

IBERIA – In Situ Determination of Metal Concentrations

Ore grade control is often based on geochemical sampling of boreholes cores or detritus. Limitations of this method include a single assay result representing a certain borehole depth, bias generated by sampling of the material and the delay in the delivery of results which can take days or even weeks, so that many decisions in the field have to be taken without fully understanding of the real element contents of the ore body. And this despite elemental analysis is a fundamental component of mining grade control and resource block models. The XRF-based logging tool, called IBERIA, has been developed specifically for providing in real time elemental

analysis through wireline logging. This tool provides a geochemical log along the depth of the boreholes, allowing the generation of nearly continuous data for different elements. Results can be delivered as soon as logging is complete. In this way, the IBERIA tool delivers valuable information in a faster, more detailed and more representative manner than the methods currently used. This paper presents the results of a series of tests demonstrating the accuracy and precision of the IBERIA tool as well as some testimonials on its use as potential new grade control tool for different types of bulk commodity or base metal deposits.

IBERIA – In-situ-Bestimmung von Metallkonzentrationen

Die Kontrolle der Erzgehalte basiert häufig auf geochemischen Probenahmen von Bohrkernen oder Detritus. Zu den Einschränkungen dieser Methode gehören ein einziges Untersuchungsergebnis, das eine bestimmte Länge der Bohrsäule repräsentiert, die Verzerrung durch die Probenahme des Materials und die Verzögerung bei der Lieferung der Ergebnisse, die Tage oder sogar Wochen dauern kann. Dadurch müssen vor Ort viele Entscheidungen getroffen werden, ohne den tatsächlichen Elementgehalt des Erzkörpers vollständig zu kennen und das, obwohl die Elementanalyse ein grundlegender Bestandteil der Gehaltskontrolle im Bergbau und der Ressourcenblockmodelle ist. Das XRF-basierte Logging-Tool namens IBERIA wurde speziell für die Bereitstellung von Echtzeit-Elementanalysen

durch Wireline-Logging entwickelt. Dieses Tool erstellt ein geochemisches Protokoll entlang der Bohrsäule und ermöglicht die Generierung von nahezu kontinuierlichen Daten für verschiedene Elemente. Die Ergebnisse können geliefert werden, sobald die Protokollierung abgeschlossen ist. So liefert das IBERIA-Tool wertvolle Informationen auf schnellere, detailliertere und repräsentativere Weise als die derzeit verwendeten Methoden. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Reihe von Tests vorgestellt, welche die Genauigkeit und Präzision des IBERIA-Tools demonstrieren, sowie einige Erfahrungsberichte über seine Verwendung als potentielles neues Tool zur Gehaltskontrolle für verschiedene Arten von Lagerstätten von Massengütern oder unedlen Metallen.

1 Introduction

Several procedures to determine ore grades are in use in geological exploration as well as in mining operations. Today's state of the art consists in extracting material during drilling in form of cores or detritus, from which samples are taken for further lab analysis to gain average information about large drill sections, mainly of 1 m but occasionally of 2 m or even more. This method shows several drawbacks in daily mine operation. Therefore other methods are required.

2 Ore grade analysis

2.1 Sampling and laboratory

The classical sampling and analysis in the laboratory show the following limitations:

- Always needs sampling. Often ground conditions do not allow it, mainly in mine operations.
- Detailed analyses showing the variability of ore concentrations at the centimeter or decimeter level.

1 Einleitung

Sowohl in der geologischen Exploration als auch im Bergbau werden verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Erzgehalte eingesetzt. Der heutige Stand der Technik besteht darin, dass während der Bohrung Material in Form von Bohrkernen oder Detritus entnommen wird, aus dem Proben für weitere Laboranalysen gewonnen werden, um Durchschnittsinformationen über große Bohrungsabschnitte, hauptsächlich von 1 m, aber gelegentlich auch von 2 m oder sogar mehr zu erhalten. Diese Methode weist im täglichen Betrieb mehrere Nachteile auf, weshalb andere Methoden erforderlich sind.

