



## DESMEX

*Steckbrief der Begleitforschung r<sup>4</sup>-INTRA zur Abschätzung der Verbreitungspotenziale von den Forschungsergebnissen der Primärrohstoff-Verbundprojekte der BMBF Fördermaßnahme r<sup>4</sup>, den Beiträgen zur Senkung der Kosten und der Steigerung der Erfolgsaussichten bei der Exploration sowie den ökologischen Potenzialen*

### Projekttitle

Elektromagnetische Tiefensondierung für die Lagerstättenerkundung (Deep Electromagnetic Soundings for Mineral Exploration)

### Koordination

Westfälische Wilhelms-Universität Münster - Institut für Geophysik  
Prof. Dr. Michael Becken

### Projektpartner

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie
- Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)
- Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V. (IPHT), Jena
- Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie
- Supracon AG, Jena
- Metronix Messgeräte und Elektronik GmbH, Braunschweig

### Laufzeit und Fördervolumen

01.03.2015 – 28.02.2019; 2.300.000 €

### Projektziele (Verfahren / Technologien / Methoden)

Im Projekt wurden luftgestützte (semi-airborne) elektromagnetische Erkundungsverfahren entwickelt, um die elektrische Leitfähigkeit im Untergrund flächenhaft bis in 1 km Tiefe abzubilden. Bildgebende Verfahren wurden zur 3D Inversion/Modellfindung entwickelt (Softwareentwicklung wichtig zur Erhöhung der Aussagekraft der Verfahren). Petrophysikalische und mineralogische-geochemische Analysen an Gesteinsproben dienen zur Integration des geophysikalischen Modells mit einem Lagerstättenmodell. Ein Schwerpunkt in dem Projekt ist die Entwicklung höchst empfindlicher Magnetfeldsensoren und die Entwicklung von Datenverarbeitungsverfahren zur Korrektur von Bewegungsrauschen. Die zur Auswahl stehenden Sensortechnologien sind:

- Induktionsspulen- und Fluxgate-Magnetometer
- Optisch gepumpte Magnetometer (OPM)
- Supraleitende Quanten-Interferenz-Detektoren (SQUID)

### Zielgruppe

Hauptsächlich Junior Companies (KMUs), die im frühen Stadium der Erkundung (Reconnaissance und Prospektion) tiefliegende Mineralvorkommen orten wollen (dieses könnte auch in den Auftrag von staatlichen geologischen Diensten fallen). Um den Markt für die luftgestützte EM-Erkundung auch für KMUs zu eröffnen, muss die Anwendung mit einer Drohne ermöglicht werden. Bisher nutzen hauptsächlich Major Companies die Technik. So hat Anglo American mit LTS SQUID (sie haben das Vorrecht auf diese Technologie) mit Sakatti, Lapland, FIN, eine der weltgrößten Nickellagerstätten gefunden.



## Aktuelle Verbreitung der entwickelten Methodik / Technologie

Es gibt zahlreiche kommerzielle luftgestützte EM Technologien (z.B. AEROTEM, HELIGEOTEM, REPTM, SKYTEM, VTEM), die allerdings in ihrer Eindringtiefe limitiert sind. Eindringtiefen von max. 150 m weisen auch die zur Vorerkundung genutzten bestehenden Verfahren HEM, HMG und HRD auf. Das wesentliche Merkmal der neuen Methode ist die große Eindringtiefe von bis zu 1 km, die flächenhaft im Rahmen von Befliegungen erzielt werden kann, und die die Eindringtiefe klassischer airborne-geophysikalischer Methoden erheblich übersteigt. LTS SQUID wird aktuell exklusiv von Anglo American angewendet. Zusammen mit HiTEM wird in Europa das erste Mal ein vergleichbares System entwickelt (Technologievorsprung gegenüber potenziell konkurrierenden Explorationsfirmen).

## Beeinflusste Wertschöpfungsstufen

Hauptsächlich Reconnaissance und Prospektion bei entsprechenden geologischen Vorarbeiten (Kartierungen), die einen Hinweis auf mögliche tiefliegende Verwerzungen geben (bis zur Auswahl des Zielgebietes/Identifizierung möglicher Ressourcen). Darüber hinaus unterstützend in der Übersichts-Exploration (insb. bei Lagerstätten in großen Tiefen).

## Zielrohstoffe Projekt

Verfahren werden an Sb und Fe mit REE getestet.

