

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Wachstumskern Potenzial – Forschungsverbundprojekt: Hybride Lithiumgewinnung; TP4: Erschließung der Primärrohstoffe, Lagerstätten und Abbauszenarien	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Martin, Mirko Engel, Jacqueline Reichel, Susan Janneck, Eberhard	5. Abschlussdatum des Vorhabens Februar 2013
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation -
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH Schwarze Kiefern 2 09633 Halsbrücke	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 03WKP18D
	11. Seitenzahl 58
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 55
	14. Tabellen 19
	15. Abbildungen 21
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung Das Gesamtvorhaben „Hybride Lithiumgewinnung“ zielt darauf ab, die Voraussetzungen für einen regionalen Wachstumskern aus klein- und mittelständigen Unternehmen auf der Basis einer beabsichtigten Lithiumproduktion zu bilden, der langfristig einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des Lithium-Rohstoffbedarfes in Deutschland leisten und das technologische Know-how erarbeiten soll, um aus Li-haltigen Glimmern, Tiefenwässern und Altakkumulatoren marktfähige Li-Verbindungen zu gewinnen. Lithium tritt in Mitteleuropa metallogenetisch vor allem als Lithiumglimmer „Zinnwaldit“ zum Ende des variszischen Zyklus in postmagmatischen Prozessen (Metasomatose) in nennenswerten Anreicherungen in Monzo- und Albitgraniten auf, insbesondere in Verbindung mit Zinn-Wolfram-Greisenlagerstätten. Daneben findet sich Lithium auch in verschiedenen Tiefenwässern. In Teilprojekt 4 des Verbundprojektes „Hybride Lithiumgewinnung“ wurde die Rohstoffbasis als Voraussetzung einer Lithiumgewinnung aus einheimischen Lagerstätten von Erzen und Tiefenwässern eingeschätzt. Für die potenziellen Lithiumrohstoffe Erz und Tiefenwässer wurden Vorkommen, vorhandene Daten zu Vorräten sowie weitere wesentliche Parameter recherchiert. Neben der bereits bekannten Lithiumlagerstätte Zinnwald wurden weitere potenzielle Lagerstätten charakterisiert. Es zeigte sich darüber hinaus, dass in Deutschland ein großes Potenzial an Lithiumerz-Resourcen existiert, die als Nebenprodukt eines künftigen Zinn-Wolfram-Erzbergbaus gewonnen werden können. Die Daten wurden in ein dazu erstelltes Datenbank- und GIS-System integriert. Dieses besteht aus den beiden Komponenten „Lithiumerz-Datenbank“ und „Probendatenbank“. In letzterer sind u.a. verfügbare Analysendaten enthalten. Für die Lithiumgewinnung aus Erzen wurde ein Szenario entwickelt, dessen Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit grundsätzlich positiv eingeschätzt wurde. Zur Lithiumgewinnung aus Tiefenwässern wurde ein Fällungsverfahren konzipiert, dessen Produkt im Sinne des Projektzieles einer hybriden Lithiumgewinnung in den weiteren Aufbereitungsprozess eingeschleust und verarbeitet werden kann. Für die anfallenden Reststoffe wurden Möglichkeiten der Verwertung zur geotechnischen Stabilisierung abgebauter Lagerstättenteile herausgearbeitet. Als Schlussfolgerung ergibt sich die Machbarkeit der Lithiumgewinnung aus den einheimischen Rohstoffen Zinnwalditkonzentrat aus dem Lithiumerzbergbau, Zinnwalditkonzentrat als Nebenprodukt des Zinn-Wolfram-Bergbaus und Lithium-Vorkonzentrat aus Tiefenwässern.	
19. Schlagwörter Lithium; Lagerstätte; Erz, Greisen, Tiefenwasser, Datenbank, Vorrat; Gewinnung, Machbarkeit, Versatz	
20. Verlag -	21. Preis -

Document Control Sheet

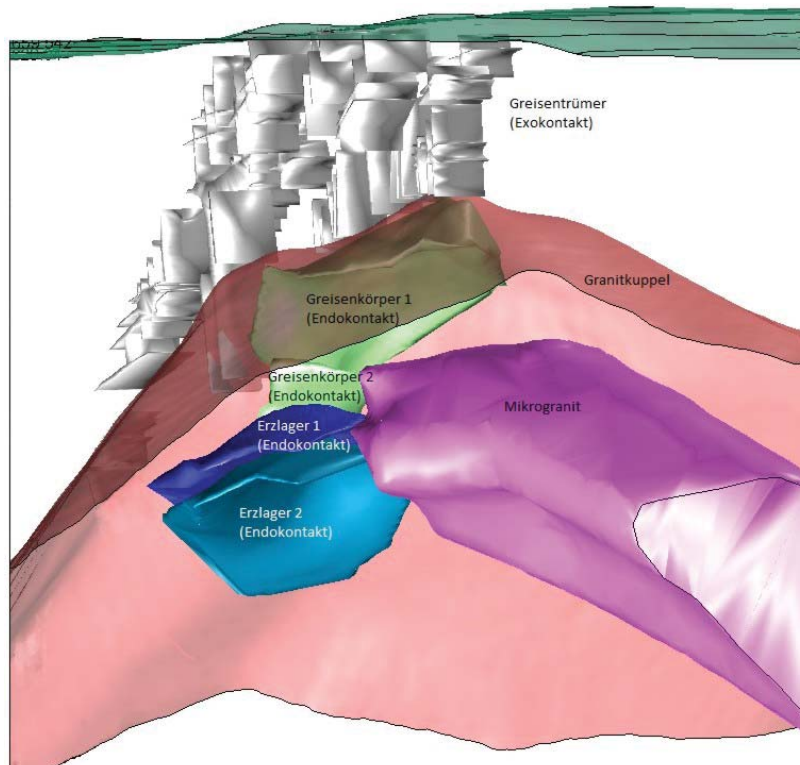
1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Regional Growth Core Potential – R&D Joint Project Hybride Lithium Recovery; WP 4: Development of primary raw materials, deposits and recovery scenarios	
4. author(s) (family name, first name(s)) Martin, Mirko Engel, Jacqueline Reichel, Susan Janneck, Eberhard	5. end of project February 2013
	6. publication date planned
	7. form of publication -
8. performing organization(s) (name, address) G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH Schwarze Kiefern 2 09633 Halsbrücke	9. originator's report no. -
	10. reference no. 03WKP18D
	11. no. of pages 58
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 55
	14. no. of tables 19
	15. no. of figures 21
16. supplementary notes -	
17. presented at (title, place, date) -	
18. abstract The R&D project „Hybride Lithium Recovery“ aims at laying foundations for a Regional Growth Core of SMEs based on lithium production to significantly contribute to long term supply of lithium in Germany and to develop technological know-how for recovery of marketable lithium compounds from lithium micas, brines and EOL batteries. Lithium occurs in Central Europe mainly as lithium mica “Zinnwaldite” related to Tin-Tungsten Greisen deposits of the Variscan Cycle. Lithium occurs as well in brines of aquifers of the Northern German underground. In subproject 4 of the joint project „Hybride Lithium Recovery“ the primary raw materials basis as a prerequisite of a lithium recovery from domestic ores and brines was evaluated. For potential raw materials data on occurrence, reserves and other main parameters were investigated. Beside the known lithium deposit Zinnwald more potential deposits were characterized. It was shown that a big potential of lithium ore resources exists in Germany, which may be recovered as by-product of tin-tungsten mining The data was integrated into a database. It consists of two components, the “Lithium Ore Database” and the “Sample Database”, the latter containing for example chemical analysis data. A scenario of lithium recovery from mica ore was developed and proved basically economically an ecologically feasible. For lithium recovery from subsurface brines a precipitation process was developed. The produced pre-concentrate can be farther processed in the ore processing technology in terms of a Hybride Lithium Recovery. Mining and processing residues can be utilized as paste backfill for geotechnical stabilization of mined-out underground spaces. The subproject concludes with the in principle feasibility of the lithium recovery from the domestic raw materials Zinnwaldite concentrate from lithium ore mining, Zinnwaldite concentrate as by-product of tin-tungsten mining as well as pre-concentrates from underground brines.	
19. keywords lithium; deposit; ore, Greisen, brine, data base, resource; recovery, feasibility, backfill	
20. publisher -	21. price -

Forschungsverbundprojekt

Hybride Lithiumgewinnung

TP4: Erschließung der Primärrohstoffe, Lagerstätten
und Abbauszenarien

FKZ: 03WKP18D



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Zuwendungsempfänger: G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH Lieferadresse: Schwarze Kiefern 2 09633 Halsbrücke OT Tuttendorf Postadresse: PF 1162 09581 Freiberg	Förderkennzeichen: 03WKP18D
--	---------------------------------------

Vorhabensbezeichnung:

Wachstumskern Potenzial – Forschungsverbundprojekt: Hybride Lithiumgewinnung;
TP4: Erschließung der Primärrohstoffe, Lagerstätten und Abbauszenarien

Akronym **Hybride Lithiumgewinnung**

Laufzeit des Vorhabens:

01.03.2011 - 28.02.2013

Berichtszeitraum:

01.03.2011 - 28.02.2013

Zuwendungsempfänger

TP 4:



G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft GmbH
Bearbeiter: Dipl.-Chemiker Mirko Martin
Dipl.-Geologin Jacqueline Engel

Halsbrücke, den 29.08.2013

Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite
I Kurzdarstellung	5
I.1 Aufgabenstellung	5
I.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	6
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
I.4 Stand von Wissenschaft und Technik	7
I.4.1 Geschichtliches	8
I.4.2 Regionale Lagerstätten	9
I.4.3 Bergbautechnik	10
I.4.4 Tiefenwässer und Geothermiewässer	11
I.4.5 Reststoffnutzung	12
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
II Eingehende Darstellung der Ergebnisse des Forschungsprojektes	13
II.1 Erfassung und Bewertung regionaler Erzlagerstätten (AP 1.1.2)	13
II.1.1 Regionale Mineralogie des Lithiums	13
II.1.2 Rechercheergebnisse zu regionalen Lagerstätten	15
II.1.3 Bohrungsdaten	20
II.1.4 Vorräte der regionalen Lagerstätten an Lithium und Nebenkomponenten	21
II.1.5 Integration der recherchierten Daten in das Datenbank- und GIS-System	26
II.1.6 Geologisches Modell der Lagerstätte Schenkenshöhe	30
II.1.7 Rechercheergebnisse zu Halden	32
II.2 Entwicklung von Abbauszenarien regionaler Lagerstätten (AP 1.4.1)	34
II.2.1 Abbauverfahren	34
II.2.2 Ökonomische Betrachtung	36
II.2.3 Umweltaspekte	39
II.3 Gewinnungsszenarien regionaler Tiefenwässer (AP 1.4.2)	41
II.3.1 Charakterisierung der Tiefenwässer	41
II.3.2 Machbarkeit der Lithiumgewinnung und Gewinnungsszenario	42

II.4 Erkundung und Gewinnungsszenarien im Zusammenhang mit Geothermieprojekten (AP 1.4.4)	45
II.4.1 Charakterisierung der Wässer	45
II.4.2 Machbarkeit der Lithiumgewinnung und Gewinnungsszenario	98
II.5 Reststoffnutzung und Reststoffverbringung (AP 1.4.5)	48
II.5.1 Rechercheergebnisse	48
II.5.2 Chemische Beschaffenheit der Reststoffe	50
II.5.3 (Geo)Mechanische Beschaffenheit	52
II.6 Zusammenschau	53
Literaturverzeichnis	55

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Ziel des Teilprojektes von G.E.O.S. ist die Recherche und Charakterisierung der regionalen Lithiumressourcen, die Prüfung der Machbarkeit einer wirtschaftlichen Gewinnung von Lithiumverbindungen sowie die Entwicklung von Szenarien dazu.