2 Analyse des Erzgehalts

2.1 Probenahme und Labor

Die klassische Probenahme und die Analyse im Labor weisen die folgenden Einschränkungen auf:

- Es müssen immer Proben entnommen werden. Oft lassen die Bodenverhältnisse dies nicht zu, vor allem im Bergwerksbetrieb.

- Real-time data collection. Conversely, analytical results can take days, sometimes weeks.
- Trusted representativity on both sampling and lab results. A single assay value based on a very small volume of material is considered the "average" grade for a large section or even for the entire length of the hole.

In addition, human error potentially present in the whole analytical chain must be added, amongst others:

- Error in sample labelling (sample name, borehole number, depth-range of the sample).
- Bag breakage during transport or handling.
- Mixing of materials corresponding to different wells and/or depths.

Of an economic point of view, poor sampling and consequently the misclassification of ores can lead to financial losses to hundreds of millions of dollars over the life of mine (1, 2).

2.2 Online methods

A fast method to get an idea about the ore grades utilizes handheld XRF devices to perform measurements on the drill debris. Although representativity is an issue, this method delivers fast information directly in the field.

There are also some (few) experiences called "lab-at-rigs", which consist of bringing the laboratory to the drilling site. This makes sense in very remote locations and for late-stage exploration campaigns with large sample volumes. This reduces the turnaround time but is a major enterprise and does not solve the online data issue because the sample production by drilling is greater than the laboratory's response capacity.

And finally, current generation tools based on prompt gamma neutron gamma activation analysis (PGNAA) technology, in which fast neutrons generated by the tool interact with the nuclei of atoms in the formation, allows to predict both the presence and relative concentration of different elements surrounding the tool. The main points of resistance in the uptake of this technology is by the mining industry the high unit cost of the instrument and also its limited use in shorts wells. Additionally, the presence of a neutron generator inside the probe, which is considered a dual-use device (civilian and military), impedes the use of this count of tools in several countries, while in others the enormous administrative procedures that must be carried out naturally discourages its use.

2.3 The IBERIA tool

In this context, the IBERIA tool, based on x-ray fluorescence (XRF) technology, appears as an alternative to get elemental analysis in a faster, reliable and simply way (Figure 1). It allows a continuous logging along the column of the boreholes, determining in real time the contents of both useful (commercially valuable) and undesirable (contaminants) elements. The acquired data can be sent to a terminal for direct incorporation into geological modelling or borehole logging software.

The tool is lightweight (10 kg), easy to handle and to transport, and can be used by virtually any logging company operating winches with four-connector cables. A very important aspect is

- Detaillierte Analysen, welche die Variabilität der Erzkonzentrationen auf Zentimeter- oder Dezimeter-Ebene zeigen.
- Datenerfassung in Echtzeit. Umgekehrt können Analyseergebnisse Tage, manchmal Wochen dauern.
- Zuverlässige Repräsentativität sowohl der Probenahme als auch der Laborergebnisse. Ein einzelner Untersuchungswert, der auf einem sehr kleinen Materialvolumen basiert, wird als „Durchschnittsgehalt“ für einen großen Abschnitt oder sogar für die gesamte Länge des Bohrlochs angesehen.

Hinzu kommt, dass in der gesamten Analyseketten auch menschliches Versagen möglich ist, wie z. B.:

- Fehler bei der Probenbeschriftung (Probenname, Bohrlochnummer, Tiefenbereich der Probe).
- Beschädigung des Beutels während des Transports oder der Handhabung.
- Vermischung von Materialien, die verschiedenen Bohrlöchern und/oder Tiefenbereichen entstammen.

Aus wirtschaftlicher Sicht können schlechte Probenahmen und folglich die falsche Klassifizierung von Erzen zu finanziellen Verlusten in Höhe von Hunderten von Millionen Dollar über die gesamte Lebensdauer des Bergwerks führen (1, 2).

2.2 Online-Methoden

Eine schnelle Methode, um sich ein Bild von den Erzgehalten zu verschaffen, ist der Einsatz von RFA-Handgeräten, die Messungen am Bohrklein durchführen. Obwohl die Repräsentativität ein Problem darstellt, liefert diese Methode schnelle Informationen direkt vor Ort.

