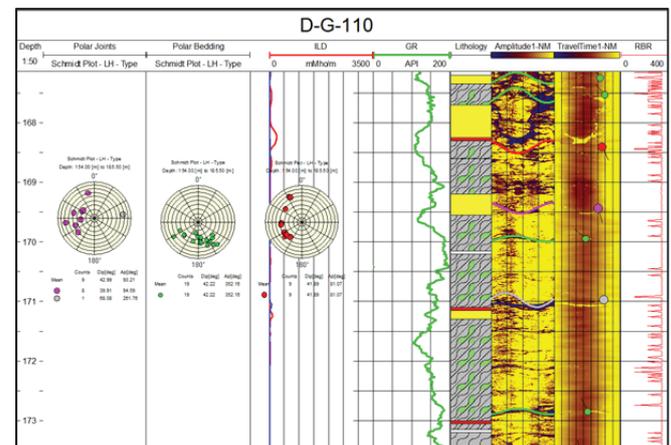


Abb. 3: Geophysikalische Bohrlochmessung in einer türkischen Kupferlagerstätte. Spalten von links nach rechts: Polpunkte der Klüfte, Polpunkte der Schichtflächen, Polpunkte der Störungsflächen und Leitfähigkeitskurve, Gamma, Lithologie, Amplitude des ABI, Laufzeit des ABI und Kaliber.

Fig. 3: Geophysical log results from a Turkish copper deposit. From left to right: pole points of joints, pole points of bedding, pole points of fault planes and induction log, gamma ray, lithology, amplitude of ABI, travel time of ABI, and caliper.

3.4 Anwendungsbeispiel

Die folgende Abbildung (Abb. 3) zeigt Messergebnisse einer Bohrlochmessung für ein Kupferbergbau-Projekt in



der Türkei. Neben der petrographischen Kernaufnahme und Probennahme zur Ermittlung der Erz-zonen und Kupfergehalte wurden Verlaufs-, Kaliber-, Gamma-, Leitfähigkeits- und akustische Teviewwer-Messungen im Bohrloch durchgeführt. An den Teviewwer-Messungen wurden die Trennflächensysteme im Hangenden, im Erzkörper und im Liegenden ausgewertet. Unterschieden wurden Klüfte (grau/magenta), Schichtflächen (grün) und Störungsflächen (rot; vergl. Abb. 3).

4 Spezielle Untersuchungsmethoden und -systeme zur Trennflächenermittlung

Zur Ermittlung der Trennflächensysteme haben sich in der Praxis unter Tage optische Messmethoden bewährt (GORKA & PETERS 2010). Verschiedene Geräte wurden für die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten speziell entwickelt.

4.1 Stereophotogrammetrie

Da in der Vorfelderkundung nur punktuell Daten erhoben werden können, bieten sich bei der Auffahrung von Strecken und Abbaukammern unter Tage wichtige Gelegenheiten für die Erfassung zusätzlicher geotechnischer Daten. Oftmals ergibt sich dazu auch aus bergbaulichen Gründen die Notwendigkeit, im laufenden Betrieb genaue Daten über das Trennflächengefüge zu ermitteln. Detaillierte händische Aufnahmen von Trennflächen an den vorhandenen Aufschlüssen sind jedoch nicht nur zeitaufwändig sondern vor allem gefährlich. Um den laufenden Betrieb nicht zu stören und die Produktion oder den Vortrieb zu sehr aufzuhalten, bieten sich moderne, digitale stereophotogrammetrische Aufnahmemethoden an (HOLSTEIN et al. 2008). Hierbei wird die Ortsbrust oder ein anderer untertägiger Aufschluss aus mehreren Metern Abstand mit zwei Kameras, die mit etwas seitlichem Abstand zueinander auf einer Basis montiert sind, stereoskopisch aufgenommen. Die Aufnahmen können zügig gemacht werden ohne den Betrieb lange aufzuhalten, und erlauben die Einhaltung eines geeigneten Sicherheitsabstands. Die Bilder werden anschließend über Tage am PC ausgewertet (Abb. 4).

