



WISTAMERZ

Steckbrief der Begleitforschung r⁴-INTRA zur Abschätzung der Verbreitungspotenziale von den Forschungsergebnissen der Primärrohstoff-Verbundprojekte der BMBF Fördermaßnahme r⁴, den Beiträgen zur Senkung der Kosten und der Steigerung der Erfolgsaussichten bei der Exploration sowie den ökologischen Potenzialen

Projekttitlel

Prognose wirtschaftsstrategischer Hochtechnologiemetalle am Beispiel des Erzgebirges

Koordinator

Beak Consultants GmbH
Dr. Andreas Barth

Projektpartner

- Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie
- Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Saxore Bergbau GmbH, Freiberg
- AVRUPA Minerals Ltd., Kanada, Portugal, Kosovo

Laufzeit und Fördervolumen

01.06.2015 – 31.12.2018; 1.000.000 €

Projektziele (Verfahren / Technologien / Methoden)

Kernziel war die ressourcen-ökonomische Erstbewertung des Erzgebirges hinsichtlich des WHTM-Potenzials und die Neubewertung traditioneller Rohstoffe auf Basis von neuen Bachsediment- (n>4.000) und Festgesteinsproben (n>1.000), die mit vorhandenen Daten und Modellvorstellungen kombiniert wurden. Darauf aufbauend und unter Nutzung bzw. Weiterentwicklung von künstlicher Intelligenz (neuronale Netze, fuzzy logic) wurde eine neue metallogenetische Karte des Erzgebirges erstellt. Übergeordnetes Ziel war die Entwicklung neuer Verfahren zur Perspektivitätsprognose großer Gebiete insb. auf wirtschaftsstrategische Metalle.

Zielgruppe

- Junior und Major Companies, die im Erzgebirge aktiv werden wollen
- Staatliche Behörden (insb. in Entwicklungsländern), die über die im Projekt entwickelten neuronalen Netze die Höffigkeit aufzeigen und so Investoren in ihr Land holen möchten

Aktuelle Verbreitung der entwickelten Methodik / Technologie

Im Projekt wurden neue computergestützte Auswerteverfahren entwickelt (künstliche neuronale Netze (KNN), fuzzy logic, weitere daten- und wissensbasierte Verfahren -> Beak Software advangeo®). Diese Technologie ist weltweit auf dem Vormarsch und hat insb. für die Verarbeitung und Interpretation großer Datenmengen (big data) enormes Potenzial, wird aber bisher noch nicht flächendeckend eingesetzt (Anwendungsbeispiel SNL 20190327).

Beeinflusste Wertschöpfungsstufen

Die Projektarbeiten decken die gesamte Wertschöpfungskette der Suche und Erkundung mit hauptsächlich geochemischen Explorationsmethoden ab. Angefangen mit den (untergeordneten) konzeptionellen Arbeiten werden durch die flächendeckende Probennahme neue Prospektions- und Bewertungskriterien zur Ausweisung neuer Höffigkeitsflächen von WHTM als Vorbereitung für Firmen geschaffen. Außerdem werden einhergehend die



traditionellen Rohstoffe neu bewertet. Mit dem Projekt AFK laufen darüber hinaus Aufbereitungstests für die Lagerstätte Hämmerlein (-> Detail-Exploration).

Die weltweit einsetzbare Technologie der KNN-basierten Potenzialprognosen dienen bevorzugt den Höffigkeitsprognosen zu Beginn eines Explorationsvorhabens.

Zielrohstoffe Projekt

Sn, Zn, Cu, W, In, Ga, Ge, Nb, Ta, Co, Mo, Te, Sc, Li, Sb, Se, Rb, Cs, Bi, Au, Ag

Zielrohstoffe - Übertragbarkeit

Die Zielrohstoffe im Projekt decken die meisten möglichen Rohstoffe der untersuchten Lagerstättentypen ab. Fe und Pb sowie As und U sind zudem noch möglich.