## Zielrohstoffe - Übertragbarkeit

Im Testgebiet Schleiz/Greiz (Ost-Thüringen) tritt Sb mit Au und Ag auf. Prinzipiell für alle sulfidischen Erze anwendbar. Unabhängig vom Projektrahmen ist die Technologie auch für die Identifizierung von tiefliegenden Aquiferen geeignet sowie zur Kartierung tiefliegender geologischer Formationen.

## Weltweite Bergwerksförderung und Raffinadeproduktion der Zielrohstoffe in 2018

Welt	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion
<b>Sb</b>	126.387 t (CHN, TJK, RUS)	N/A

## Produktion und Verbrauch Zielrohstoffe in EU28 in 2018

EU	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion	Raffinadeverbrauch
<b>Sb</b>	keine	N/A	N/A

## Produktion, Verbrauch und Importe der Zielrohstoffe in Deutschland

DEU	Raffinadeproduktion 2018	Raffinadeverbrauch 2018	Metallimporte 2018 (wichtigste Herkunftsländer)
<b>Sb</b>	keine	N/A	273 t / 2,3 M€ (CHN, VNM) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sb mit Importen von Antimonoxiden (5.238 t / 35 M€)

## Lagerstättentyp Projekt

Sulfidische Sb-Lagerstätte in Thüringen (Altbergbau); Massivsulfidlagerstätte in Nordschweden. Allerdings sind Vererzungen nur indirekt identifizierbar, Targets sind eigentlich bestimmte Gesteinsformationen, in denen entsprechende Vererzungen wahrscheinlich sind.



## Lagerstättentyp - Übertragbarkeit

Die Verfahren sind nicht elementsensitiv, sondern bilden die elektrische Leitfähigkeit im Untergrund ab. Insofern kann die Technologie auf alle Lagerstättentypen angewandt werden, die durch anomale elektrische Leitfähigkeiten charakterisiert sind (alle sulfidischen, hydrothermal gebildeten Lagerstätten – VMS, SEDEX, Skarne, Porphyre, orogenisches Au – insb. solche in Tiefen bis 1.000 m). Der geophysikalische Nachweis kann nur in Form einer Hauptvererzung nachgewiesen werden (in Thüringen wahrscheinlich nicht möglich). Die Technologie ist auch für die Identifizierung von tiefliegenden Aquiferen geeignet sowie zur Kartierung tiefliegender geologischer Formationen.

## Regionale Verteilung der Lagerstätten (Deutschland / Europa / Welt)

Hydrothermal gebildete Lagerstätten (z.B. VMS, SEDEX, Skarne, Porphyre) sind weltweit anzutreffen. VMS-Lagerstätten wurden an Meeresbodenspreizungen vulkanogen gebildet. Sie sind meist relativ klein, haben aber insb. in größeren Tiefen einen ausreichenden Metallgehalt.

### Deutschland

Rammelsberg (Harz) als Beispiel für eine SEDEX-Lagerstätte. Klassische Lagerstättendistrikte wie das Erzgebirge/Vogtland, Harz, Schwarzwald, Rheinisches Schiefergebirge; unter großer (>2000 m) Sedimentbedeckung auch das Norddeutsche Becken

### Europa

u.a. Tschechien (Erzgebirge), Portugal, UK (Cornwall), Skandinavien, (Frankreich, Spanien)

### Welt

Potenzielle Lagerstätten sind weltweit zu erwarten. Aktuell bedeutendste Gebiete mit den größten Reserven in China, Südostasien, den zentrale Anden und Brasilien. Weiterhin an der Westküste Nordamerikas, an der Ostküste Australiens und in Ostrussland

## Zielregion Projekt

Sb-Erze in Ost-Thüringen (NW-Vogtland, bei Schleiz/Greiz) und Massivsulfide in Nordschweden.

## Zielregion - Übertragbarkeit

Weltweiter Einsatz der Technologie möglich.

## Maßstab der aktuell entwickelten Technologie

Demonstrationsmaßstab, der mit wenigen Weiterentwicklungen (insb. in der Rauschunterdrückung) in den industriellen Maßstab überführt werden könnte.