Es gibt auch einige (wenige) Erfahrungen mit sogenannten Lab-at-rigs, bei denen das Labor an den Bohrplatz gebracht wird. Dies ist in sehr abgelegenen Gebieten und bei späten Explorationsunternehmungen mit großen Probenmengen sinnvoll. Es verkürzt zwar die Durchlaufzeit, ist aber ein großes Unterfangen und löst das Problem der Online-Daten nicht, da die Probenproduktion durch die Bohrungen die Leistungsfähigkeit des Labors übersteigt.

Und schließlich ermöglichen Werkzeuge der aktuellen Generation, die auf der Prompt Gamma Neutron Gamma Activation Analysis (PGNAA)-Technologie basieren, bei der vom Werkzeug erzeugte schnelle Neutronen mit den Atomkernen in der Formation interagieren, sowohl das Vorhandensein als auch die relative Konzentration von verschiedenen Elementen rund um das Werkzeug. Die Hauptgründe für die Ablehnung dieser Technologie durch die Bergbauindustrie sind die hohen Stückkosten des Instruments und seine begrenzte Einsatzfähigkeit in kurzen Bohrlöchern. Darüber hinaus behindert der Neutronengenerator in der Sonde, der als Gerät mit doppeltem Verwendungszweck (zivil und militärisch) gilt, in einigen Ländern den Einsatz dieser Art von Instrumenten, während in anderen Ländern natürlich die enormen Verwaltungsverfahren, die durchgeführt werden müssen, vom Einsatz abhalten.

2.3 Das IBERIA-Tool

In diesem Zusammenhang erscheint das IBERIA-Tool, das auf der Röntgenfluoreszenz (XRF)-Technologie basiert, als eine Alternative für eine schnellere, zuverlässige und einfache Elementanalyse

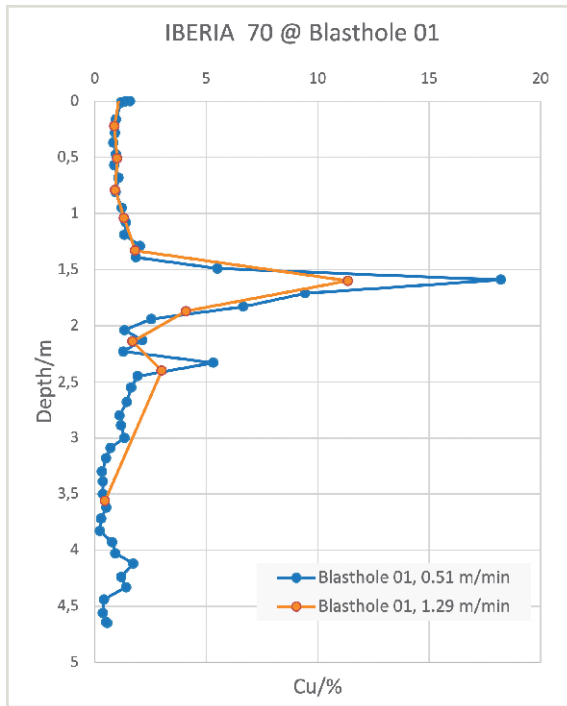


Fig. 1. Downhole measurements in blasthole with IBERIA at two different speeds. // Bild 1. Bohrlochmessungen im Sprengloch mit IBERIA bei zwei verschiedenen Geschwindigkeiten. Source/Quelle: J&C Bachmann

that this tool does not need special permissions to transport it even by flight because it is not classify as dangerous goods.

The tool can be operated at variable speeds, from 0.5 to 4 m/min or more, depending on the level of details (vertical resolution) required by the project. So, e. g., the time to measure a 15 m blast hole running the probe at a speed of 3 m/min would be just 5 min. The tool can measure both downhill and uphill. Both measurements are complementary.

In line with the example above, at a logging speed of 3 m/min, average element contents are obtained every 50 cm or every 25 cm depending on the capture interval that has been set. This level of detail allows to detect variations in element concentrations that would normally go unnoticed with composite samples sent to labs, which should be representative for borehole sections of several meters (Figure 1).