Weltweite Bergwerksförderung und Raffinadeproduktion der Zielrohstoffe in 2018

Welt	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion
Sn	305.231 t (CHN, IDN, MMR)	345.997 t (CHN, IDN, MYS)
Zn	13,0 Mt (CHN, PER, AUS)	13,2 Mt (CHN, KOR, IND)
Cu	20,6 Mt (CHL, PER, CHN)	24,1 Mt (CHN, CHL, JPN)
W	96.128 t (CHN, VNM, PRK)	N/A
In	Beiprodukt (Zn)	752 t (in 2017; CHN, KOR, JPN, CAN)
Ga	Beiprodukt (Bauxit, Zn)	316 t (in 2017; CHN, RUS, JPN) ¹
Ge	Beiprodukt (Kohle, Cu, Zn)	80 t (in 2017; CHN)
Co	113.868 t (DRC, CAN, ZAF)	124.344 t (CHN, FIN, BEL, CAN)
Ta	601 t (COD, AUS, BOL)	N/A
Nb	59.043 t (BRA, BDI)	56.573 t (Ferro-Niob in 2016; BRA, CAN, RUS)
Mo	272.730 t (CHN, CHL, USA)	235.000 t (Ferro-Molybdän in 2013; CHN, CHL, ARM)
Te	Beiprodukt (Anodenschlamm Cu, Ni)	768 t (BEL, USA, SWE, JPN, RUS)
Se	Beiprodukt (Anodenschlamm Cu, Ni)	3.867 t (CHN, JPN, DEU)
Li	18.868 t (CHL, ARG)	N/A
Sb	126.387 t (CHN, TJK, RUS)	N/A
Rb	N/A	N/A
Cs	N/A	N/A
Bi	2.702 t (CHN, JPN, MEX)	337 t (CAN, MEX)
Au	3.321 t (CHN, AUS, RUS, USA)	N/A
Ag	25.354 t (MEX, PER, CHN)	N/A

¹ Ga mit 680 t Raffinadeproduktion in 2014 (CHN, DEU, KAZ), allerdings mit einem weltweiten Verbrauch von nur ~285 t in 2014 (Roskill 2014; JPN, CHN, USA, Europa)



Produktion und Verbrauch Zielrohstoffe in EU28 in 2018

EU	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion	Raffinadeverbrauch
Sn	124 t (PRT, ESP)	13.148 t (BEL/LUX, POL)	59.555 t (DEU, FRA, NLD, ESP)
Zn	710.000 t (SWE, IRL, ESP)	2,08 Mt (ESP, FIN, BEL, NLD)	2,08 Mt (DEU, BEL, ITA)
Cu	921.000 t (POL, ESP, BGR)	2,7 Mt (DEU, POL, ESP)	3,2 Mt (DEU, ITA, ESP)
W	1.969 t (AUT, ESP, PRT)	N/A	N/A
In	Beiprodukt (Zn)	20 t (BEL in 2017)	N/A
Ga	Beiprodukt (Bauxit, Zn)	38 t (Kapazität in 2016; DEU, HUN)	30 - 40 t (in 2014)
Ge	Beiprodukt (Kohle, Cu, Zn)	N/A	N/A
Co	N/A	19.282 (FIN, BEL)	N/A
Ta	keine	N/A	N/A
Nb	keine	N/A	N/A
Mo	400 t (BGR)	4.000 t (Ferro-Mo in 2017; AUT)	N/A
Te	Beiprodukt (Cu, Ni)	593 t (BEL, SWE)	N/A
Se	Beiprodukt (Cu, Ni)	1.128 t (DEU, BEL, FIN, POL, SWE)	N/A
Li	keine	N/A	N/A
Sb	keine	N/A	N/A
Rb	N/A	N/A	N/A
Cs	N/A	N/A	N/A
Bi	13,5 t (BGR, ROU)	N/A	N/A
Au	28,8 t (BGR, FIN, SWE)	N/A	42 t (in 2016; GBR, ITA)
Ag	2.076 t (POL, SWE, PRT, BGR)	N/A	N/A