## Notwendige Investitionen für einen industriellen Einsatz der Technologie

Für den industriellen Einsatz, der von KMUs realisiert werden kann, ist aufgrund der deutlich geringeren Betriebskosten der Einsatz von Drohnen notwendig (externe Anbieter). Für die Messtechnik im kleinen Maßstab sind 20.000 € nötig, im klassischen Maßstab (aktueller Stand) rund 40.000 €. Für die Sender müssen je nach Ausstattung weitere 40.000 bis 200.000 € aufgewendet werden.

## Regionale Anwendungspotenziale (Deutschland / Europa / Welt)

### Deutschland

Die Suche nach tiefliegenden hydrothermal gebildeten Lagerstätten könnte in Deutschland systematisch ausgeführt werden. Die Erfolgsaussichten sind allerdings nur schwer abzuschätzen (s.u.), ggf. könnte die Tiefenerstreckung von bereits bekannten Vorkommen neu definiert werden. Für KMUs bietet sich neben der aktiven Explorationsarbeit mit der DESMEX Technik die Möglichkeit, den Service für die Interpretation der Ergebnisse anzubieten.



### Europa

Europaweit ergeben sich große Anwendungspotenziale bei zahlreichen Explorationsvorhaben. Die Wahrscheinlichkeit von tiefliegenden, bisher unentdeckten Lagerstätten ist hoch.

### Welt

Auch weltweit ist das Anwendungspotenzial groß. Bisher ist Anglo American der exklusive Anwender der Technik, was sich durch die DESMEX Ergebnisse ändern könnte. Die Wahrscheinlichkeit von tiefliegenden, bisher unentdeckten Lagerstätten ist hoch.

## Hemmnisse bei der Verbreitung (Deutschland / Europa / Welt)

### Allgemein

Bisher konnte noch nicht nachgewiesen werden, dass die Technik eine Lagerstätte auch tatsächlich detektieren kann. Ggf. ist die anomale geophysikalische Signatur von einigen Lagerstätten (hier Antimon) nicht groß genug um detektiert werden zu können.

### Deutschland

Abschreckung der Bevölkerung durch tieffliegende Helikopter samt Schleppsonde -> Aufklärungskampagne nötig, die aber dank zerstörungsfreier Exploration erfolgsversprechend ist.

### Europa

Abschreckung der Bevölkerung durch tieffliegende Helikopter samt Schleppsonde -> Aufklärungskampagne nötig, die aber dank zerstörungsfreier Exploration erfolgsversprechend ist.

### Welt

Abschreckung der Bevölkerung durch tieffliegende Helikopter samt Schleppsonde -> Aufklärungskampagne nötig, die aber dank zerstörungsfreier Exploration erfolgsversprechend ist.

## Beiträge zur Senkung der Kosten bei der Exploration

Die Projektarbeiten zielen in erster Linie auf eine Steigerung der Erfolgsaussichten im Auffinden neuer Lagerstätten. Indirekt können die Befliegungen die zeitaufwändige geologische Erkundung unterstützen, allerdings nicht ersetzen. Bohrungen zur Verifizierung und Bestimmung der Erzgehalte können zielgerichteter abgeteuft und generell deutlich reduziert werden. Hierbei können mehrere 1.000 m Bohrungen eingespart werden, was mit 15 – 80 US\$/m ins Gewicht fällt (Hartman und Mutmanský 2002).

Für einen wirtschaftlichen Einsatz der Sonden ist eine Verwendung von geeigneten Drohnen nötig, da die derzeit genutzten Hubschrauber in den laufenden Kosten zu hoch sind (Verbundangaben 100 € Betriebskosten/km bei ~500 km Befliegung im Zielgebiet = 50.000 €; ggf. auch deutlich höher).

