



GEM

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

Projekttitle

Granitgebundene Erze strategischer Metalle – Bildungsbedingungen und Ableitung innovativer Suchkriterien für verborgene Erzkörper

Koordination

Helmholtz-Zentrum Potsdam

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ - Sektion Anorganische und Isotopengeochemie

Prof. Dr. Rolf L. Romer

Projektpartner

- Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie
- G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
- Beak Consultants GmbH, Freiberg
- Saxore Bergbau GmbH, Freiberg (assoziiert)

Laufzeit und Fördervolumen

01.06.2015 – 31.12.2018; 1.900.000 €

Projektziele (Verfahren / Technologien / Methoden)

Keine Verfahrens- oder Technologieentwicklung. Geochemische und tektonische Randbedingungen Granitgebundener Zinn-Wolfram-Mineralisierungen zur Senkung des Explorationsrisikos durch Ermittlung von Ausschlusskriterien bei Lagerstättenbildungsprozessen; Ableitung innovativer Suchkriterien; Entwicklung strukturgeologischer 3D-Modelle

Zielgruppe

Grundlagenforschung, die vornehmlich von Forschungseinrichtungen genutzt wird. Darüber hinaus aber auch:

- Junior Companies, die sich auf die entsprechenden Rohstoffe und Regionen konzentrieren
- Major Companies („global players“), die sich regional diversifizieren möchten und Entscheidungsgrundlagen zur Selektion der potenziell geeignetsten Gebiete benötigen (= Risikominimierung)
- Staatliche Behörden, die industrielle Vorarbeiten bei der Lagerstätten erkundung durchführen

Aktuelle Verbreitung der entwickelten Methodik / Technologie

Keine Methodenentwicklung! Entwicklung von Konzepten zur Prospektion und Exploration. Verschiedene Ansätze wurden von den Projektbeteiligten und weiteren Wissenschaftlern bereits vor der Förderphase publiziert. Erkenntnisse wurden bestätigt, erweitert und um neue ergänzt.



Beeinflusste Wertschöpfungsstufen

Übergang von der Konzeption zur Reconnaissance bis zur Prospektion

- Bewertung des Potenzials für Erzvorkommen/Lagerstätten vor der eigentlichen Geländearbeit, damit das Explorationsbudget nur in hoffige Bereiche investiert wird
- Indirekt werden so alle Stufen der Exploration beeinflusst, da nachfolgende Schritte bei nicht-höffigen Gebieten nicht durchgeführt werden müssen
- Durch besseres Verständnis der Metallverteilung innerhalb einer Lagerstätte auch Einfluss auf (gezielte) Gewinnung

Zielrohstoffe Projekt

- Modell wurde für Sn, W, In, Ga, Ge entwickelt
- Weitere potenzielle Begleitrohstoffe: Nb, Ta, Mo, Be, REE

Zielrohstoffe - Übertragbarkeit

Konzeptionelle Anwendbarkeit u.a. für Au

Weltweite Bergwerksförderung und Raffinadeproduktion der Zielrohstoffe in 2018

Welt	Bergwerksförderung	Raffinadeproduktion
Sn	305.231 t (CHN, IDN, MMR)	345.997 t (CHN, IDN, MYS)
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)
Ta	601 t (COD, AUS, BOL)	N/A
Mo	272.730 t (CHN, CHL, USA)	235.000 t (Ferro-Molybdän in 2013; CHN, CHL, ARM)
Be	5.426 t (in 2017; USA, CHN, MDG)	N/A
REE	161.472 t (als REO; CHN, AUS, USA)	151.115 t (CHN, MMR, USA, RUS)
Au	3.321 t (CHN, AUS, RUS, USA)	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)
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
Ta	keine	N/A	N/A
Mo	400 t (BGR)	4.000 t (Ferro-Mo in 2017; AUT)	N/A
Be	keine	N/A	N/A
REE	keine	keine	N/A
Au	28,8 t (BGR, FIN, SWE)	N/A	42 t (in 2016; GBR, ITA)