Logging speed in m/min Bohrgeschwindigkeit in m/min	Vertical resolution Recording interval of 10 s Vertikale Auflösung Aufnahmeintervall 10 s	Vertical resolution Recording interval of 5 s Vertikale Auflösung Aufnahmeintervall 5 s
0,5	8 cm	4 cm
1,0	17 cm	8 cm
1,5	25 cm	12,5 cm
2,0	33 cm	17 cm
3,0	50 cm	25 cm
4,0	67 cm	33 cm

Table 1. Approximate vertical resolution obtained in dependence of the logging speed and the spectra recording interval of, in this case, respectively 10 and 5 s. // Tabelle 1. Ungefähre vertikale Auflösung in Abhängigkeit von der Bohrgeschwindigkeit und dem Intervall der Spektrenaufnahme von hier 10 bzw. 5 s. Source/Quelle: J&C Bachmann

(Bild 1). Es ermöglicht eine kontinuierliche Aufzeichnung entlang der Bohrsäule und bestimmt in Echtzeit den Gehalt sowohl an nützlichen (kommerziell wertvollen) als auch an unerwünschten (kontaminierenden) Elementen. Die erfassten Daten können an ein Terminal gesendet werden, um sie direkt in geologische Modellierungs- oder Bohrlochsoftware einzubinden.

Das Gerät ist leicht (10 kg), einfach zu handhaben und zu transportieren und kann von praktisch jedem Logging-Unternehmen eingesetzt werden, das Winden mit vierpoligen Kabeln verwendet. Ein sehr wichtiger Aspekt ist, dass für den Transport dieses Geräts keine besonderen Genehmigungen erforderlich sind, da es nicht als Gefahrgut eingestuft ist.

Das Tool kann mit variablen Geschwindigkeiten betrieben werden, von 0,5 bis 4 m/min oder mehr, je nach dem für das Projekt erforderlichen Detailgrad (vertikale Auflösung). So würde z. B. die Zeit für die Messung eines 15 m langen Sprenglochs mit der Sonde bei einer Geschwindigkeit von 3 m/min nur 5 min betragen. Das Gerät kann sowohl bergab als auch bergauf messen. Beide Messungen sind komplementär.

Entsprechend dem obigen Beispiel werden bei einer Messgeschwindigkeit von 3 m/min die durchschnittlichen Elementgehalte alle 50 cm oder alle 25 cm ermittelt, je nach dem eingestellten Erfassungsintervall. Diese Detailgenauigkeit ermöglicht es, Schwankungen in den Elementkonzentrationen zu erkennen, die normalerweise bei den an die Labors gesandten Mischproben, die für Bohrlochabschnitte von mehreren Metern repräsentativ sein sollten, unbemerkt bleiben würden (Bild 1).

Tabelle 1 zeigt die ungefähren vertikalen Auflösungen, die in Bohrlöchern mit unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten und Aufzeichnungsintervallen von 10 bzw. 5 s erzielt wurden.

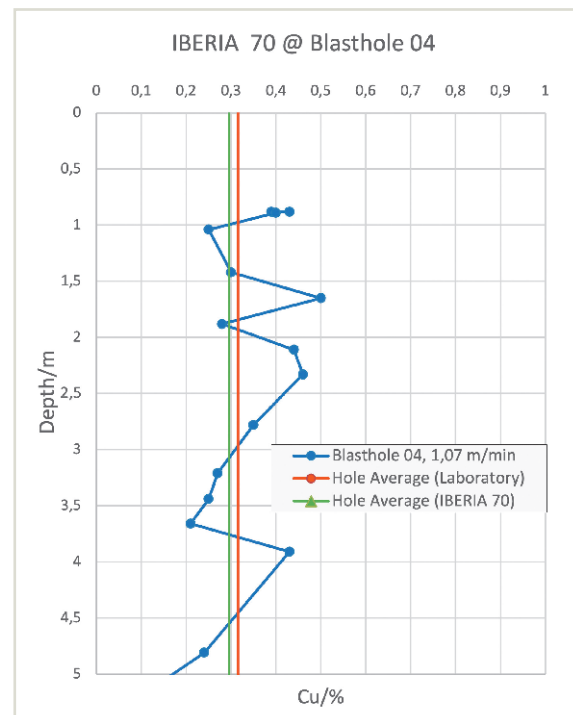


Fig. 2. IBERIA downhole log (blue) and average blasthole Cu concentrations based on laboratory measurements (orange) and IBERIA (green). Bild 2. IBERIA-Bohrlochprotokoll (blau) und durchschnittliche Cu-Konzentrationen im Sprengloch auf der Grundlage von Labormessungen (orange) und IBERIA (grün). Source/Quelle: J&C Bachmann