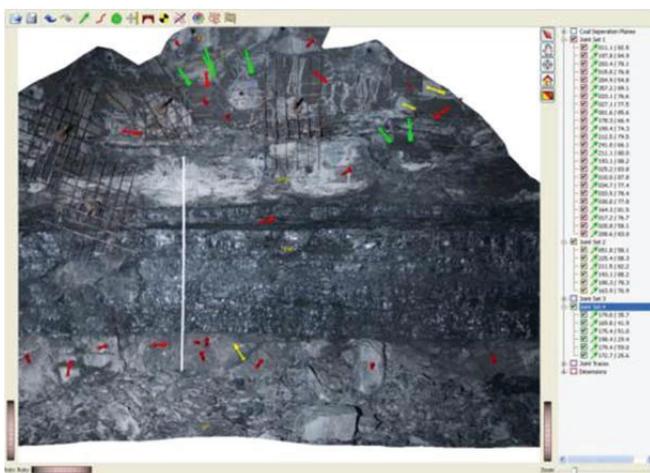


Abb. 4: Trennflächenauswertung an einer stereophotogrammetrischen Aufnahme einer Ortsbrust in der Steinkohle.

Fig. 4: Analysis of joints of a stereophotogrammetric image taken at the heading face of a coal roadway.

Die Ermittlung der Orientierung der Trennflächen und die Vermessung von anderen sichtbaren Elementen im Bild, z.B. Schicht- oder Flözmächtigkeiten, sind so möglich. Gegenüber der händischen Aufnahme bieten die stereoskopischen Kameraaufnahmen zudem den Vorteil, dass eine sehr große Anzahl von Trennflächen erfasst werden und statistisch auswertbar sind.

Mittlerweile sind auch EX-geschützte hochauflösende Digitalkameras für die Verwendung im Steinkohlenbergbau verfügbar.

4.2 Sondierungen von Anker-Bohrlöchern

Speziell für die optische Untersuchung des Gebirges in dünnen Bohrlochern, wie sie zum Beispiel in großem Umfang routinemäßig zum Setzen von Anker erstellt werden, wurde der DMT SlimBoreholeScanner (SBS) entwickelt (GORKA & PETERS 2008). Es handelt sich um eine leichte, dünne Sonde mit einem Durchmesser von nur 23 mm, die von Hand in das zu untersuchende Bohrloch gefahren wird (Abb. 5). Sie erfasst eine 360°-Ansicht der gesamten Bohrlochwand und zeichnet das Bild der Bohrlochwand digital auf. Als EX-geschützte Version kann sie auch im Kohlenbergbau eingesetzt werden.



Abb. 5: SlimBoreholeScanner (SBS) entwickelt von DMT.

Fig. 5: SlimBoreholeScanner (SBS) developed by DMT.

Die SBS wurde entwickelt, um den Zustand des Gebirges rund um eine untertägige Strecke zu untersuchen, und durch wiederholte Messungen Veränderungen während deren Nutzungszeit zu beobachten. Aus den aufgezeichneten Bohrlochbildern können die Positionen, Orientierungen, Füllungen und Öffnungsweiten von Trennflächen bestimmt und Aussagen über die Lithologien und den Zertrennungsgrad des Gebirges gemacht werden. Durch diese Informationen können potentielle Keile in der Firste oder der Ortsbrust erkannt werden und das Ankerschema lässt sich schon während der Auffahrung anpassen und optimieren.

Durch die Beobachtung der Auflockerung der Firste nach der Auffahrung können Reparatur- und zusätzliche Sicherungsmaßnahmen, wie Injektionen des Gebirges, effektiv geplant und deren Erfolg kontrolliert werden. Auch eine Kontrolle der Hinterfüllung und deren Anbindung an das Gebirge sind möglich. Nach PETERS & GORKA (2009) können durch die Kombination der Trennflächendaten aus stereophotogrammetrischen Aufnahmen der Ortsbrust und

Messungen mit dem SlimBoreholeScanner SBS sämtliche Trennflächensysteme durch die unterschiedlichen Aufschlussrichtungen bei den jeweiligen Messungen erkannt werden.