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
W	N/A	N/A	48,2 t / 2,9 M€ (GBR, CHN, VNM) ²
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)
Ta	keine	N/A	31,8 t / 5,7 M€ (in 2016; THA, CHN, USA, EST)
Mo	keine	N/A	939 t / 26,1 M€ (CHN, UZB, RUS, GBR) ³
Be	N/A	N/A	N/A Importe aus (USA, GBR, CHN)
REE	keine	N/A	LREE: 7,4 t / 0,4 M€; HREE: 1,4 t / 0,3 M€ gemischt, legiert: 213 t / 1,6 M€ (CHN, AUT, FRA) ⁴
Au	45 t (in 2015)	36 t (in 2014)	94,0 t / 2.999 M€ (CHE, vertrauliche Länder)

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 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)

³ 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

⁴ Importe von REE-Verbindungen: Ce (1.164 t / 9,4 M€; CHN, EST, FRA, AUT), LREE (7.987 t / 14 M€; CHN, AUT), HREE (217 t / 9,3 M€; CHN, FRAU, AUT), Gemische (33,7 t / 1,5 M€; FRA, CHN, AUT)

Lagerstättentyp Projekt

Hauptsächlich granitische Sn-W-Lagerstätten (Skarne), aber auch LCT Pegmatite

Lagerstättentyp - Übertragbarkeit

Konzeptionell übertragbar, die konkreten Ergebnisse sind allerdings Lagerstätten/Wertmetall bezogen.

Regionale Verteilung der Lagerstätten (Deutschland / Europa / Welt)

Deutschland

Skarnvererzungen des Erzgebirges

Europa

Skarnlagerstätten des variszischen Grundgebirges in Tschechien (Erzgebirge), Frankreich, UK (Cornwall), Spanien und Portugal.

Welt

Prinzipiell für alle granitischen Sn-W-Lagerstätten (Skarne) und LCT Pegmatite anwendbar. Diese liegen bevorzugt an den Grenzen des Gondwana Terran zu Laurussia (z.B. Atlantikküste Nordamerikas, Zentralanden, Südostasien, Ostaustralien; Romer und Kroner 2016).

Zielregion Projekt

Konkrete geochemische Untersuchungen wurden an der Sn-Skarnlagerstätte Hämmerlein (Erzgebirge) durchgeführt, das strukturgeologische 3D-Modell für das gesamte Erzgebirge aufgebaut. Darüber hinaus wurden aber Proben weltweit (größtenteils aus Literaturdaten) für die Ableitung von Explorationskriterien berücksichtigt.



Zielregion - Übertragbarkeit

Prinzipiell für alle granitischen Sn-W-Lagerstätten (Skarne) und LCT Pegmatite anwendbar.

Maßstab der aktuell entwickelten Technologie

Keine Technologieentwicklung. Die Projektergebnisse sind direkt anwendbar.

Notwendige Investitionen für einen industriellen Einsatz der Technologie

Keine für die konkreten Ergebnisse. Für die Erstellung von detaillierten 3d-Modellen, wie es im Projektrahmen für das Erzgebirge erfolgt ist, sind umfangreiche geologische Arbeiten (mit entsprechenden Kosten) erforderlich.

Regionale Anwendungspotenziale (Deutschland / Europa / Welt)

Allgemein

Die Projektergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die konzeptionellen Arbeiten zu Beginn der Exploration weltweit. Die Umsetzung der Resultate erfordert keine neuen Investitionen, sondern nur neues Denken. Sie können direkt dazu führen, dass Gebiete, die bisher als potenziell hoffig erachtet wurden, frühzeitig aufgrund einer fehlenden Voraussetzung zur Wertmetallakkumulation ausgeschlossen werden.

Hemmnisse bei der Verbreitung (Deutschland / Europa / Welt)

Nicht zu erwarten.

Beiträge zur Senkung der Kosten bei der Exploration

In der konzeptionellen Phase der Explorationsarbeiten liegt die Wahrscheinlichkeit, tatsächlich eine später in Produktion gehende Lagerstätte zu finden bei <1:1000. Mit den fortschreitenden Untersuchungen während der Reconnaissance, der Prospektion und der Übersichtsexploration steigen die Erfolgsaussichten spätestens mit einer Bohrkampagne zwar deutlich an (auf 1:90), die Kosten allerdings auch und es wurden bis zu diesem Stadium schon erheblich finanzielle Ressourcen verbraucht. Weitere Erkundungsprojekte scheitern bereits im Vorfeld, können aufgrund erfolgter geochemischer und geophysikalischer Untersuchungen aber auch schon kostenintensiv gewesen sein.