Table 1 shows the approximate vertical resolutions obtained on boreholes by different logging speeds and both recording intervals of respectively 10 sec and 5 sec.

Figure 2 shows that the average values provided by IBERIA and the laboratory for a borehole of 5 m depth are practically identical, while IBERIA also provides a detail in the vertical distance that the laboratory sample fails to discern.

2.4 Precise and accurate data through correct calibrations

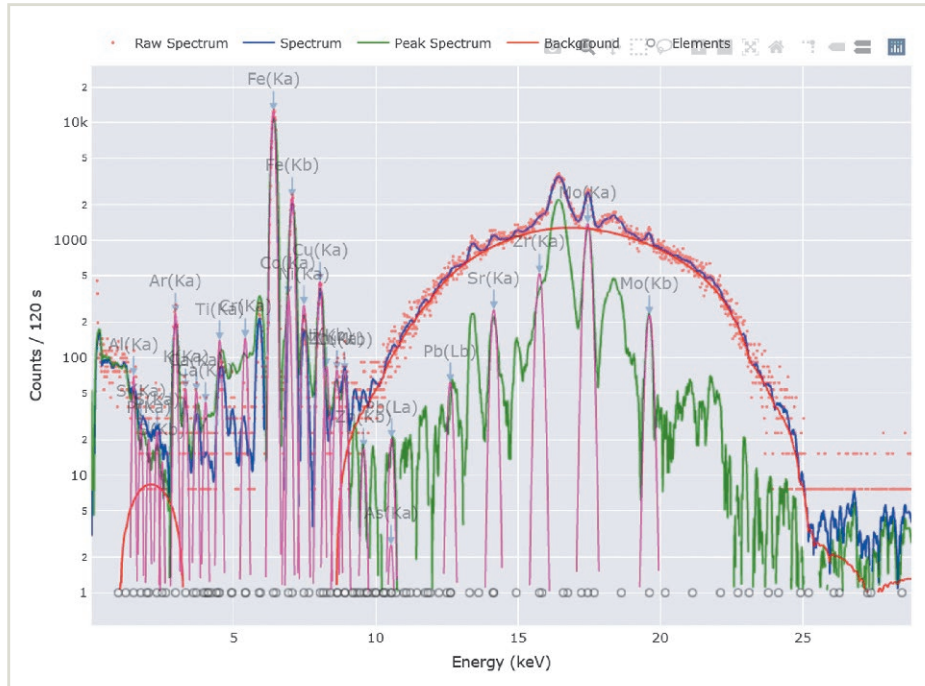


Fig. 3. IBERIA spectrum. // Bild 3. IBERIA-Spektrum. Source/Quelle: J&C Bachmann

From the observed fluorescence spectrum (Figure 3), a residual is taken to remove background response and the height of individual peaks corresponding to different element responses is measured. These peak responses are then placed into a calibration algorithm which determines a relationship with the elemental composition by comparison to a number of samples of known grade. This process is demonstrated for copper, where the observed response of a multi-element metallic ore sample forms part of the calibration set for the prediction of iron and copper (Figure 4) (3).

For each type of deposit, before starting the measurements with IBERIA, it is recommended to calibrate the tool against a series of reference material. IBERIA would hence be able to log elements with ordinary numbers starting at 20 (calcium). Depending on the element, log speed and the matrix of the ore concentration down to 30 ppm can be measured (4).