Die Arbeiten der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH innerhalb des Verbundprojektes „Hybride Lithiumgewinnung“ erstrecken sich im Rahmen des Arbeitspaketes 1 „Erschließung der Primärrohstoffe, Lagerstätten und Abbauszenarien“ auf die Schwerpunkte „Erfassung und Beschreibung bekannter Lagerstätten“ (AP 1.1) und „Abbauszenarien“ (AP 1.4). Mit diesen Schwerpunkten soll insbesondere die Rohstoffbasis als Voraussetzung der Lithiumgewinnung aus einheimischen Lagerstätten eingeschätzt werden.

Im Wesentlichen waren die folgenden, wissenschaftlichen Untersuchungsschwerpunkte zu untersuchen:

- Schaffung eines Geoinformations/Datenbanksystems für Lithium-Rohstoffe durch Recherche, bei den relevanten Stellen, Aufbereiten der Daten und Einpflegen in das System
- Recherche der regional vorhandenen Vorkommen und Lagerstätten von Li-Erzen
- Einschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Abbaus anhand der Vorräte und Gehalte sowie der abzuschätzenden Bergbaukosten
- Entwicklung eines wirtschaftlichen Abbaufahrens für die Gewinnung der Zinnwaldit-Erze aus regionalen Lagerstätten unter Berücksichtigung einer möglichst schonenden Gewinnung und Förderung des Erzes, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Entwicklung von Gewinnungsszenarien für regionale Tiefenwässer unter Berücksichtigung der notwendigen Aufschlusstiefen, Bewertung der Möglichkeiten zur Aufkonzentrierung solcher Wässer und zum Einschleusen der Konzentrate in den hybriden Lithium-Gewinnungsprozess
- Bewertung des Li-Potenzials von Wässern im Zusammenhang mit Geothermieprojekten und Entwicklung von Szenarien zu deren Gewinnung unter Berücksichtigung von Synergien zur geothermischen Nutzung, Untersuchung der Wirtschaftlichkeit
- Entwicklung von Wegen zur schadlosen Verbringung bzw. Verwertung anfallender, nicht nutzbarer Reststoffe in Abhängigkeit von den angewandten Technologien

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Stark steigende Rohstoffpreise führen seit dem Jahre 2007 insbesondere in Sachsen und Brandenburg zu Bestrebungen, bekannte Erzlagerstätten wieder in Abbau zu nehmen und neue Vorräte zu erkunden. Ein wesentlicher Rohstoff ist dabei Lithium, das in Sachsen an mehreren Stellen vorkommt und für das auf den Gebieten Elektromobilität und Speicherung regenerativer Energien kurz- und mittelfristig ein stark steigender Bedarf erwartet wird [1].

Im sächsischen Erzgebirge wurde bereits eine Reihe von Aufsuchungslizenzen, besonders für Zinn und Wolfram vergeben. Da in entsprechenden Lagerstätten auch Lithiumvererzungen auftreten, sind für eine Gewinnung dieses Rohstoffs günstige Voraussetzungen gegeben, wenn die vorhandenen bergbaulichen und aufbereitungstechnischen Probleme gelöst werden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

G.E.O.S. bearbeitete das Teilprojekt 4 im Rahmen des Arbeitspaketes 1 des Wachstumskern-Potenzial-Verbundprojektes „Hybride Lithiumgewinnung“. Das TP4 widmet sich dabei der Erschließung der Primärrohstoffe, der Bewertung der Lagerstätten und der Erarbeitung von Abbauszenarien. Die Stellung des TP 4 in der Technologieplattform des Verbundvorhabens ist in Abbildung 1 dargestellt. Das TP bildet damit eine wichtige Grundlage des technologischen Gesamtkonzeptes „Hybride Lithiumgewinnung“.

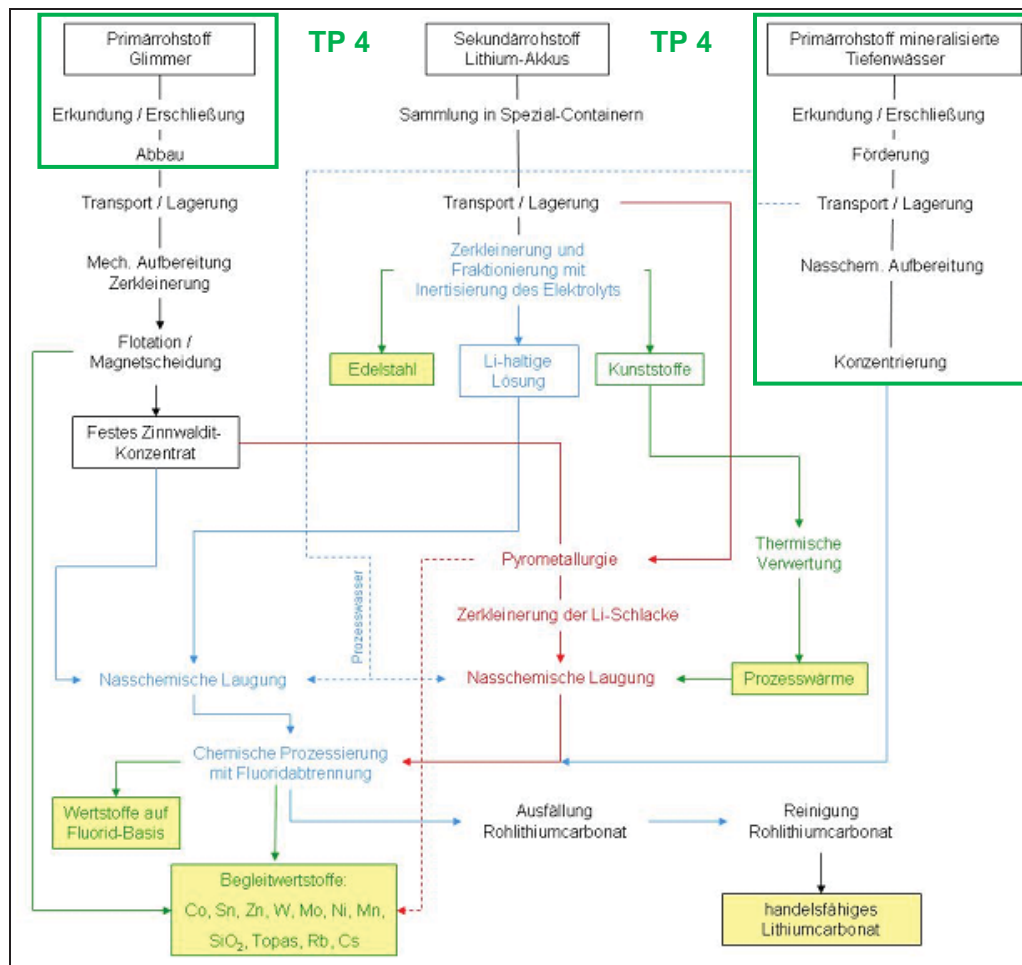


Abbildung 1: Position des TP 4 im Verbundprojekt „Hybride Lithiumgewinnung“

I.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Lithium tritt in Mitteleuropa vor allem zum Ende des variszischen Zyklusses in postmagmatischen Prozessen (Metasomatose) im hydrothermalen Bereich in nennenswerter Anreicherung in Monzo- und Albitgraniten auf (u.a. [2] und [3]). Entsprechende Albitgranite sind im Osterzgebirge in Zinnwald/Cinovec, Altenberg, Sachsenhöhe/Bärenstein, Sadisdorf, Schenkshöhe/Hegelshöhe (alle Deutschland) und Horni Krupka (Tschechien) sowie im mittleren Erzgebirge in Geyer und Ehrenfriedersdorf zu finden (u.a. [4] und [5]). In der Region Erzgebirge befinden sich die Li-reichen Mineralisationen vor allem in den metasomatischen Greisenlagerstätten dieser Monzo- und Albitgranite.

Ein nachhaltiger Abbau von Lithiumlagerstätten erfolgte in Mitteleuropa bisher nicht. Am besten untersucht ist die Lagerstätte Zinnwald/Cinovec, in der eine Lithiumgewinnung in der Vergangenheit in geringem Umfang erfolgte (Abschnitt I.4.1).

I.4.1 Geschichtliches

Das Vorkommen lithiumhaltiger Glimmerminerale in der Lagerstätte Zinnwald (Typlokalität für „Zinnwaldit“) ist bereits sehr lange bekannt. Bis Mitte der 20er Jahre wurde der Lithiumgehalt nicht genutzt und die in den Zinn-Wolfram-Erzen enthaltenen Lithiumglimmer gelangten als Berge auf die Halden.

In den Jahren 1925 - 1933 und 1941 -1945 wurden Aufbereitungssande zu Zinnwalditkonzentraten verarbeitet. Die Verarbeitung dieser Konzentrate zu Lithiumcarbonat erfolgte in der Anlage in Langelsheim [6]. Ab 1944 wurden auch Primärerze (untertägig gewonnener Glimmergreisen) mit verarbeitet.

Tabelle 1: Überblick über die Lithiumerzeugung aus der Lagerstätte Zinnwald (aus [7], [8])

Betriebsjahr	Li-konzentrat	Li-Gehalt
	t	ca. t
1925	501,2	7,0
1926	665	9,3
1927	605,4	8,5
1928	269,3	3,8
1929	789	11,0
1930	785	11,0
1931	409,75	5,7
1932	157,8	2,2
1933	73,1	1,0
1941	1.140	16
1942	ca. 1.300	14
1943	ca. 1.300	14
1944	ca. 1.300	14
1945	ca.430	6,0
Summe	ca. 9.300	123,5

Verlässliche Zahlen über die Gesamt-Erzförderung des 600 Jahre währenden Bergbaus in Zinnwald/Cinovec liegen nicht vor. Rückrechnungen über das ausgebrachte Zinn ergaben eine geförderte Roherzmenge von ca. 16 - 18 Mill. t aus der Gesamtlagerstätte. Setzt man den Li-Gehalt der geförderten Erze mit 0,2 % an, so errechnet sich eine zusammen mit den Sn/W-Erzen geförderte Lithiummenge von 32.000 – 36.000 t.

I.4.2 Regionale Lagerstätten

In der Zinnwalder Lagerstätte ist die Hauptlithiummenge an Greisenkörper gebunden. Die besonders zinnwaldtreichen Flözzonen sind bereits in der Vergangenheit abgebaut worden und stellen kein Potential mehr dar. Die Greisenkörper fallen flach ein und bilden selbständige Körper mit Mächtigkeiten von 5 - 20 m. Das Verbreitungsgebiet der Greisenkörper beginnt im Nordteil der Lagerstätte (deutscher Anteil) in 50 m und im Südteil (tschechischer Anteil) ab 180 m Teufe. Im Südteil der Lagerstätte nimmt die Greisenmächtigkeit deutlich zu.

In der Zinnwalder Lagerstätte sind in Bezug auf die morphologische Ausbildung 3 Greisenvarietäten unterschiedlichen Alters und Ausbildung zu unterscheiden, die auch morphologisch nicht miteinander verknüpft sein müssen.

- 1) Salbandgreisen der „Flöze“ als älteste postmagmatische Bildung
- 2) Kompakte, stockwerksartige Greisenkörper im Verbreitungsniveau der Flözhorizonte
- 3) Kompakte, lagenförmige Greisenkörper im Liegenden der Flözhorizonte

Von diesen Greisenvarietäten kommen insbesondere die unter 3) genannten für einen Abbau in Frage. Diese Greisenkörper besitzen große horizontale Erstreckung und wechselnde vertikale Ausdehnung mit einer Verbreitung im Südteil der Lagerstätte bis zu 800 m Teufe.