Mit den neuen Erkenntnissen des Projektes konnten Abbruchkriterien in Form einer Checkliste (s.u.) geschaffen werden, die bei der Erkundung von neuen Gebieten bestimmte Regionen gleich im Vorfeld ausschließt oder frühzeitig nach verhältnismäßig geringem Untersuchungsaufwand für nicht lohnenswert einstuft. Somit können finanzielle Ressourcen, die in die Erkundung eines nicht-hoffigen Gebietes geflossen wären eingespart und in andere Erkundungsarbeiten investiert werden, was deren Erfolgsaussichten steigert (s.u.).

Die Explorationskosten werden nicht direkt gesenkt, sondern die Investitionen in Projekte mit höherer Erfolgsaussicht getätigt.

Beiträge zur Steigerung der Erfolgsaussichten bei der Exploration

Die folgenden vier Schritte in der richtigen Reihenfolge sind entscheidend für die Sn-Akkumulation:

1. Verwitterung (essentiell)
2. Sedimentäre Akkumulation
3. Tektonische Akkumulation
4. Metallmobilisierung durch Hochtemperatur-Schmelzen (mit Biotit als Proxy)

Die Nichterfüllung einer der geologischen Ereignisse im Untersuchungsgebiet kann als Ausschluss- bzw. Abbruchkriterium für weitere Explorationsschritte in diesem Gebiet gesehen und der Fokus auf andere Bereiche gelegt werden. Somit können die Erfolgsaussichten, tatsächlich eine potenziell in Produktion gehende Lagerstätte zu finden, im frühen Stadium der Konzeption und der Reconnaissance erhöht werden.

Eine exakte Quantifizierung der gescheiterten Projekte, die aufgrund der Projekterkenntnisse frühzeitiger hätten abgebrochen werden können, ist nicht möglich. Die theoretische Wahrscheinlichkeit für das Auffinden einer bauwürdigen Lagerstätte lässt sich nach Slaby und Wilke (2006) mit



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

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 neuen 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 in erster Linie die Wahrscheinlichkeit für das geologische Vorhandensein des Vorkommens (p_{geo}) erhöht, zu einem gewissen Grad auch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das geologisch vorhandene Vorkommen auch gefunden wird (p_{pr}). Bei einer hypothetischen Erhöhung von p_{geo} auf 50 % und p_{pr} auf 20 % liegen die Gesamterfolgsaussichten über $p_e = 0,5 * 0,2 * 0,1 = 0,01$ bereits bei 1:99.

Beiträge zur Versorgungssicherheit in Deutschland

Durch die Bereitstellung eines detaillierten 3D-Modelles von dem Erzgebirge (zusammen mit WISTAMERZ) wird das Wissen über die dortigen Sn-(W-In-)Lagerstätten gestärkt und diese könnten, auch aufgrund des dank der Projektarbeiten besseren Verständnisses der Metallverteilung, für eine wirtschaftliche Gewinnung interessant werden (für quantitative Potenziale siehe AFK und ELIZE).

Weltweit rücken bisher nicht relevante/bekanntete Gebiete in den Fokus und könnten auch von deutschen Unternehmen erschlossen werden.

Ökologische Bilanzierung der Projektarbeiten und Beiträge zur Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität

Durch die Vermeidung von unnötigen Erkundungen in nicht-höffigen Gebieten werden nur relevante Flächen von Felduntersuchungen und Bohrungen beeinträchtigt.

Bei Entdeckung einer wirtschaftlich abbaubaren Lagerstätte, können diese aufgrund eines besseren Verständnisses der Metallverteilung gezielter und somit umweltschonender abgebaut werden. Das ist eine notwendige Voraussetzung für die Optimierung des Eingangsmaterials für die Mineralaufbereitung, was einerseits die zu bearbeitenden Volumenströme reduziert (geringere Kosten) und andererseits eine höhere Ausbeute liefert, da die Prozesse den verschiedenen Erztypen angepasst werden können.

Literatur

BGR. Fachinformationssystem Rohstoffe. 2020, unveröffentlicht

ROMER, Rolf L.; KRONER, Uwe. Phanerozoic tin and tungsten mineralization—tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting. *Gondwana Research*, 2016, 31. Jg., S. 60-95.

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