So IBERIA offers immediate results about ore grades without representativity issues. Use of IBERIA could allow to reduce the amount of required laboratory samples and occasionally the number of boreholes or meters of boreholes to be drilled. But also, and especially in the extraction of ore by blasting, it can help to decide whether the material should go to processing, to a stockpile or to a waste dump if it has no economic value (Figure 5).

Bild 2 zeigt, dass die von IBERIA und dem Labor gelieferten Durchschnittswerte für ein Bohrloch von 5 m Tiefe praktisch identisch sind, während IBERIA auch ein Detail in der vertikalen Entfernung liefert, das in der Laborprobe nicht zu erkennen ist.

2.4 Präzise und genaue Daten durch korrekte Kalibrierungen

Aus dem beobachteten Fluoreszenzspektrum (Bild 3) wird ein Rest entnommen, um die Hintergrundreaktion zu entfernen, und die Höhe der einzelnen Peaks zu messen, die den verschiedenen Elementreaktionen entsprechen. Diese Peak-Reaktionen werden dann in einen Kalibrierungsalgorithmus eingegeben, der durch Vergleich mit einer Reihe von Proben bekannter Qualität eine Beziehung zur Elementzusammensetzung herstellt. Dieses Verfahren wird hier für Kupfer demonstriert, wobei die beobachtete Reaktion einer Multielement-Metallergprobe Teil des Kalibrierungssatzes für die Vorhersage von Eisen und Kupfer ist (Bild 4) (3).

Für jede Art von Lagerstätte wird empfohlen, das Gerät vor Beginn der Messungen mit IBERIA anhand einer Reihe von Referenzmaterialien zu kalibrieren. IBERIA ist dann in der Lage, Elemente mit gewöhnlichen Nummern ab 20 (Kalzium) zu erfassen. Je nach Element, Protokollierungsgeschwindigkeit und Matrix des Erzes können Konzentrationen bis zu 30 ppm gemessen werden (4).

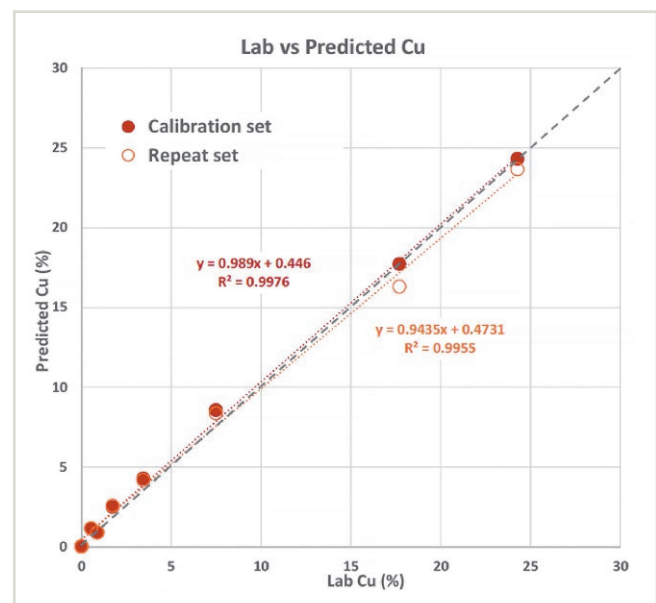


Fig. 4. IBERIA copper calibration. Bild 4. IBERIA-Kupfer-Kalibrierung. Source/Quelle: J&C Bachmann