In Bezug auf die mineralogische Zusammensetzung lassen sich bei den metaalbitgranitischen Greisentypen der Lagerstätte Zinnwald/Cinovec unterscheiden:

- 1) Quarz - Greisen (95 % Quarz, 3 % Glimmer, 2 % Topas)
- 2) Quarz - Glimmer - Greisen (75 % Quarz, 23 % Glimmer, 2 % Topas)
- 3) Glimmer - Greisen (54 % Quarz, 44 % Glimmer, 2 % Topas)
- 4) Quarzarmer Glimmer - Greisen (20 % Quarz, 78 % Glimmer, 2 % Topas)
- 5) Quarz - Topas - Greisen (85 % Quarz, 5 % Glimmer, 10 % Topas)
- 6) Topas - Glimmer - Greisen (70 % Quarz, 20 % Glimmer, 10 % Topas)

Der Glimmeranteil ist bis auf geringe Ausnahmen (Restglimmer des Altbestandes) als Zinnwaldit ausgebildet.

In den anderen Zinn-Wolfram-Lagerstätten Ostdeutschlands wurde in der Vergangenheit das Lithium nur am Rande der intensiv betriebenen Zinnerzprospektion in die Rohstoffbewertung und Vorratsberechnung einbezogen ([4], [9], [10], [11]). Deshalb kann von einer kontinuierlichen Erkundung nicht gesprochen werden. Viele Erkenntnisse zur Lithiumverbreitung und -konzentration waren demnach Zufallsprodukte.

Eine weitere potenzielle Lithiumquelle könnten Mikroalbitgranitgänge, die metasomatisch unbeeinflusst blieben, bilden. Mikroalbitgranitgänge erstrecken sich von Horni Krupka/CZ bis

in den Raum Altenberg/Zinnwald [12] und stellen ein bisher wenig untersuchtes Rohstoffpotential dar.

Nicht zuletzt führen im Westerzgebirge die jüngsten Varietäten des Eibenstocker Granits ebenfalls erhöhte Li-Gehalte. Diese sind an „Dunkelglimmer“ gebunden [13].

Die zweite regionale Lagerstätte, bei der eine Lithiumgewinnung angedacht war, ist Schenkshöhe. Diese wurde als Zinn-Wolfram-Lagerstätte erkundet. Parallel wurde ein Lithiumgehalt in der Größenordnung von 0,2 % festgestellt. Da die Zinngewinnung aus politischen Gründen Vorrang hatte, wurde das Lithium allenfalls als Nebenprodukt angesehen [33].

In der Zinnerzlagerstätte Altenberg, die bis 1990 in Betrieb war, ist die Lithiumkomponente mit dem Zinnerz verwachsen. Eine Gewinnung wurde wegen möglicher Störungen der vorrangigen Zinngewinnung verworfen [17].

I.4.3 Bergbautechnik

Zu Aufschluss und Gewinnung von Greisenlagerstätten liegen Literaturangaben aus der Zeit des aktiven Bergbaus in den Zinnerzlagerstätten Altenberg, Ehrenfriedersdorf und Cinovec/CZ vor (u.a. [14], [15], [16], [17], [18], [19]). Diese beruhen jedoch auf dem Stand der Technik der 1980er Jahre, d.h. überwiegend gleisgebundener Technik und Schachtförderung.

In der Greisenlagerstätte Altenberg kam als Abbauverfahren in der Periode 1945 - 1991 der Schubortabbau (untertägiger Abzug von Bruchmassen aus der Altenberger Pinge) und später ab 1976 der Teilsohlenbruchbau und Kammerpfeilerbruchbau zum Einsatz. Solche Abbauverfahren ohne Versatz waren allerdings auf die Altenberger Lagerstätte beschränkt, da hier bereits in der Vergangenheit ein umfangreicher Bruch der Lagerstätte mit Entstehung der Altenberger Pinge gegeben war [17]. Der Abbau der Lagerstätte Altenberg mittels bis zur Oberfläche durchgreifenden Bruchbaus stellt einen Sonderfall dar. Unter heutigen Verhältnissen ist ein solches Verfahren nicht mehr genehmigungsfähig.

Im tschechischen Teil der Lagerstätte Zinnwald/Cinovec wurde in der letzten Abbauperiode bis 1989 neben Langkammerbau mit Versatz oder Kammerbruchbau mit Versatz auch ein offener Kammerbruchbau ohne Versatz praktiziert. Trotz der bekannten Neigung des Gebirges von Zinnwald zu unkontrollierten Verbrüchen traten dabei keine geomechanischen Ereignisse ein, die Einfluss auf die Tagesoberfläche nahmen [18].

Da bisher in den Lagerstätten des Erzgebirges keine Aufbereitung von Greisen-Festerz zu Lithiumerzen (Zinnwaldit-Konzentrat) erfolgt ist, kann zu den technologischen Besonderhei-

ten eines solchen Prozesses und den Auswirkungen auf die Bergbautechnologie noch keine Aussage getroffen werden.

Neuere Angaben finden sich zum Abbau von Kalklagerstätten in Sachsen [20] und der Wolframlagerstätte Mittersill/Österreich [21]. Diese modernen Bergbaukonzepte stützen sich auf den Aufschluss der Lagerstätten durch Rampen, welche auch zur Förderung genutzt werden sowie den Einsatz gleisloser Technik.

I.4.4 Tiefenwässer und Geothermiewässer

Lithiumhaltige Tiefenwässer sind international im Zusammenhang mit Erdöl- und Erdgasförderung sowie der Nutzung geothermischer Energie bekannt. Diese haben ähnliche Lithiumgehalte wie die Salare, aus denen gegenwärtig der größte Teil der Lithiumförderung stammt. Eine nachhaltige Lithiumgewinnung erfolgte wegen der Marktdominanz der Salare als Lithiumquelle, verglichen mit Salaren geringerer Vorräte sowie des geringen Lithiumpreises in der Vergangenheit bisher noch nicht.

Untersuchungsergebnisse liegen zu hydrogeologischer Charakteristik und Stoffbestand der Tiefenwässer der Norddeutschen Tiefebene vor ([22], [23], [24], [25]). Das Lithium zählt dabei zu den in den norddeutschen Thermalwässern gegenüber der Evaporationskurve von Meerwasser überwiegend angereicherten Elementen. Die Werte für diese Wässer reichen von 0,3 bis zu 200 mg/l. Besonders hohe Gehalte treten im Buntsandstein, Zechstein und Rotliegenden auf [24]. Als Ursache für diese Anreicherung kommen nicht allein die Evaporation, sondern auch intensive Wasser-Gestein-Wechselwirkungen in Frage. Durch die sehr stark temperaturgesteuerte diagenetische Umwandlung von Illit-Smektit über Illit zu Illit/Muskovit wird, wie anhand paläozoischer Tonsteine des Beckens nachgewiesen, Li freigesetzt [24].

Hinsichtlich der Wässer in Geothermieprojekten gilt entsprechendes wie bei den regionalen Tiefenwässern, da bei Geothermieprojekten solche thermalen Wässer als Wärmereservoir genutzt werden (z.B. Region Neubrandenburg). Eine Verwendung solcher Wässer zur Lithiumgewinnung kann nur begleitend zur Geothermienutzung erfolgen. Von großer Bedeutung bei der Nutzung entsprechender Wässer als Lithiumquelle ist die Vermeidung von Störungen des laufenden Geothermiebetriebes, z. B. durch Ausfällungen oder Scaling ([23], [24]).

I.4.5 Reststoffnutzung

Eine Verarbeitung bergmännisch gewonnener Greisenerze auf Glimmer bzw. Lithiumverbindungen ist im deutschen Teil des Erzgebirges bisher nicht erfolgt, so dass auch keine Reststoffe verbracht wurden. Die bei der bis 1945 erfolgten Gewinnung aus Halden angefallenen quarzreichen Sande wurden als Baustoffe abgesetzt.

Zur Verwendung von Bergen und Aufbereitungsabgängen als Versatz liegen international umfangreiche Erfahrungen vor, besonders aus dem Bergbau auf Gold- und Nickelerze. Unter der Bezeichnung „paste backfill“ wird z.B. der Einsatz von pastenförmigem Material mit hohem Feststoffgehalt verstanden [28]. Diese werden meist aus feinkörnigen Abgängen der Nassaufbereitung (z.B. Flotation) mit oder ohne Zusatz von Bindemitteln hergestellt ([28], [29]). Anwendungsbeispiele unter Verwendung von Flugasche als Bindemittel finden sich im Erzgebirge z. B. im Marmorbergbau bzw. der Bergbausanierung [20]. Darüber hinaus wurde in der Uranlagerstätte Ronneburg beim Abbau von Erzkörpern größerer Mächtigkeit in großem Umfang sog. selbsthärtender Versatz mit Flugasche oder Zement als Bindemittel eingesetzt [30].

Die Literaturübersicht zeigt eine große Vielfalt möglicher Versatzrezepturen, so dass in jedem Einzelfall eine Abstimmung auf die konkreten Bedingungen und Materialien der Lagerstätte erfolgen muss.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Unterstützung durch die öffentlichen Einrichtungen:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Dr. J. Richter	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Geoarchive und Sammlungen Halsbrücker Straße 31a 09599 Freiberg
Bergarchiv Freiberg	Sächsisches Staatsarchiv Bergarchiv Freiberg Schloßplatz 4 09599 Freiberg
Besucherbergwerk Zinnwald	Besucherbergwerk "Vereinigt Zwitterfeld zu Zinnwald" OT Zinnwald Georgenfeld Goetheweg 8 01773 Altenberg

II. Eingehende Darstellung der durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse des Forschungsprojektes

II.1 Erfassung und Bewertung regionaler Erzlagerstätten (AP 1.1.2)

Die Arbeitsziele beinhalten die Erfassung und Beschreibung bekannter Lithium-Lagerstätten (regional und international, Solen und Erze) in einem Geoinformationssystem und die auf der geometallurgischen und genetischen Charakterisierung der unterschiedlich gearteten Lagerstätten basierende Entwicklung von Ansätzen zu deren Erschließung und Abbau.

Das AP 1.1.2 wurde in Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg, Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie bearbeitet. Es diente der Recherche, Erfassung und Bewertung von regionalen Lithium-Erzlagerstätten in Zentraleuropa mit Schwerpunkt auf Deutschland sowie der Aufbereitung der Daten und deren Einpflege in die GIS/Datenbank.

Über die Greisenlagerstätten hinaus sollen auch alternative Lithiumerze, wie Granitvarietäten im Westerzgebirge (z. B. Eibenstock) hinsichtlich einer potenziellen Nutzbarkeit (Lithiumgehalte und -vorräte, mögliche Aufbereitungsverfahren, Wirtschaftlichkeit) zur Lithiumgewinnung einer ersten Bewertung unterzogen werden.

Aus der Aufgabenstellung im AP 1.1.2 ergeben sich folgende von G.E.O.S. bearbeitete Unter-Arbeitspakete:

- AP 1.1.2.1 Daten von GEOS und Bergarchiv Freiberg: Recherche, Aufbereitung und Einpflegen in GIS/Datenbank
- AP 1.1.2.2 Daten BGR u. LfULG Sachsen: Recherche, Aufbereitung und Einpflegen in GIS/Datenbank
- AP 1.1.2.4 Datenbestand Tschechien: Recherche, Aufbereitung und Einpflegen in GIS/Datenbank
- AP 1.1.2.5 Datenbestände zu Altbergbauhalden: Recherche, Aufbereitung und Einpflegen in GIS/Datenbank

Die Ergebnisse der AP 1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.1.2.4 und 1.1.2.5 werden hier zusammengefasst, da sich bei der Vielzahl recherchierter Quellen mannichfache Überschneidungen ergeben.

II.1.1 Regionale Mineralogie des Lithiums

Lithiummineralisationen konzentrieren sich in Mitteleuropa nach den Rechercheergebnissen im deutschen und tschechischen Teil der Fichtelgebirgisch-Erzgebirgischen Antiklinalzone. In diesem Bereich finden sich Granite, die geochemisch an Elementen wie Zinn, Wolfram, Lithium, Rubidium, Cäsium und Uran angereichert sind. In diesen Graniten und deren Umgebung kam es zur Bildung entsprechender Mineralisationen und Lagerstätten.

Regional treten einerseits reiche Lithiumminerale auf, die allerdings keine Lagerstätten bilden. Andererseits finden sich lithiumärmere Minerale, die mehrere große Vorkommen bilden.