## Beiträge zur Steigerung der Erfolgsaussichten bei der Exploration

Nach einer frühen Studie von Wellmer (1982) lässt sich die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden von unbekanntem Lagerstätten in größerer Tiefe theoretisch abschätzen. Hierfür wird angenommen, dass bei steil stehenden, an der Oberfläche aufgeschlossenen Lagerstätten im Durchschnitt die Hälfte des Erzkörpers bereits erodiert ist (Abbildung 1). Für die durchschnittliche Tiefe  $x$  der Lagerstätte bedeutet das  $x/2$ . Wellmer (1982) leitet von unterschiedlichen Lagerstätten in den USA und Kanada eine durchschnittliche Lagerstättentiefe von 400 m ( $=x/2 \rightarrow x=800$ m) ab. Da nur nicht bereits bekannte Lagerstätten in die Berechnung zur Steigerung der Erfolgsaussichten einfließen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, eine neue Lagerstätte anzutreffen, linear mit der Tiefe (Wahrscheinlichkeit = Explorationstiefe ET / durchschnittliche Lagerstättentiefe  $x$ ; Abbildung 2). Daraus abgeleitet ergibt sich bei einer ET von 800 m die gleiche Wahrscheinlichkeit eine neue, von der Oberfläche nicht bekannte Lagerstätte anzutreffen wie an der Oberfläche. Diese liegt bei state-of-the-art Technik mit Eindringtiefen um 500 m bei lediglich 60 %. Bei der



von DESMEX realisierten Tiefe von 1.000 bis 1.500 m ist die Wahrscheinlichkeit um das 1,3 bis 1,9-fache höher als an der Oberfläche.

Diese Berechnung beruht allerdings auf variablen Annahmen und kann nur als Näherung betrachtet werden. Zudem muss die geophysikalische Erkundung weiterhin mit geochemischen und geologischen Modellen ergänzt werden.

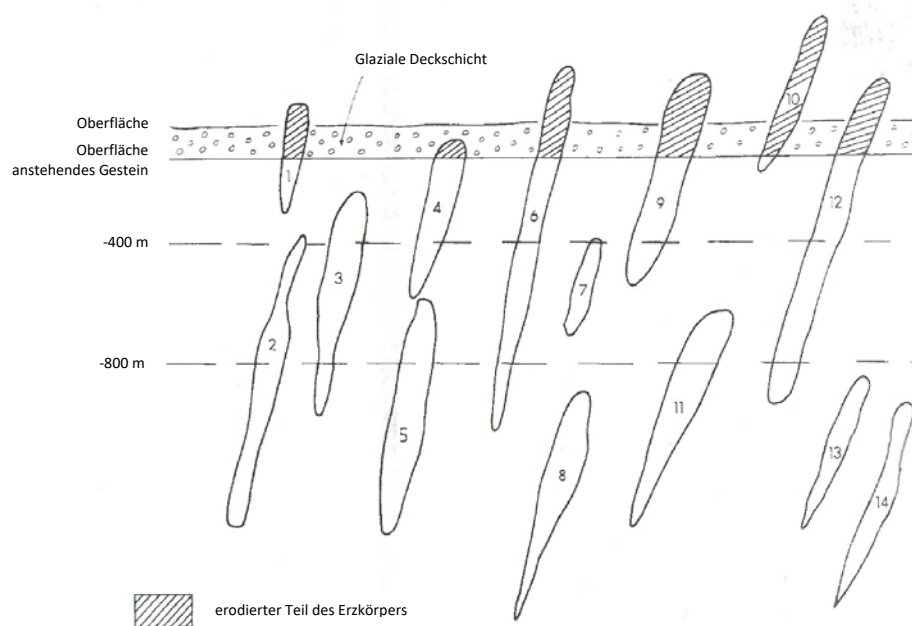


Abbildung 1: Modell für steil einfallende Erzkörper. Verändert nach Wellmer (1982)