Produktion, Verbrauch und Importe der Zielrohstoffe in Deutschland

DEU	Raffinadeproduktion 2018	Raffinadeverbrauch 2018	Metallimporte 2018 (wichtigste Herkunftsländer)
Sn	keine	20.200 t	21.825 t / 378 M€ (IDN, BEL, PER, NLD) ¹
Zn	180.000 t	449.000 t	278.207 t / 734 M€ (Feinstzink; FIN, BEL, NLD) ²
Cu	672.400 t	1.199.600 t	656.689 t / 3.672 M€ (Raffinadekupfer (Kathoden); RUS, FIN, SWE) ³
W	N/A	N/A	48,2 t / 2,9 M€ (GBR, CHN, VNM) ⁴
In	keine	N/A	20,8 t / 4,2 M€ (CHN, TWN, LUX)
Ga	30 t (Kapazität in 2016)	N/A	29,1 t / 5,4 M€ (SVK, USA, CHN)
Ge	keine	N/A	6,8 t / 4,4 M€ (CHN, RUS)
Co	keine	N/A	2.956 t / 195 M€ (BEL, USA, GBR) ⁵
Ta	keine	N/A	31,8 t / 5,7 M€ (in 2016; THA, CHN, USA, EST)
Nb	N/A (Ferro-Niob)	N/A	6.727 t / 130 M€ (in 2016; BRA, CAN, NDL) ⁶
Mo	keine	N/A	939 t / 26,1 M€ (CHN, UZB, RUS, GBR) ⁷
Te	N/A	N/A	1.101 t / 88,0 M€ (PHL, BEL, CHN, CAN)
Se	700 t	N/A	705 t / 9,7 M€ (UKR, KOR, RUS, SWE)
Li	keine	N/A	5.960 t / 51,4 M€ (CHL, USA, BEL) ⁸
Sb	keine	N/A	273 t / 2,3 M€ (CHN, VNM) ⁹
Rb	N/A	N/A	N/A
Cs	N/A	N/A	N/A
Bi	keine	N/A	1.928 t / 18,5 M€ (CHN, BEL)
Au	45 t (in 2015)	36 t (in 2014)	94,0 t / 2.999 M€ (CHE, vertrauliche Länder)
Ag	1.338 t (in 2013)	N/A	867 t / 377 M€ (Rohformen, einschließlich vergoldet o. platinert; N/A, SWE, KAZ) ¹⁰



¹ Sn mit einer Zuschätzung von ~1.000 t / 24 M€ sowie ~360 t (5,7 M€) an Stangen, Profilen und Draht, hauptsächlich aus europäischen Ländern

² Zn mit Importen von Erze und Konzentrate (362.803 t / 301,3 M€; AUS, SWE, USA), Feinzink (2.775 t / 7,9 M€; KAZ, BEL), Legierungen (96.442 t / 262,5 M€; NLD, BEL, LUX), Hartzink (Galvanisationsmatte; 11.489 t / 19,7 M€; CHE, AUT, FRA), Hüttenzink (60.788 t / 154,5 M€; FIN, POL); Oxid/Peroxid (33.627 t / 80,8 M€; NLD, AUT, PER), Pulver/Staub (5.867 t / 16,4 M€; BEL, AUT) sowie Zuschätzungen von 32.342 t / 124,1 M€ (BEL, NLD, FIN)

³ Cu mit Importen von Erzen und Konzentraten (1,2 Mt / 1.953 M€; PER, BRA, CHL) sowie größeren Mengen an anderen nicht raffinierten Rohformen, Legierungen und Oxiden, Abfällen und Schrotten sowie unterschiedliche Zwischenprodukten (Wert insg. 5.510 M€)

⁴ W mit Importen von Wolframcarbid (4.319 t / 168 M€; AUT, CHN, CZE), Wolframate (2.034 t / 47 M€; VNM, CHN, GBR), Pulver (1.138 t / 43 M€; AUT, CZE, CAN), Ferrowolfram (1.023 t / 25 M€; RUS, CHN, KOR), Wolfram(hydr)oxide (944 t / 25 M€; CHN)