Tabelle 2: Lithiumminerale und deren Vorkommen in der Fichtelgebirgisch-Erzgebirgischen Antiklinalzone (Auswahl)

Mineral		Li-Gehalt (%)	Vorkommen	Bemerkungen	geschätzter Li-Inhalt (t)
lithiumreiche Minerale (> 2 % Li)					
Amblygonit	(Li,Na)Al(PO ₄)(F,OH)	3,4	Chursdorf (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Arnsdorf (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Penig (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Geyer (SN)	Greisenlagerstätte	< 5
			Vernerov (CZ)	Pegmatitgang	< 10
			Grünberg (BY)	Pegmatitgang	< 10
Spodumen	LiAlSi ₂ O ₆	3,7	Penig (SN)	Pegmatitgang	< 5
Lepidolith	K(Li,Al) ₃ [(F,OH) ₂ (Al,Si)Si ₃ O ₁₀]	>2	Chursdorf (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Limbach (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Krumbach (SN)	Pegmatitkörper	< 5
			Bräunsdorf (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Wolkenburg (SN)	Pegmatitgang	< 5
			Grünberg (BY)	Pegmatitgang	
Petalit	LiAlSi ₄ O ₁₀	2,3	Grünberg (BY)	Pegmatitgang	< 10
Triphylin	LiFe ²⁺ PO ₄	4,4	Vernerov (CZ)	Pegmatitgang	< 10
lithiumärmere Minerale					
Siderophyllit–Polyolithionit („Zinnwaldit“)	KLiFe ²⁺ Al(AlSi ₃)O ₁₀ (F,OH) ₂	0,1 – 1,8	Zinnwald (SN) / Cinovec (CZ)	Greisenlagerstätte	Gegenstand von AP 1.1.2
			Sadisdorf (SN)	Greisenlagerstätte	
			Altenberg (SN)	Greisenlagerstätte	
			Geyer (SN)	Greisenlagerstätte	
			Ehrenfriedersdorf (SN)	Trümerzüge Greisenstöcke	
			Buchholz (SN)	Trümerzüge	
			Horni Krupka (CZ)	Greisenlagerstätte	
			Horni Slavkov (CZ)	Greisenlagerstätte	
			Podlesi (CZ)	Albitgranit	
Lithiophorit	(Al,Li)Mn ⁴⁺ O ₂ (OH) ₂	1,2	Oberschlema (SN)	hydrothermal Gang	ca. 20
			Schneeberg (SN)	hydrothermal Gang	< 50
			Breitenbrunn (SN)	hydrothermal Gang	ca. 20

SN – Sachsen; BY – Bayern; CZ - Tschechien

In Abbildung 2 sind die wichtigsten regionalen Lithiumvorkommen aufgeführt.

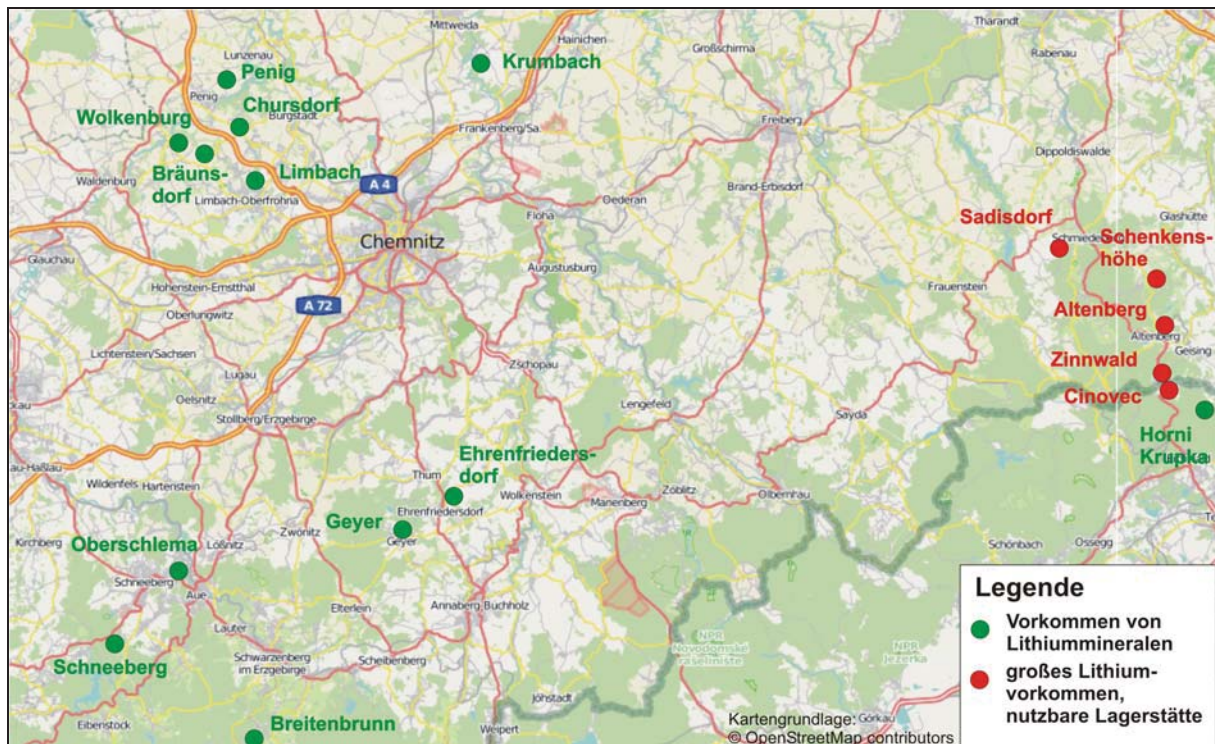


Abbildung 2: Überblick über Lithiumvorkommen und –Lagerstätten, Auswahl

Die mit Abstand größten Lithiummengen sind jedoch gesteinsbildend in den Protolithionit-Glimmern des Granitmassivs von Eibenstock gebunden. Der mittlere Li-Gehalt beträgt ca. 0,04 %. Eine Granitfläche von 1 km² enthält damit auf 20 m Teufe 22.000 t Li.

II.1.2 Rechercheergebnisse zu regionalen Lagerstätten

Alle aufgeführten regionalen Lithiummineralisationen sind zunächst als „Vorkommen“ anzusehen. Die größten können als „nutzbare Lagerstätten“ bezeichnet werden, deren Abbau sich in der Zukunft lohnen könnte. Für die Bezeichnung „abbauwürdige Lagerstätten“ muss neben den Erzvorräten auch deren Aufbereitbarkeit und damit die Wirtschaftlichkeit des gesamten Prozesses aus Bergbau und Aufbereitung nachgewiesen sein.

Gemäß Arbeitsplan wurden zur Erfassung und Bewertung regionaler Erzlagerstätten Recherchen in relevanten Beständen verschiedener Archive durchgeführt:

- Archiv der Firma G.E.O.S.
- Bergarchiv Freiberg einschließlich Archiv des ehemaligen Berg- und Hüttenkombinates Freiberg
- Archiv des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
- zugängliche Unterlagen der tschechischen Seite

Tabelle 3: Ausgewählte recherchierte Unterlagen

Verfasser	Titel	Jahr	Status
Lagerstätte Schenkenshöhe			
Grunewald, V.; Schust, F.	Ergebnisbericht Forschungsbohrung Falkenhain	1976	unveröff. Bericht ZGI Berlin
Tzschorn, G.; Kühne, R.; Hennig, D.	Ergebnisbericht über Sucharbeiten auf Zinnerze im Raum Hegelshöhe-Schenkenshöhe bei Falkenhain (Osterzgebirge)	1976	unveröff. Bericht GFE Halle
Hösel, G.; Schmidt, M.; Zernke, B.	Ergebnisbericht Zinn Falkenhain (Schenkenshöhe)	1990	unveröff. Bericht GLU Freiberg
May, P.	Einschätzung der Möglichkeiten zur Verwertung von Lithiumhaltigen Glimmern und Feldspatprodukten aus den Nebenbestandteilen der Zinnlagerstätte Hegelshöhe-Schenkenshöhe	1975	
Ossenkopf, P.; Schulze, H.; Seidel, B.; Seeliger, M.	Projekt über geologische Erkundungsarbeiten auf Zinnerz im Gebiet Hegelshöhe-Schenkenshöhe bei Falkenhain (Osterzgebirge)	1973	Akte Archiv LfULG Freiberg
Lagerstätte Zinnwald/Cinovec			
Schelnow, W.P. u.a.	Ergebnisbericht Sucharbeiten auf Uran in der Teplitzer vulkano-tektonischen Struktur im Osterzgebirge	1988	unveröff. Bericht SDAG Wismut (russ.)
Lächelt, A.	Bericht über die Ergebnisse der Erkundungsarbeiten 1954/55 und 1958/60 mit Bohrungen auf Lithium in Zinnwald/Erzgebirge	1960	unveröff. Bericht GFE Freiberg
Wetzel, H.-U.	Bruchtektonische Gefüge im Osterzgebirge. Programm zur Rohstoffführung Erzgebirge/Vogtland (ZGI) Themenkomplex 4: Analyse der metallogenetischen Funktion der strukturellen Elemente	1977	unveröff. Bericht ZIPE
Pälchen, W.	Zur Geochemie und Petrologie der post-orogenen variszischen Magmatite des sächsischen Osterzgebirges	1968	Diss. TU BAF
Grunewald, V.	Metallogenie und Prognose Zinnwald. Teil I Metallogenie	1978	unveröff. Bericht ZGI Berlin
Besser, M.; Kühne, R.	Zwischenbericht Zinn Altenberg, Teilgebiet Zinnwald. – VEB Geologische Forschung und Erkundung Freiberg	1989	unveröff. Bericht GFE Freiberg
Kühne, R.; Seidel, B. u.a.	Suche Zinn Altenberg, Zinnkluft 1984-1988 mit Vorratsberechnung	1988	unveröff. Bericht GFE Freiberg
Bolduan, H.	Bericht über die Ergebnisse der Erkundungsarbeiten 1954/1955 mit Bohrungen auf Lithium und Beryllium in der Zinn-Wolfram-Lagerstätte Zinnwald/Erzgebirge	1960	unveröff. Bericht GFE Freiberg
anonym	Akte Bestand 40028-1, Nr. 506 Bergbau und Metallurgische Gesellschaft mbH Frankfurt Glimmeraufbereitung	o.J.	Akte Bergarchiv Freiberg
anonym	Akte Bestand 40105-1, Nr. 1435 Sachsenerz AG Akte 1489	o.J.	Akte Bergarchiv Freiberg