4.3 CoreScan

Durch das hochauflösende Scannen mit dem DMT CoreScan[®]3 (Abb. 6) können Bohrkern in vollem Umfang (360°) digitalisiert, deren Bilder gespeichert und ausgewertet werden. Neben der Analyse des Mineralbestands und der Korngrößenverteilung kann eine detaillierte strukturelle Auswertung vorgenommen werden. Orientierungen, Eigenschaften und Mineralisierung der Trennflächen können ermittelt werden. Der CoreScan[®] ermöglicht zudem die Ableitung des RQD Indexes.



Abb. 6: Digitaler Bohrkernscanner (DMT CoreScan[®]3).

Abb. 6: Digital drill core imaging system (DMT CoreScan[®]3).

5 Verwendung der Messergebnisse zur Gebirgsbewertung

Die an den Bohrkernen und anderen verfügbaren untertägigen Aufschlüssen mit den zuvor genannten Methoden ermittelten Parameter dienen im deutschen Steinkohlenbergbau als Grundlage für eine Bewertung des Gebirges. Das eigens entwickelte, geotechnische Gebirgsbewertungssystem (POLYSOS et al. 2006) unterliegt der betrieblichen Forderung, einen universellen Charakter mit einer großen Bandbreite seiner Nutzung zu beinhalten, wie z.B. bei der Ermittlung von Belastungsannahmen, der Ermittlung des Gebirgsverhaltens bei der Streckenauffahrung und Streckennutzung sowie zur Hangendbeherrschung im Streb und am Streb-/Streckenübergang.

Die Verbandsfestigkeit des geschichteten Steinkohlengebirges wird durch die Parameter Gesteinsfestigkeit, Bankigkeit, Ausbildung und Dichte der schichtparallel verlaufenden und schichtschneidenden Trennflächen, Zertrennungs-, Durchtrennungsgrad und Gebirgswasser bestimmt. Diese Parameter prägen im Zusammenspiel mit den jeweils herrschenden Gebirgsspannungen und dem Faktor Zeit (Einwirkungsdauer auf den Grubenbau) das Verhalten des Gebirges.

Für die geotechnischen Gebirgsbewertung werden die Größen bzw. Eigenschaften folgender Parameter bewertet:

- Ausbildung der Schichtung
- Bankigkeit
- Gesteinseigenschaften
- Ausbildung der Oberfläche der Schichtflächen
- Zusätzliche Beschreibung der Schichtflächen
- Ausbildung der Trennflächen
- Ausbildung der Oberfläche der Klüfte
- RQLD
- Zertrennungsgrad
- Durchtrennungsgrad
- SL-Wert (Schichtigkeitszahl = Länge Messgerade/Anzahl Ablösungsflächen)
- KL-Wert (Klüftigkeitszahl = Anzahl Trennflächen/Länge Messgerade)
- Wasserbeständigkeit
- Gebirgswasser

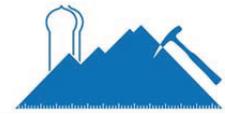
Die Parameter werden in Abhängigkeit von ihrer bergtechnischen Anwendung ihrer Wichtigkeit bzw. Bedeutung nach entsprechend bewertet und zueinander in Beziehung gesetzt. Die geotechnische Gebirgsbewertung erfolgt auf einer dreiteiligen Skala für das Hangende, Liegende und die angeschnittenen Schichteten im Streckenquerschnitt. Des Weiteren wird eine detaillierte Erfassung und Bewertung von tektonischen Störungen vorgenommen und auch die aus geophysikalischen Bohrlochmessungen ermittelten Parameter werden bewertet.