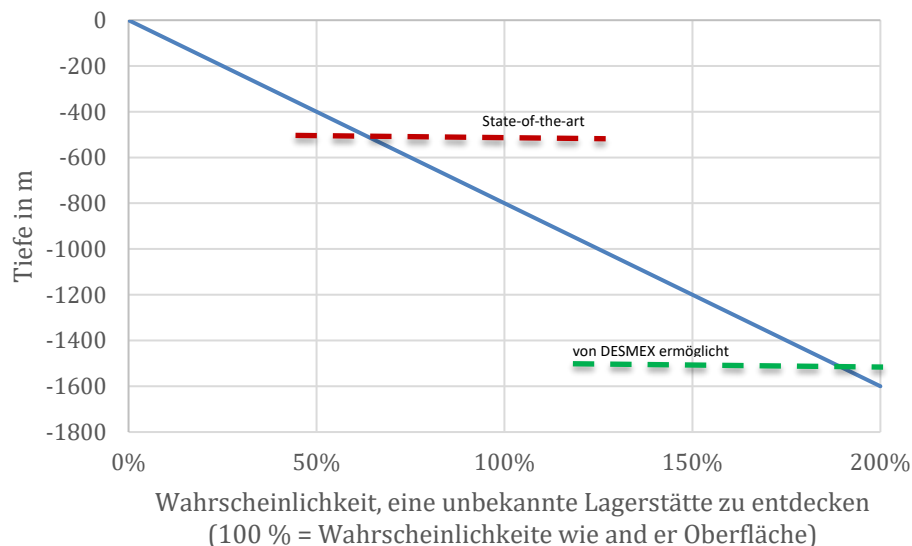


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeit, eine von der Oberfläche noch nicht bekannte Lagerstätte zu entdecken. 100 % entspricht der gleichen Wahrscheinlichkeit die an der Oberfläche gegeben ist. Berechnungen basierend auf Modell von Wellmer (1982).



Generell lässt sich festhalten, dass insb. in traditionellen Bergbauländern mit aktueller und/oder historischer Gewinnung die oberflächennahen Lagerstätten größtenteils bekannt sind. Vor diesem Hintergrund stellen Erkundungsmethoden mit einer hohen Eindringtiefe ein unabdingbares Instrument zum Auffinden neuer Lagerstätten dar.

Die theoretische Wahrscheinlichkeit für das Auffinden einer bauwürdigen Lagerstätte lässt sich nach Slaby und Wilke (2006) mit

$$p_e = p_{geo} * p_{pr} * p_{ex}$$

berechnen, wobei

- $p_{geo}$  = Wahrscheinlichkeit für das geologische Vorhandensein des Vorkommens
- $p_{pr}$  = Wahrscheinlichkeit dafür, dass das geologisch vorhandene Vorkommen auch gefunden wird
- $p_{ex}$  = Wahrscheinlichkeit dafür, dass das gefundene Vorkommen auch bauwürdig ist.

Hierbei handelt es sich um statistisch voneinander unabhängige Wahrscheinlichkeiten. Bei Explorationsprojekten in denen die geophysikalische eingesetzt wird kann man davon ausgehen, dass das geologische Vorhandensein des Vorkommens über Modelle bereits ausführlich untersucht wurde und die Wahrscheinlichkeit bei 50 % ( $p_{geo}$ ) liegt. Über die Methode von DESMEX steigt die Wahrscheinlichkeit, dass das geologisch vorhandene Vorkommen auch gefunden wird erheblich an ( $p_{pr} = 0,5$  anstatt 0,05-0,1), während die Wahrscheinlichkeit, dass das gefundene Vorkommen auch bauwürdig ist ( $p_{ex} = 0,1$ ) gleichbleibt. Die theoretischen Gesamterfolgsaussichten, dass das untersuchte Vorkommen in Produktion geht steigen somit um das 5-fache von 0,5 % auf 2,5%.

## Beiträge zur Versorgungssicherheit in Deutschland

Über die verbesserte Methodik können neue, tiefliegende Lagerstätten in Deutschland in den Fokus einer möglichen Gewinnung rücken. Während die Steigerung der Erfolgsaussichten beispielhaft quantifiziert werden können, sind mögliche Beiträge zur Steigerung der Versorgungssicherheit rein spekulativ. Neben Vorkommen in Deutschland wird das Auffinden von Lagerstätten in größerer Tiefe weltweit über die DESMEX-Technologie wahrscheinlicher. Das könnte über eine Diversifizierung des Rohstoffmarktes indirekt einen positiven Einfluss auf die Versorgungssicherheit in Deutschland haben.

## Ökologische Bilanzierung der Projektarbeiten und Beiträge zur Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität

Dank der detaillierten, nicht-invasiven geophysikalischen Erkundung können Bohrungen zur Verifizierung und Bestimmung der Erzgehalte zielgerichteter abgeteuft und somit generell deutlich reduziert werden.

## Literatur

BGR. Fachinformationssystem Rohstoffe. 2020, unveröffentlicht

HARTMAN, Howard L.; MUTMANSKY, Jan M. *Introductory mining engineering*. John Wiley & Sons, 2002.

SLABY, D.; WILKE, F. L. Bergwirtschaftslehre Teil II-Wirtschaftslehre der Bergbauunternehmen und Bergbaubetriebe. *Verlag der TU Bergakademie*, 2006.

WELLMER, F.-W. New genetic and geochemical concepts as guides to mineral exploration. In: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Internationales Rohstoff-Symposium*. 3. 1982. S. 22-23.