Verfasser	Titel	Jahr	Status
anonym	Akte Bestand 40027-1, Nr. 282 Lithiumgewinnung	o.J.	Akte Bergarchiv Freiberg
Rösner, S.; Sennewald, R.	Studie Radonvorkommen und deren Nutzung als Heilmittel für die Stadt Altenberg	2007	G.E.O.S Ingenieurgesellschaft mbH Freiberg
Autorenkollektiv	Rudné doly n.p. Příbram závod Cínovec (1985): Závěrečná zpráva Cínovec-jih 1. Patro. Project 3180 0003. Závěrečná zpráva Cínovec-jih 2. Patro. Project 511 1080 408 (Abschlussbericht zur Greisenlagerstätte Cínovec-Süd; Lagerstätte und Technologien betreffend)	1985	Rudné doly n.p. Příbram závod Cínovec (CZ)
Lagerstätte Sadisdorf			
Kruse, B.	Bericht über die Ergebnisse der Oberflächenkartierung im Bereich der Zinnlagerstätte Sadisdorf	1980	unveröff. Bericht
Seltmann, R.	Erzformationelle und tektonische Analyse der Bildungen der QuarzKassiterit-Formation im Revier Schmiedeberg - Niederpoebel - Sadisdorf (Osterzgebirge)	1984	Diplomarbeit TU BAF
Seltmann, R.	Bruchtektonische Kontrolle u. Altersstellung des Magmatismus und der Mineralisation im Raum Sadisdorf.	1984	Bericht
Schönberg, G.	Lagerstättenkundliche - paragenetische Untersuchungen in der Lagerstätte von Sadisdorf	1986	Diplomarbeit TU BAF
Felix, M.; Seidel, B.; Märtens, S.; Schiemenz, F.; Eisenschmidt, H.; Hill, H.-P.; Kühne, R.	Zwischenbericht Zinn Schmiedeberg Suche 2/3, Stand 12/88	1986	unveröff. Bericht
Steiner, G.; Brieden, H.-J.; Haupt, M.; Schubert, H; Wilke, R.	Komplexbericht Zinnerkundung Schmiedeberg	1987	unveröff. Bericht
Felix, M.; Ackermann, R.; Symmank, R.; Wiemeier, G.; Märtens, S.	Abbruchbericht über die Such- und Suchbewertungsarbeiten im Lagerstättenrevier Schmiedeberg / Sadisdorf (Osterzgebirge)	1990	unveröff. Bericht
Meyer, G.	Auswertung tektonischer Daten aus geologischen Untersuchungsarbeiten im Lagerstättenbereich Sadisdorf	1990	Diplomarbeit TU BAF
Felix, M.	Ein Beitrag zur EDV-gestützten Modellierung von geologischen Such- und Erkundungsergebnissen am Beispiel des Lagerstättenrevieres Schmiedeberg (Sadisdorf)	1991	Diss. TU BAF
Tischendorf, G.; Peterson, M.	Vorratsberechnung StrukturSadisdorf	1976	unveröff. Bericht GFE Freiberg
Abkürzungen: ZGI – Zentrales Geologisches Institut der DDR GFE – VEB Geologische Forschung und Erkundung BAF – Bergakademie Freiberg			

Die Untersuchungsarbeiten auf Erzlagerstätten endeten mit der politischen Wende in der DDR. Viele Untersuchungsergebnisse wurden danach in sog. Abbruchberichten niedergelegt.

In den 1945-1990 durchgeführten Untersuchungen spiegelt sich die Rohstoffpolitik der DDR wider. Danach lag der Schwerpunkt auf den Metallen Kupfer und Nickel sowie Zinn, bei de-

nen eine möglichst weitgehende Selbstversorgung angestrebt wurde. Der bei weitem umfangreichste und bedeutendste Erzbergbau in der DDR galt dem Uran als damals strategischem Rohstoff. Dies widerspiegelt sich einerseits in der Explorationskonzeption, andererseits in den Resultaten und dem Inhalt der Explorationsberichte.

Das Zinn spielte dabei eine besondere Rolle, da es das einzige Metall war, bei dem aufgrund der relativ großen einheimischen Erzvorräte diese Selbstversorgung zumindest zeitweise erreicht wurde.

Unmittelbar nach Ende des 2. Weltkrieges und im Anschluss an die Arbeiten im Nationalsozialismus erfolgten bis 1990 umfangreiche Such-, Erkundungs- und Bergbauarbeiten auf Zinn mit Wolfram und Arsen als Begleitrohstoffe.

Eine eigentliche Erkundung auf Lithium erfolgte nur 1954 - 1960 in der Lagerstätte Zinnwald (deutscher Teil). Spätere Arbeiten 1975 - 1978 und 1986 - 1989 beschränkten sich auf Sn. Infolge der Ausrichtung auf Zinn als Hauptrohstoff erfolgte auch die Abgrenzung der Erzkörper nach den Zinngehalten.

Dies hat zwei Konsequenzen:

1. Die ausgewiesenen Vorräte sind Zinn (Wolfram)-Erzvorräte.
2. Lithiumerzkörper sind häufig deutlich größer als die Zinnerzkörper.

Hinsichtlich der potenziellen Lithiumgewinnung ergibt sich als äußerst wesentliches Ergebnis der Untersuchungen im Verbundprojekt die Erkenntnis, dass die Lithiumerzkörper häufig deutlich größer als die Zinnerzkörper sind (Beispiele: Zinnwald, Schenkenshöhe).

Verdeutlicht wird dies an der Lagerstätte Schenkenshöhe (Abbildung 3). Darin wurde der Lithiumgehalt nach der Teufe in Relation zur Granitoberfläche dargestellt.

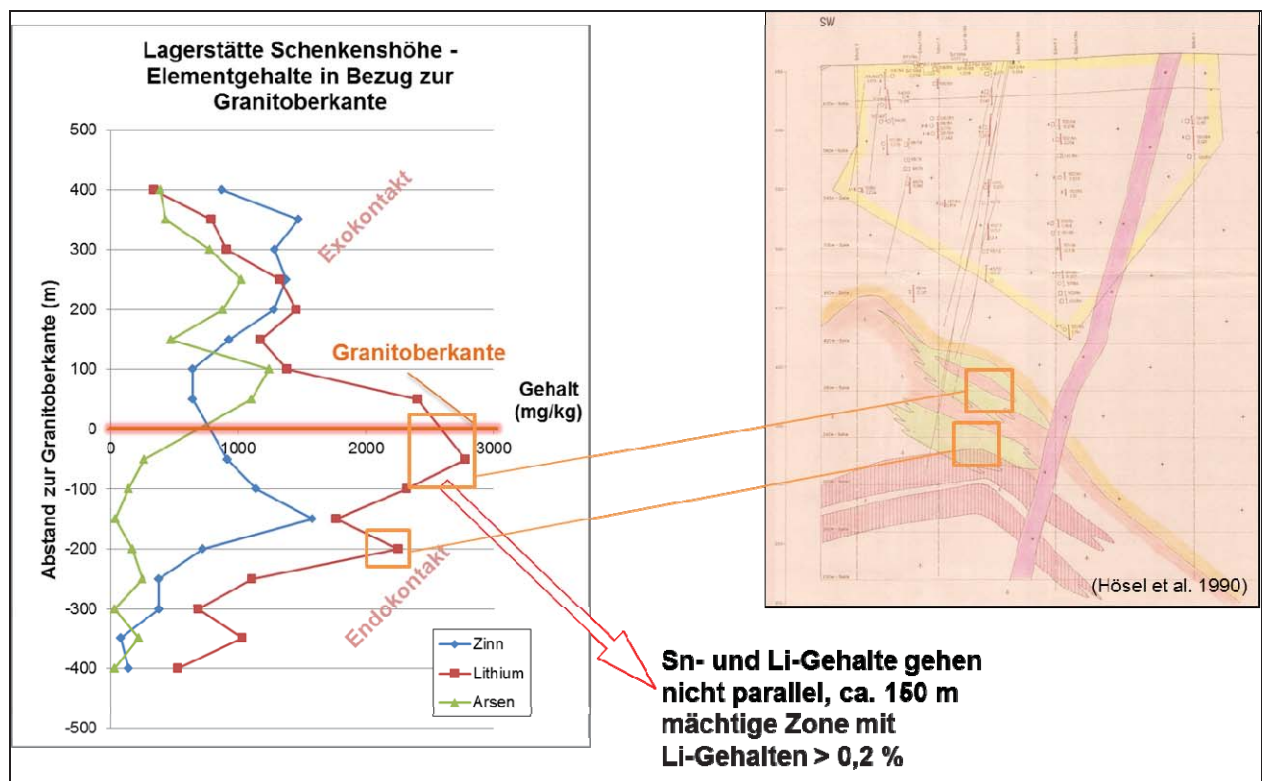


Abbildung 3: Lithiumgehalte in Abhängigkeit zur Granitoberfläche in der Lagerstätte Schenkenshöhe (Datengrundlage [26])

Es zeigt sich, dass Zinn und Lithium keine gleichlaufende Tendenz aufweisen. Während sich Zinn (blaue Linie) im Bereich 200 – 350 m über und 100 – 200 m unter der Granitoberfläche angereichert hat, findet sich die Haupt-Lithiummineralisation im Bereich 80 m über – 230 m unter der Granitoberfläche. Es existiert demnach eine ca. 150 m mächtige Zone mit Li-Gehalten > 0,2 %, die nicht mit der Kontur der Zinnvererzung übereinstimmt. Das Lithiumpotenzial ist in den Lagerstätten damit meist deutlich größer als eine Berechnung nach den in der Vergangenheit ausgewiesenen Größen der Zinnerz-Greisenkörper erkennen lässt.

Zur Prüfung einiger Rechercheergebnisse wurden ergänzende Glimmeranalysen aus Lagerstätten durchgeführt, für die keine Daten aufgefunden wurden. Dazu wurden aus 5 Greisen-vorkommen im Osterzgebirge Proben entnommen. Nach Zerkleinerung wurden die paramagnetischen Glimmeranteile separiert und einer Analyse auf Li, K, Rb und Cs unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Ergänzende Greisen-Glimmeranalysen

Lokalität	Material	Li	K	Rb	Cs
		Ma.-%	Ma.-%	Ma.-%	mg/kg
Sadisdorf	Quarz-Glimmer-Greisen	1,210	6,720	0,823	140
ehemalige Grube Kempen-Zeche bei Schellerhau	Quarz-Glimmer-Greisen	0,260	5,900	0,392	230
ehemalige Grube Paradies Fundgrube bei Altenberg	Quarz-Glimmer-Greisen	0,288	5,330	0,245	270
Schenkenshöhe	Glimmer-Greisen aus Exokontakt	0,108	4,030	0,209	200
Sachsenhöhe	Brekzie aus Metagneis-Greisen	0,188	0,364	0,294	76

Ein hoher Lithiumgehalt zeigt sich insbesondere im Glimmer aus der Lagerstätte Sadisdorf. Der Lithiumgehalt in dem Glimmer liegt in der gleichen Größenordnung wie in der Lagerstätte Zinnwald. Dies rechtfertigt die Eingliederung von Sadisdorf unter die nutzbaren Lithiumlagerstätten.

Die Lithiumgehalte der anderen Greisenproben sind deutlich geringer. Es wird auch der relativ geringe Lithiumgehalt der von der Tagesoberfläche bis zum Granit reichenden Exokontaktvererzung (oberhalb der Granitoberfläche) der Lagerstätte Schenkenshöhe deutlich. Die Lithiumvererzung findet sich erst in größerer Tiefe im Endokontakt unter der Granitoberfläche ab ca. 350 m unter der Oberfläche (Abbildung 11).

II.1.3 Bohrungsdaten

Einige der wesentlichsten Bestandteile der Explorationsergebnisse stellen die Bohrungsdaten dar. Diese liegen in Form von Lageplänen und Schichtenverzeichnissen vor. Zusammen mit Ergebnissen mineralogischer und chemischer Analysen bilden sie die Grundlage der Vorratsberechnungen. Tabelle 5 zeigt beispielhaft für die Lagerstätten Zinnwald und Schenkenshöhe die 1954 – 1988 bzw. 1967 - 1989 geteufte Bohrungen.