⁵ Co mit Importen von Oxide, Hydroxide (1.269 t / 41,8 M€; FIN, BEL)

⁶ als Ferro-Niob in 2016 zudem 222 t / 10 M€ als Rohmetall (in Verbindung mit Rhenium)

⁷ Mo auch mit Importen von Erze und Konzentrate (6.216 t / 80,6 M€; NDL, CHL, BEL, MEX), Ferromolybdän (13.907 t / 223 M€; BEL, ARM, KOR, GBR, RUS), Mo-(Hydr)oxide (2.554 t / 43 M€; CHL, LUX, CHN), Molybdate (405 t / 5,1 M€; USA, POL, GBR) sowie Pulver (176 t / 3,8 M€; CAN, MEX, GBR) -> **DEU** neben CHN, USA und JPN der größte Verbraucher von Mo

⁸ Lithiumkarbonate

⁹ Sb mit Importen von Antimonoxiden (5.238 t / 35 M€)

¹⁰ Ag mit Importen von Erzen und Konzentraten (16.350 t / 87 M€; MEX, ARG, PER) sowie Silbernitrat und verschiedenen Halbzeugen (Wert insg. 95,1 M€)

Lagerstättentyp Projekt

Skarne, Greisen, Felsit (hydrothermal gebildete Lagerstätten des porphyrischen Systems)

Lagerstättentyp - Übertragbarkeit

Übertragbarkeit der verallgemeinerten, konzeptionellen Ergebnisse auf alle hydrothermalen (Hochtemperatur-) Lagerstätten des porphyrischen Systems

Regionale Verteilung der Lagerstätten (Deutschland / Europa / Welt)

(bezogen auf Skarne, Greisen und LCT-Pegmatite, nach Romer und Kroner 2016)

Deutschland

Erzgebirge/Vogtland, Harz, Schwarzwald, Rheinisches Schiefergebirge; unter großer (>2000 m) Sedimentbedeckung auch das Norddeutsche Becken

Europa

Tschechien (Erzgebirge), Portugal, UK (Cornwall), (Frankreich, Spanien)

Welt

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

Erzgebirge/Vogtland; mit bekannten Sn-Inhalten von 428.100 t (Skarne, bei 0,45 % Gehalt), 321.800 t (Greisen, 0,26 %), 70.000 t (Felsit, 0,36 %) und 51.100 t (Gänge, 0,24 %); größtenteils nach 1960 nachgewiesen; hauptsächlich (außer Felsit) im Westerzgebirge

Zielregion - Übertragbarkeit

Detaillierte Probenahme nur für das Erzgebirge. Konzeptionelle Arbeiten zur Genese und Lagerstättenverteilung (Such- und Bewertungskriterien) sowie die angewendete Explorations-Methodik (insb. Prediction Software bei



entsprechender Fütterung mit Daten -> Prognosemodell) ist auf geologisch verwandte Regionen übertragbar (vor allem die europäischen Varisziden, im Prinzip aber weltweit).

Regionale Anwendungspotenziale (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

Aufgrund der engmaschigen Probennahme im gesamten Erzgebirge und der detaillierten metallogenetischen Karte ist das Anwendungspotenzial im Erzgebirge sehr hoch. Die Arbeiten bereiten private Investitionen in der Zielregion direkt vor und sind im Vergleich zu den Daten vieler vergleichbarer Arbeiten für alle zugänglich.

Einhergehend mit entsprechender Datenlage/Probennahme ist die Methodik auch auf die anderen Lagerstättendistrikte anwendbar. Diese muss als vorindustrielle Maßnahme von staatlicher Seite ermöglicht/finanziert werden.

Europa

Wie für die anderen Lagerstättendistrikte in Deutschland, gilt auch für das restliche Europa, dass die Anwendbarkeit der Methodik in den Regionen mit entsprechenden Vorkommen generell gegeben ist, es jedoch eine staatlich finanzierte Probennahme/Datenversorgung geben muss. Hier scheint die Anwendung insb. in den klassischen europäischen Bergbauregionen wahrscheinlich (Skandinavien, iberische Halbinsel, ggf. große Potenziale in Südost Europa).