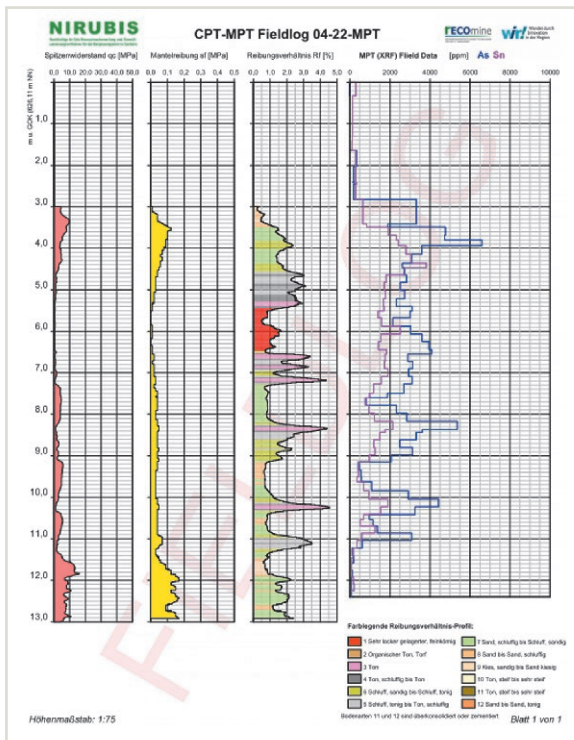


Fig. 5. Example log obtained in a field campaign at Ehrenfriedersdorf/Germany with the IBERIA MPT version.
Bild 5. Beispielprotokoll, das bei einer Feldkampagne in Ehrenfriedersdorf mit der IBERIA MPT-Version gewonnen wurde.
Source/Quelle: J&C Bachmann

3 Conclusions

IBERIA delivers useful data in a timely and more detailed manner than current methods. Furthermore, after proper calibration, with the same precision and accuracy as laboratories.

On the other hand, its smaller size and weight also means it can be used by a single operator on a standard fit wireline logging truck. In addition, IBERIA is not classified as a dangerous goods, this makes it viable to include this elemental analysis tool as part of a standard suite of logging tools.

The tool is intended to collect continuous elemental logs along the boreholes assuming different logging speeds up to 4 m/min. The results of bench testing this tool against reference material standards demonstrate that this tool has sufficient measurement accuracy and precision to be of assistance in grade control for some types of metalliferous ores.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Minnitt, R. C. A. (2017): Poor sampling, grade distribution, and financial outcomes. In: Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Vol. 117, N°2. Johannesburg.
- (2) Carrasco, P.; Jara, E. (2004): The economic impact of correct sampling and analysis practices in the copper mining industry. ScienceDirect.
- (3) Hawke, P. J. (2018): A new blasthole XRF probe for mining grade control. Wireless Service Group, AEGC2018.
- (4) Bachmann, C. (2021): IBERIA demonstration in South African copper. Intern Report.

IBERIA bietet also unmittelbare Ergebnisse über die Erzgehalte ohne Repräsentativitätsprobleme. Die Verwendung von IBERIA könnte es ermöglichen, die Anzahl der erforderlichen Laborproben und gelegentlich auch die Anzahl der zu bohrenden Bohrlöcher oder Bohrlochmeter zu reduzieren. Aber auch und insbesondere bei der Gewinnung von Erz durch Sprengungen kann es helfen, zu entscheiden, ob das Material zur Verarbeitung, auf eine Halde oder auf eine Deponie gebracht werden soll, wenn es keinen wirtschaftlichen Wert hat (Bild 5).

3 Schlussfolgerungen

IBERIA liefert nützliche Daten in einer zeitnahen und detaillierten Weise als die derzeit verfügbaren Methoden. Darüber hinaus ist es nach ordnungsgemäßer Kalibrierung mit der gleichen Präzision und Genauigkeit wie im Labor einsetzbar.

Aufgrund seiner geringeren Größe und seines geringeren Gewichts kann das Gerät von einem einzigen Bediener auf einem standardmäßig ausgestatteten Bohrwagen verwendet werden. Darüber hinaus ist IBERIA nicht als Gefahrgut eingestuft, was es möglich macht, dieses Elementaranalysegerät als Teil einer Standardausrüstung für die Bohrlocherfassung einzusetzen.

Das Gerät ist für die kontinuierliche Erfassung von Elementarprotokollen entlang der Bohrlöcher vorgesehen, wobei unterschiedliche Protokollierungsgeschwindigkeiten von bis zu 4 m/min angenommen werden. Die Ergebnisse von Vergleichstests mit Referenzmaterialien zeigen, dass dieses Gerät über eine ausreichende Messgenauigkeit und Präzision verfügt, um bei der Gehaltskontrolle für einige Arten von metallhaltigen Erzen hilfreich zu sein.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Claus Bachmann, Dipl.-Ing. Eduardo Yanez, J&C Bachmann GmbH, Pforzheim