**Tabelle 5: Überblick über die Bohrungen im Bereich der Lagerstätten
 Zinnwald und Schenkenshöhe**

Zinnwald		Schenkenshöhe		
1	18/59	Sn FhiDi 4/67	Sn FhiDi 39/67	Sn FhiDi 101/86
4	19/59	Sn FhiDi 5/67	Sn FhiDi 40/67	Sn FhiDi 102/86
1/54	20/59	Sn FhiDi 7/67	Sn FhiDi 45/73	Sn FhiDi 103/86
2/58	21/59	Sn FhiDi 8/67	Sn FhiDi 46/74	Sn FhiDi 104/86
3/54	22/59	Sn FhiDi 9/67	Sn FhiDi 47/74	Sn FhiDi 105/86
4/54	23/59	Sn FhiDi 10/67	Sn FhiDi 48/74	Sn FhiDi 106/86
5/54	24/59	Sn FhiDi 11/67	Sn FhiDi 49/73	Sn FhiDi 107/86
6/55	25/59	Sn FhiDi 18/67	Sn FhiDi 49A/74	Sn FhiDi 108/86
7/55	26/59	Sn FhiDi 19/67	Sn FhiDi 81/75	Sn FhiDi 109/86
8/55	27/59	Sn FhiDi 20/67	Sn FhiDi 82/75	Sn FhiDi 110/86
9/55		Sn FhiDi 25/67	Sn FhiDi 83/75	Sn FhiDi 111/86
10/55	19/77	Sn FhiDi 26/67	Sn FhiDi 84/74	Sn FhiDi 111/86h
11/58	20/77	Sn FhiDi 27/67	Sn FhiDi 85/75	Sn FhiDi 111/86h2
12/59	21/88	Sn FhiDi 28/67	Sn FhiDi 86/75	Sn FhiDi 112/86
13/58	22/88	Sn FhiDi 29/67	Sn FhiDi 87/75	Sn FhiDi 113/89
14/58	23/88	Sn FhiDi 30/67	Sn FhiDi 88/75	Sn FhiDi 114/89
15/59	24/88	Sn FhiDi 31/67	Sn FhiDi 88E/75	Sn FhiDi 115/89
16/59	25/88	Sn FhiDi 32/67	Sn FhiDi 89/75	Sn FhiDi 116/89
17/58	26/88	Sn FhiDi 33/67	Sn FhiDi 92/75	Sn FhiDi 117/89
18/59	27/88	Sn FhiDi 34/67	Sn FhiDi 95/86	Sn FhiDi 118/88
19/59	28/88	Sn FhiDi 35/67	Sn FhiDi 96/86	Sn FhiDi 124/89
		Sn FhiDi 35A/67	Sn FhiDi 97/86	Sn FhiDi 125/89
		Sn FhiDi 36/67	Sn FhiDi 98/86	Sn FhiDi 126/89
		Sn FhiDi 37/67	Sn FhiDi 99/86	Sn FhiDi 127/88
		Sn FhiDi 38/67	Sn FhiDi 100/86	Sn FhiDi 128/89

Im Bereich der Lagerstätte Schenkenshöhe erfolgten die Bohrungen in drei Etappen, die jeweils eine Erhöhung im Erkundungsgrad erbrachten.

II.1.4 Vorräte der regionalen Lagerstätten

Mit den angestellten Recherchen wurde ein umfassender Überblick über das Potenzial an festen primären Lithiumrohstoffen in Ostdeutschland mit Schwerpunkt Osterzgebirge gewonnen.

Die Rechercheergebnisse zeigen eine Vielzahl von Lithiummineralisationen im mittleren und besonders im östlichen Teil des Erzgebirges, die immer an Granitintrusionen gebunden sind. Die Recherchen bestätigten, dass als Lithiumträger nur die Glimmerminerale der Mischkristallreihe Polyolithionit – Siderophyllit („Zinnwaldit“) relevant sind. Lithiumreichere Minerale, wie

Amblygonit, aber auch der lithiumreichere Glimmer Lepidolith treten nur als Mineralvorkommen, nicht aber als lagerstättenbildende Minerale auf.

Größere, für eine Gewinnung potenziell relevante Vererzungen konzentrieren sich auf die Greisenlagerstätten des Osterzgebirges, welche z. T. bereits in der Vergangenheit auf Zinn und/oder Wolfram abgebaut wurden.

Wegen der auf Zinn und Wolfram ausgerichteten Explorationsarbeiten vor 1990 ist für viele Lagerstätten im Rahmen dieses Projektes mit den vorhandenen Daten nur eine Abschätzung des Lithiumvorrates machbar. Diese erfolgte aus den Daten zu

- Erzmenge (aus Zinnerkundung gut bekannt)
- Glimmergehalt (meist nur Mittelwerte aus Aufbereitungsuntersuchungen)
- Lithiumgehalt im Glimmer (meist nur einzelne Analysen)

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die wichtigsten Lithiumvererzungen im Erzgebirge.

Tabelle 6: Überblick über die wichtigsten regionalen Lithiumlagerstätten

Lagerstätte	Hauptrohstoff	NebenkompONENTEN	Bergbaustatus	bergrechtlicher Status
Zinnwald-Cinovec, deutscher Teil	Li	Sn, W	teilweise abgebaut, Li-Vorratsberechnung vorhanden	laufende Aufsuchung
Zinnwald-Cinovec, tschechischer Teil	Li	Sn, W	teilweise abgebaut, Li-Vorratsberechnung vorhanden	Aufsuchungsanträge mehrerer Firmen
Schenkenshöhe	Li	Sn, W, Bi	unverritz, Li-Vorratsberechnung vorhanden	Aufsuchungsanträge mehrerer Firmen
Sadisdorf	Sn	Li, Mo, W, Cu, Bi	teilweise abgebaut, Li-Vorrat geschätzt	Aufsuchungsanträge mehrerer Firmen
Altenberg	Sn	Li, W, Mo, Bi	teilweise abgebaut, Li-Vorratsschätzung vorhanden	Aufsuchungsanträge mehrerer Firmen

In Tabelle 6 sind die Lithiumvorräte, Erzvorräte sowie der spezifische Wert des Erzes und der wertmäßige Anteil des Lithiums dargestellt. Außerdem wird ein Hinweis zur Aufbereitbarkeit gegeben.

Tabelle 7: Ökonomische Hauptdaten der regionalen Lithiumlagerstätten

Lagerstätte	Li-Vorrat	Erzvorrat	Wert*	Wert-Anteil	Aufbereitbarkeit
	t	Mill. t	€/t	Li	
Zinnwald-Cinovec, deutscher Teil	59.800	19,9	ca. 80	87	gut aufbereitbar
Zinnwald-Cinovec, tschechischer Teil	112.000	ca. 56	ca. 80	87	gut aufbereitbar
Schenkenshöhe	30.800	8,8	ca. 110	60	gut aufbereitbar
Sadisdorf	29.280	12,2	ca. 80	60	gut aufbereitbar
Altenberg	43.000	28,1	ca. 70	52	schlecht aufbereitbar

* berechnet aus dem Lithiumvorrat, (umgerechnet auf Li₂CO₃) und dem Li₂CO₃-Preis

Der spezifische Erzwert der Lagerstätten (Tabelle 7) ist allgemein relativ niedrig. Bei einer Förderleistung von 300.000 t/a ist für Zinnwald mit einem Erzwert von ca. 24 Mill €/a und für Schenkenshöhe von ca. 30 Mill. €/a zu rechnen. Als Schlussfolgerung ergibt sich daraus, dass eine möglichst vollständige Gewinnung der Vorräte unter möglichst weitgehender Nutzung der Nebenkomponten unabdingbar ist.

Für die Lithiumlagerstätten in Deutschland ergibt sich damit ein mittel- bis langfristig nutzbares Lithiumpotenzial von ca. 166.000 t. Das entspricht etwa 5 Weltjahresproduktionen und zeigt, dass die Lagerstätten auch im Weltmaßstab von Bedeutung sind.

Eine detailliertere Betrachtung zum Verhältnis der Erzarten und Wertkomponenten wird an den Beispielen Zinnwald (deutscher Teil) und Schenkenshöhe vorgenommen.

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Erzarten und Wertkomponenten der Lagerstätte **Zinnwald** (deutscher Teil) Aufgrund des besonderen Stellenwertes des Zinns wurden in der Erkundungsphase vor 1990 neben den Li-Erzen die Sn-W-reichen Partien gesondert ausgehalten. Hinsichtlich Lithiums sind beide Erzarten jedoch äquivalent. Die Berechnung der Metallwerte erfolgte nach den Preis- und Währungsverhältnissen Anfang 2012.

Tabelle 8: Vorräte der Lagerstätte Zinnwald (deutscher Teil) ([10], [34])

	Sn-W-Erz	Li(-Rb-Cs)-Erz
Erzvorrat (kt)	3.800	16.100
Glimmergehalt (%)	15	18
Metallgehalte		
Li (%)	0,3	0,3
Rb (%)	0,28	0,28
Cs (%)	0,006	0,006
Sn (%)	0,2	-
W (%)	0,035	-
Metallvorräte		
Li (kt)	11,5	48,3
Rb (kt)	10,5	45,1
Cs (kt)	0,23	1
Sn (kt)	7,6	-
W (kt)	1,3	-
Metallwert		
Li (Mio. €)	220	934
Sn (Mio. €)	122	-
W (Mio. €)	53	-

Der Wertinhalt der Lagerstätte Zinnwald (deutscher Teil) liegt demnach, bei allen Unsicherheiten, für Lithium insgesamt bei ca. 1.150 Mio. €. dies sind ca. 87 % des Gesamt-Metallwertes der Lagerstätte. Rb und Cs wurden in die Betrachtungen nicht einbezogen, da es für diese derzeit nur einen begrenzten Bedarf und eigentlich keinen „Weltmarkt“ gibt. Bei der Lagerstätte Zinnwald handelt es sich demnach um eine Lithiumlagerstätte mit Zinn und Wolfram als Nebenkompente.

Die Lagerstätte Schenkenshöhe wurde 1968-1990 in mehreren Etappen erkundet. Tabelle 9 gibt einen entsprechenden Überblick. In dieser Lagerstätte liegen Erze mit sehr unterschiedlicher Zusammensetzung sowie bergbau- und aufbereitungstechnischer Charakteristik vor. Daher wurden im Zuge der Explorationsarbeiten bis 1976 zunächst vier Vorratsblöcke abgegrenzt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Vorratsberechnung der Lagerstätte Schenkenshöhe, Stand 1976 ([33])

Vorratsblock	Erz	Li		Sn		WO ₃		
		Vorrat (kt)	mittl. Gehalt (%)	Vorrat (t)	mittl. Gehalt (%)	Vorrat (t)	mittl. Gehalt (%)	Vorrat (t)
1*		26.000	–	–	0,1	26.000	–	–
2	Sn-Erz	6.810	0,21	30.800	0,17	11.600	0,05	3.400
	W-Erz	2.020			–	–	0,12	2.420
3-1	Sn-Erz	1.680	–	–	0,12	2.020	0,07	1.180
	W-Erz	724	–	–	–	–	0,1	724
3-2*		3.510	–	–	0,09	3.160	–	–
Summe (ohne 1 und 3-2)		8.490	–	30.800	–	13.620	–	7.724

* – in letzter Explorationsphase aus Vorratsberechnung herausgenommen

In den folgenden Bearbeitungsphasen wurden aufgrund besseren Lagerstättenverständnisses die Vorratsblöcke 1 und 3-2 aus der Berechnung herausgenommen. Dadurch reduzierten sich die Sn-Vorräte beträchtlich. Der Lithiumerz-Vorratsblock 2 blieb davon jedoch unberührt.

Der Lithiumvorrat beruht auf einer detaillierten Vorratsberechnung nach der Methodik der ehemaligen DDR. Es wird deutlich, dass Lithium nur in dem Erzkörper 2 ausgewiesen wurde. In den anderen Vorratsblöcken wurden teilweise vergleichbare Lithiumgehalte, allerdings mit sehr geringer Korngröße und damit sehr schlechter Aufbereitbarkeit, festgestellt.

Die Berechnungsergebnisse zum Wertinhalt der Lagerstätte Schenkenshöhe sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Schätzung der Wertinhalte der Lagerstätte Schenkenshöhe

Vorratsblock	Li (Mio. €)	Sn (Mio. €)	WO ₃ (Mio. €)
1*	-	416	-
2	600	186	192
3-1	-	32	63
3-2*	-	51	-
Summe	600	685	255

* – in letzter Explorationsphase aus Vorratsberechnung herausgenommen

Die Daten verdeutlichen, dass der Vorratsblock 2 den wertvollsten Erzkörper der Lagerstätte darstellt, insbesondere nach Ausscheiden von Block 1. Es handelt sich dabei um Lithiumerz mit Zinn und Wolfram als bedeutenden Nebenkomponten.

Im Erzgebirge existiert eine Reihe weiterer Lithiumglimmervorkommen, deren Bedeutung jedoch auf der Basis der vorhandenen Explorationsergebnisse nur ungenügend eingeschätzt werden kann.