Basierend auf dieser geotechnischen Gebirgsbewertung und den gebirgsmechanischen Berechnungen für Druck und Konvergenz wird schließlich eine auf den deutschen Steinkohlenbergbau abgestimmte Gebirgsklassifikation erstellt. Sie umfasst 21 Parameter und Teilbewertungen, denen je nach Eigenschaft unterschiedlich gewichtete Bewertungskennziffern zugeordnet sind. Aus der Summe der Einzelbewertungen ergibt sich die Bewertungszahl und es folgt die Einteilung in eine von fünf Gebirgsgüteklassen.

Ziel dieser Klassifikation ist es, auf Grundlage der ermittelten Bewertungszahl und Gebirgsgüteklasse die jeweiligen Ausbauklassen zu ermitteln bzw. zu bestimmen, und zwar individuell angepasst auf den jeweiligen untersuchten Streckenabschnitt.

6 Schlussfolgerungen

Neben den klassischen geologischen und geotechnischen Aufnahmen von Aufschlüssen unter Tage stehen dem Geologen eine Vielzahl zusätzlicher Erkundungsmöglichkeiten zur Verfügung. Einige dieser hier vorgestellten Geräte, wie der EX-geschützte SlimBoreholeScanner (SBS) und das stereophotogrammetrische Kamerasystem, sind speziell für den Einsatz im Bergbau entwickelt worden und können auch in der Steinkohle eingesetzt werden. Durch diese Systeme lassen sich objektive digitale Daten über die Trennflächensysteme gewinnen. Hiermit können vor allem der Ausbau effizienter geplant und bei auftretenden Schwierigkeiten zielführende Sicherheits- und Reparaturmaßnahmen umgesetzt werden. Die auf unterschiedliche Arten erfassten geo-



technischen Parameter werden für eigens entwickelte Gebirgsbewertungssysteme verwendet und dienen in ihrer kombinierten Betrachtung der optimierten Planung von Vortrieben, der Auswahl der Ausbauklasse und dem Risikomanagement.

Literatur

- GORKA, T. & PETERS, S. (2010): Determination of structural fabric and rock mass disintegration in underground workings by digital optical measurement systems. – SDGG Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften e.V., **68**: 213-214.
- GORKA, T. & PETERS, S. (2008): Monitoring of the Roof Rocks of Roadways in Underground Coal Mining with the Anchor Borehole Inspection Tool. – In: 21st World Mining Congress & Expo 2008, Satellite Session: 17th International Conference on Automation in Mining ICAMC'2008: 135-142.
- HOLSTEIN, B., PETERS, S. & GORKA, T. (2008): Stereoscopic Analysis of Underground Workings in Coal Mines using Explosion Proof Equipment. – 7th European coal conference, Lviv (Ukraine) 25th-29th August 2008.
- JUNKER et al. (2009): Gebirgsbeherrschung von Flözstrecken. – 656 S., Essen (Verlag Glückauf GmbH).
- PETERS, S. & GORKA, T. (2009): Kombinierte Erfassung von geotechnischen Parametern an der Ortsbrust im Steinkohlenbergbau mit digitalen Stereoaufnahmen und der Verwendung einer optischen Sonde in Ankerbohrlöchern. – GeoDresden 2009, Dresden 30. Sept. - 2. Okt. 2009.
- POLYSOS, N., WITTHAUS, H. & PETERS, S.; (2006): Angewandte Geotechnik in der Planung von Flözstrecken. – 2. Intern. Kolloquium in Rapid Mine Development, Aachen, 2006.
- POLYSOS, N., BRANDT, K.-H. & PETERS, S. (2003): Geotechnische Gebirgsbewertung im Hinblick auf die Hangendbeherrschung im Strebraum. – Glückauf **139** Nr. 10, Essen (VGE Verlag GmbH).
- POLYSOS, N. & PETERS, S. (2002): Determination of Geomechanical Parameters – A Contribution to the Planning of High Performance Advances. – 1. Intern. Kolloquium in Rapid Mine Development, Aachen, 205 – 222.