Welt

Insb. in Entwicklungsländern könnten staatliche Behörden, die im Projekt entwickelte Methodik der neuronalen Netze nutzen, um die Höffigkeit einzelner Gebiete aufzuzeigen und so Investoren in ihr Land zu holen. Die Finanzierung wäre als Teil der Entwicklungshilfe denkbar und würde so gleichzeitig den Zugang zu neuen Märkten ermöglichen.

Hemmnisse bei der Verbreitung (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

Fehlende Investitionsbereitschaft in die vorindustrielle Erkundung der zuständigen geologischen Landesämter.

Europa

Fehlende Investitionsbereitschaft in die vorindustrielle Erkundung von staatlicher Seite.

Welt

Fehlende Investitionsbereitschaft in die vorindustrielle Erkundung von staatlicher Seite bzw. keine eigenen finanziellen Möglichkeiten (Unterstützung aus dem Ausland nötig).

Beiträge zur Senkung der Kosten bei der Exploration

Die Perspektivitätsprognose großer Gebiete mittels KI (die entsprechende Datengrundlage vorausgesetzt) ermöglicht eine kostengünstige Vorauswahl eines konkreten Zielgebietes mit potenziellen Rohstoffvorkommen (hauptsächlich Reduzierung des Personalaufwandes). Die Rohstoffprognose für verschiedene Lagerstättentypen ermöglicht gezieltere Schritte bei der Detailexploration (geochemische Untersuchungen, Bohrungen).

Beiträge zur Steigerung der Erfolgsaussichten bei der Exploration

Dank der ressourcen-ökonomische Erstbewertung des Erzgebirges hinsichtlich des WHTM-Potenzials und der Neubewertung traditioneller Rohstoffe konnte eine neue metallogenetische Karte des Erzgebirges erstellt werden. Diese kann als Grundlage für die Detailexploration zu einer deutlichen Erhöhung der Erfolgsaussichten bei weiteren Erkundungsmaßnahmen im Erzgebirge führen.

Generell hat die KI-gestützte Perspektivitätsprognose bei Fütterung mit aktuellen Daten und Erkenntnissen (z.B. neue Explorations- bzw. Abbruchkriterien; siehe GEM) ein hohes Potenzial, die generellen Erfolgsaussichten zu



steigern. 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 im freien Feld (grassroot exploration) kann man beispielhaft Einzelwahrscheinlichkeiten von 10 % annehmen, was über $p_e = 0,1 * 0,1 * 0,1 = 0,001$ zu Gesamterfolgsaussichten von 1:999 führen würde.

Über die Projektarbeiten wird die Wahrscheinlichkeit für das geologische Vorhandensein des Vorkommens (p_{geo}) erhöht, zudem auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das geologisch vorhandene Vorkommen auch gefunden wird (p_{pr}). Bei einer hypothetischen Erhöhung von p_{geo} und p_{pr} auf jeweils nur 30 % liegen die Gesamterfolgsaussichten über $p_e = 0,3 * 0,3 * 0,1 = 0,009$ bereits bei 1:101.

Beiträge zur Versorgungssicherheit in Deutschland

Durch die Bereitstellung einer detaillierten metallogenetischen Karte des Erzgebirges (zusammen mit GEM) wird das Wissen über die dortigen Sn-(W-In-)Lagerstätten (und andere WHTM) gestärkt und diese könnten für eine wirtschaftliche Gewinnung interessant werden (für quantitative Potenziale siehe AFK und ELIZE).

Weltweit rücken über die Perspektivitätsprognose bisher nicht relevante/bekanntere Gebiete in den Fokus und könnten auch von deutschen Unternehmen erschlossen werden.

Ökologische Bilanzierung der Projektarbeiten und Beiträge zur Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität

Durch die gezieltere Erkundung von potenziell hoffigen Gebieten, werden nur diese von Felduntersuchungen und Bohrungen beeinträchtigt.

Literatur

BGR. Fachinformationssystem Rohstoffe. 2020, unveröffentlicht

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