Die großen Zinnerz-Gang- und -Trümerlagerstätten Ehrenfriedersdorf (Nordwestfeld), Röhrenbohrer, Neundorf und Buchholz weisen in den Gang- und Trumfüllungen verschiedene lithiumhaltige Glimmer (Protolithionit und Zinnwaldit) auf. Die Rechercheergebnisse und darauf aufbauende Betrachtungen zeigten jedoch, dass die Li-Glimmer nur in den mm bis cm mächtigen Trümmern auftreten. Diese sind wegen der geringen Mächtigkeit und der für die bergmännische Gewinnung notwendigen Mindest-Abbaubreiten jedoch nicht separat gewinnbar. Es tritt durch zwangsweise mitgewonnenes Nebengestein eine so große Verdünnung ein, dass eine wirtschaftliche Abtrennung des Lithiums nicht möglich ist.

Größte regionale Erzlagerstätte bleibt nach den Rechercheergebnissen Zinnwald-Cinovec (deutscher und tschechischer Teil). Im deutschen Teil des Erzgebirges existieren nach derzeitigem Kenntnisstand vier Lithiumvererzungen mit ähnlichen Vorräten von je 30 - 60.000 t Li (Zinnwald-Cinovec, Altenberg, Sadisdorf, Schenkenshöhe). Hinsichtlich der Aufbereitbarkeit der Lithiumerze sind Zinnwald-Cinovec und Schenkenshöhe als relativ leicht, Altenberg als schwer aufbereitbar einzuschätzen. Für Sadisdorf ist eine leichte Aufbereitbarkeit wahrscheinlich.

II.1.5 Integration der recherchierten Daten in das Datenbank- und GIS-System

Das Datenbank- und GIS-System für das Verbundprojekt „Hybride Lithiumgewinnung“ wurde durch die Firma WISUTEC GmbH erstellt. Eine genaue Beschreibung erfolgt durch die verantwortlichen Projektpartner innerhalb des AP 1.1.1.

In dieser Datenbank sollen die recherchierten und erhaltenen Daten aller Arbeitspakete über weltweit auftretende Lithiumvorkommen/ -vorräte jeglicher Art, mit Fokus auf Europa, gepflegt werden. Im Zusammenhang mit dem vorliegenden Bericht wurden Daten zu Lagerstätten, wie geographische, administrative, geologische, hydrogeologische und Vorratsdaten sowie detailliertere Angaben zu erfassten Proben in die Datenbank integriert.

Das DB/GIS-System ist generell in eine Lagerstätten („Lithium“)- sowie eine Probenahmedatenbank (siehe Abbildung 4) unterteilt.

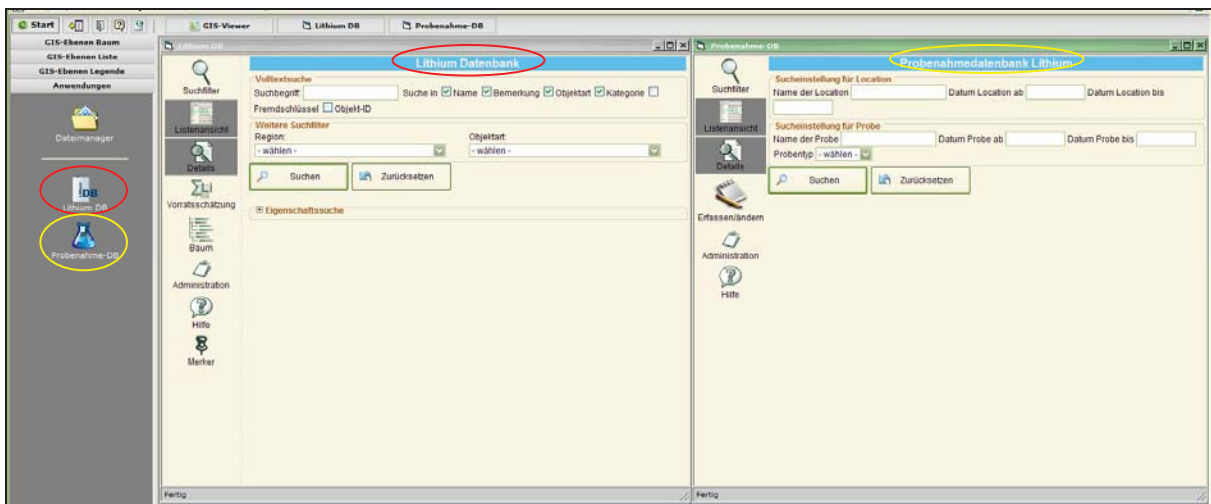


Abbildung 4: Lagerstätten- und Probenahmedatenbank

Zudem erlaubt das System über den GIS-Viewer einfache Kartendarstellungen, wie Abbildung 5 zeigt.

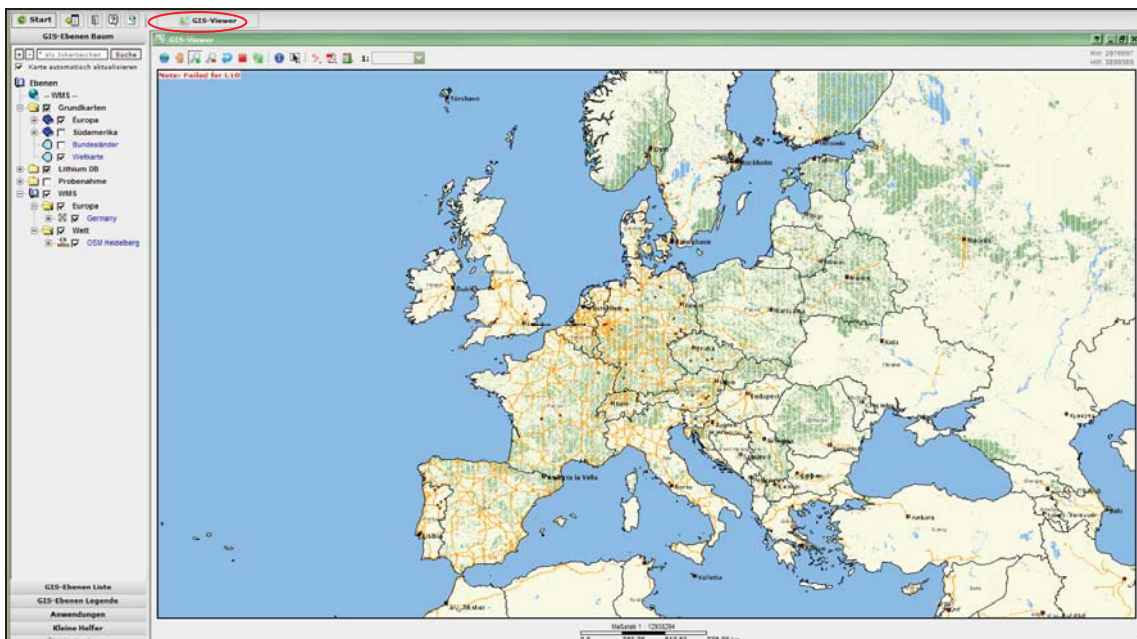


Abbildung 5: Kartendarstellung des GIS-Viewers für Europa

Es besteht die Möglichkeit, selbständig Koordinaten einer Lagerstätte bzw. eines Vorkommens einzutragen oder mit Hilfe des „Zauberstab“-Tools den Punkt in der Karte zu suchen und festzulegen. In jedem Fall kann der Eintragung ein einzelner Punkt oder eine bestimmte Geometrie zugewiesen werden.

Darüber hinaus sind beide Datenbanken mit einem Suchfilter versehen, der eine schnelle und unkomplizierte Abfrage einer gewünschten Lagerstätte bzw. Probe ermöglicht (Abbildung 4).

Lagerstättendatenbank

In diesem Teil der Datenbank kann, nach Einspeisung von Daten, der Standort einer Lagerstätte mit den zugehörigen Koordinaten auf einer Weltkarte abgerufen werden. Des Weiteren ist die Eingabe bzw. das Abrufen von Informationen über die Geologie sowie die Erschließung und Infrastruktur der Lagerstätte als auch über politische und rechtliche Rahmenbedingungen im jeweiligen Land möglich (Abbildung 6). Um einen neu erstellten oder bereits existierenden Datensatz regional einordnen zu können, befindet sich am linken Rand des Datenfensters eine Baumansicht mit der Einteilung nach Kontinent-Land-Staat, aus der man die zutreffende/gesuchte Region auswählen kann (Abbildung 6).

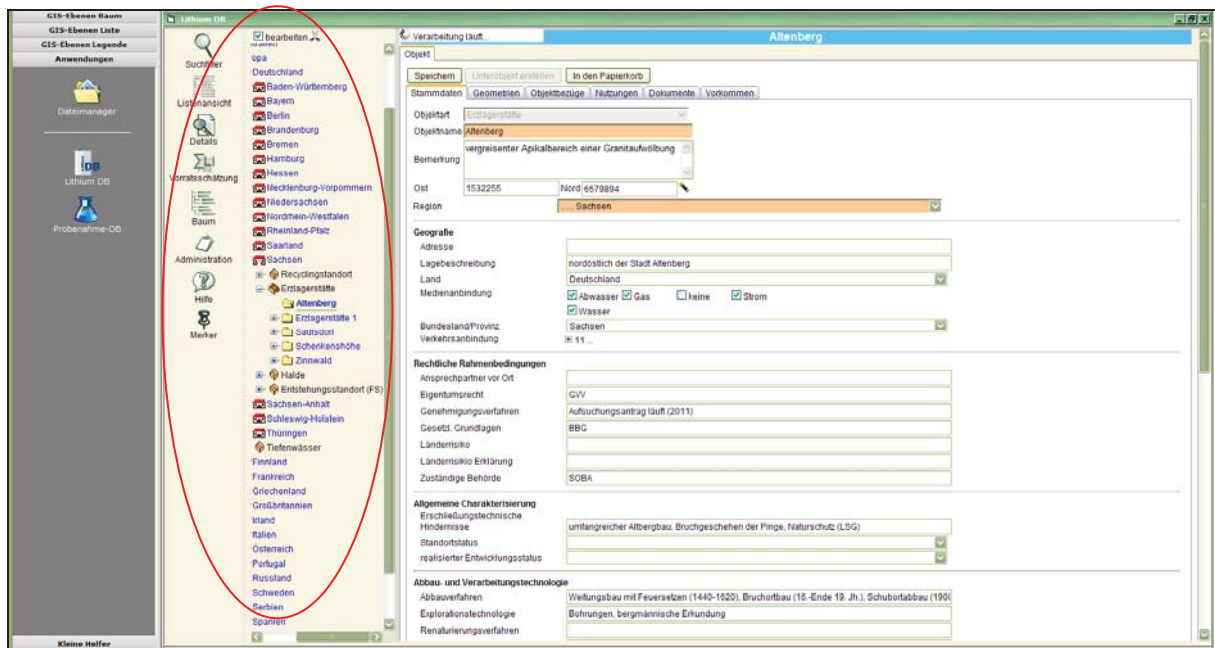


Abbildung 6: Eingabemöglichkeiten beim Erfassen einer Lagerstätte mit Baumansicht (rote Markierung), Beispiel regionale Lagerstätte Altenberg

Die Ergebnisse einer Suchanfrage werden zunächst nach Namen geordnet aufgelistet (Abbildung 7) und können nach verschiedenen Kriterien sortiert werden (Name, Objektart, Region, usw.).

Name	Objektart	Region	Ost	Nord
Accurec GmbH	Sortieranlage (FS)	Nordrhein-Westfalen	6,94232	51,44278
Accurec GmbH - Gerätebatterien	Vorkommen Produkt	Nordrhein-Westfalen	6,94232	51,44278
Activo Luna Oil Field	Erdöl/-gasbegleitwässer	Mexiko	-92,83333	18,33333
Altbatterie Freiberg	Recyclingstandort	Sachsen	4594188	5644023
Altbatterie Freiberg - Sammelpunkt Pennymarkt	Sammelpunkt (FS)	Sachsen	4594144	5644062
Altenberg	Erzlagerstätte	Sachsen	1532255	6579894
Altmark	Erdöl/-gasbegleitwässer	Sachsen-Anhalt	11,161022	52,851096
Alto Ligonha district	Erzlagerstätte	Mosambik	38,45096	-15,800202
Athona Property	Erzlagerstätte	Canada	-77,988056	48,425
Authier Mine	Erzlagerstätte	Canada	-78,203127	48,362239
Barroso-Aalvao	Erzlagerstätte	Portugal	-7,466667	41,733333
Beauvoir	Erzlagerstätte	Frankreich	2,953694	46,179013
Beaverhill Lake	Tiefenwässer	Canada		
Bernic Lake	Erzlagerstätte	Canada	-95,449442	50,435384
Bikita	Erzlagerstätte	Simbabwe	31,437304	-19,953818
Blackstairs	Erzlagerstätte	Irland	-6,892439	52,851719
Brawley	Geothermalwässer	USA		
Bruchsal	Geothermalwässer	Oberheingraben	32470619	5441493
Cachoeira	Erzlagerstätte	Brasilien	-41,916351	-16,778163
Cer Mt	Erzlagerstätte	Serbien	19,431449	44,61892
Cesano	Geothermalwässer	Italien	12,338619	42,079114

Abbildung 7: Ausgegebene Trefferliste nach Suchanfrage, u.a. Lagerstätte Altenberg

Probenahmedatenbank

Die Probenahmedatenbank dient der Erfassung von Daten fester und flüssiger Proben, wobei Schichtdaten (Schichtenverzeichnisse) der in den Lagerstätten niedergebrachten Bohrungen sowie chemische Daten von untersuchten Proben eingepflegt und letztendlich abgerufen werden können (Abbildung 8). Von hier aus ist wiederum eine Verlinkung zur Lithiumdatenbank, d.h. zur entsprechenden Lagerstätte möglich. Erfasste Proben können über eine Detailansicht genauer betrachtet werden (Abbildung 9).

The screenshot shows the 'Probenahme-DB' data entry form. Key fields include:

- Location:** Schenkenshöhe (B. 45. 973)
- Date:** 5411276.5
- Depth:** 5 m
- Remarks:** Sn = Proben wo nur Zinn bestimmt wurde MP = Mischproben - =<
- Probenname:** Sn02
- Probenart:** Test
- Chemical Analysis Table:**

Element	Unit
SiO2	%
Al2O3	%
Fe2O3(T)	%
MnO	%
MgO	%
CaO	%
Na2O	%
K2O	%
TiO2	%
P2O5	%
LOI	%
Total	%
Hg	ppb
Sc	ppm
Li	ppm
Be	ppm

Abbildung 8: Eingabeplattform Proben, Beispiel regionale Lagerstätte Schenkenshöhe

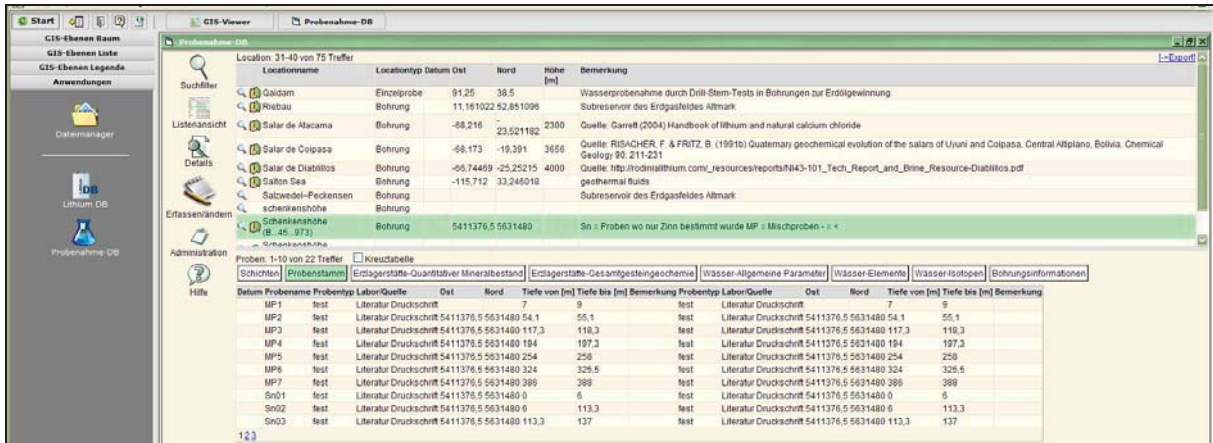


Abbildung 9: Detailansicht von Proben

In fast jedem Bereich der Datenbanken besteht die Möglichkeit, Dokumente anzuhängen sowie Daten zu exportieren (XML-Format → mit Excel lesbar; Abbildung 10).

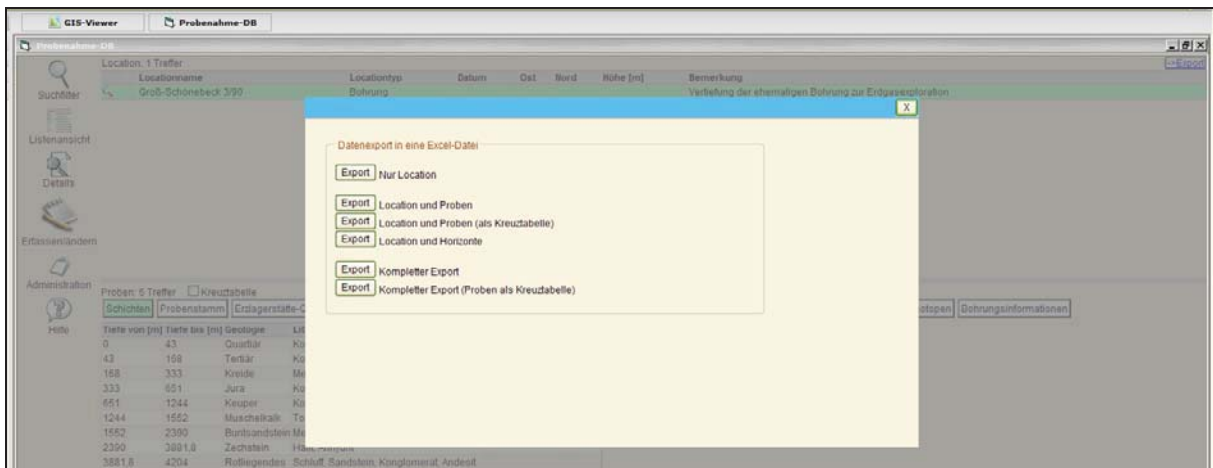


Abbildung 10: Export von Daten

Aus den Excel-Tabellen können die Daten in die konkrete GIS-, Datenbank- und Modellierungssoftware übernommen werden.

II.1.6 Geologisches Modell

Aus den Erkundungsberichten der Vergangenheit wurden die notwendigen Angaben zur Erstellung eines 3D-Lagerstättenmodells recherchiert. Für die Lagerstätte Schenkenshöhe wird dies als Beispiel anhand von Plots dargestellt.

Abbildung 11 zeigt einen Schnitt durch die Lagerstätte (aus [35]).

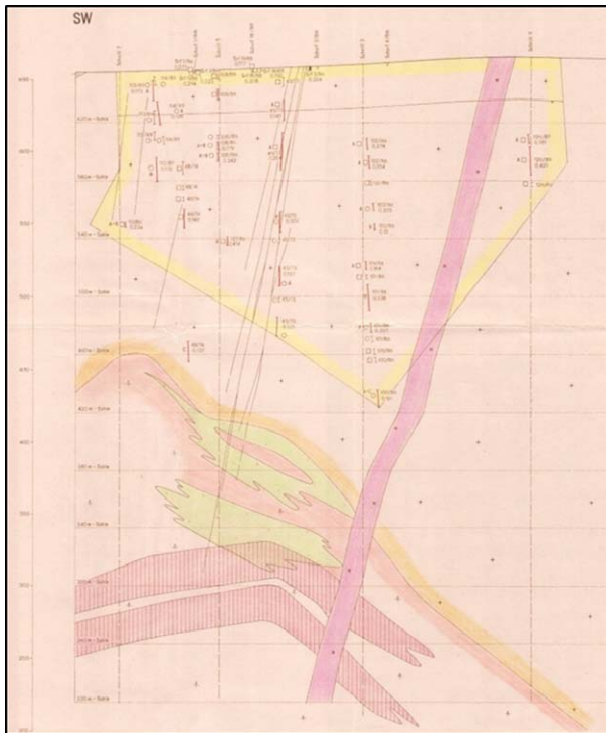


Abbildung 11: Geologischer Schnitt durch die Lagerstätte Schenkenshöhe (aus [35])

Anhand der Schnitte wurde mithilfe der geologischen Modellierungs- und Planungssoftware Surpac ein 3D-Modell der Lagerstätte Schenkenshöhe erstellt. Die Richtigkeit des Modells wurde anhand der Bohrungsdaten geprüft. Zusammen mit den recherchierten Bohrungsdaten wurde ein Modell erstellt. Dieses ist in Abbildung 12 dargestellt.

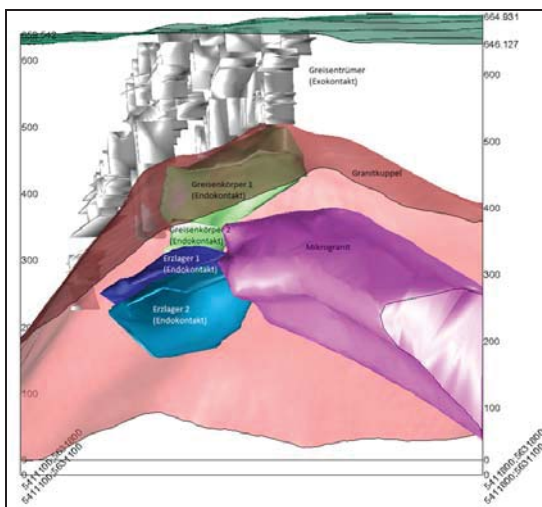


Abbildung 12: 3D-Modell Lagerstätte Schenkenshöhe mit Exo- und Endokontaktvererzung

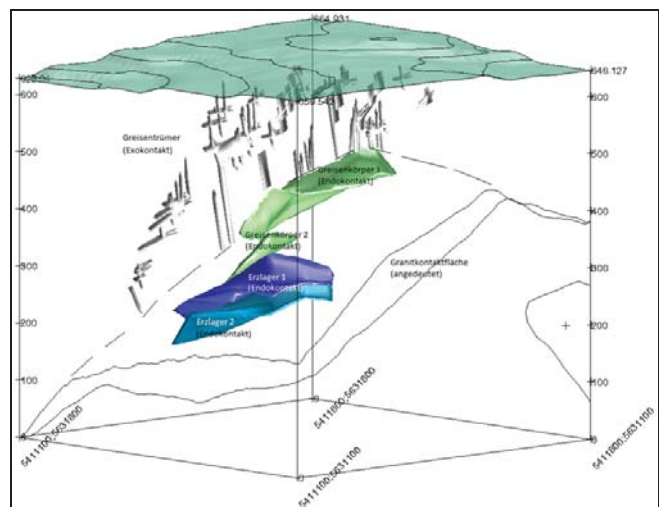


Abbildung 13: Erzkörper im Endokontakt der Lagerstätte Schenkenshöhe, Südwest-Ansicht

Das Modell zeigt deutlich den Aufbau der Lagerstätte als Apikalbereich einer Granit-Aufwölbung. Im Apikalbereich sind zwei Greisenkörper und zwei sog „Erzlager“, die ebenfalls Greisenkörper im Granit darstellen, zu erkennen. Diese bilden die eigentlichen Li(Sn,W)-Erzkörper.

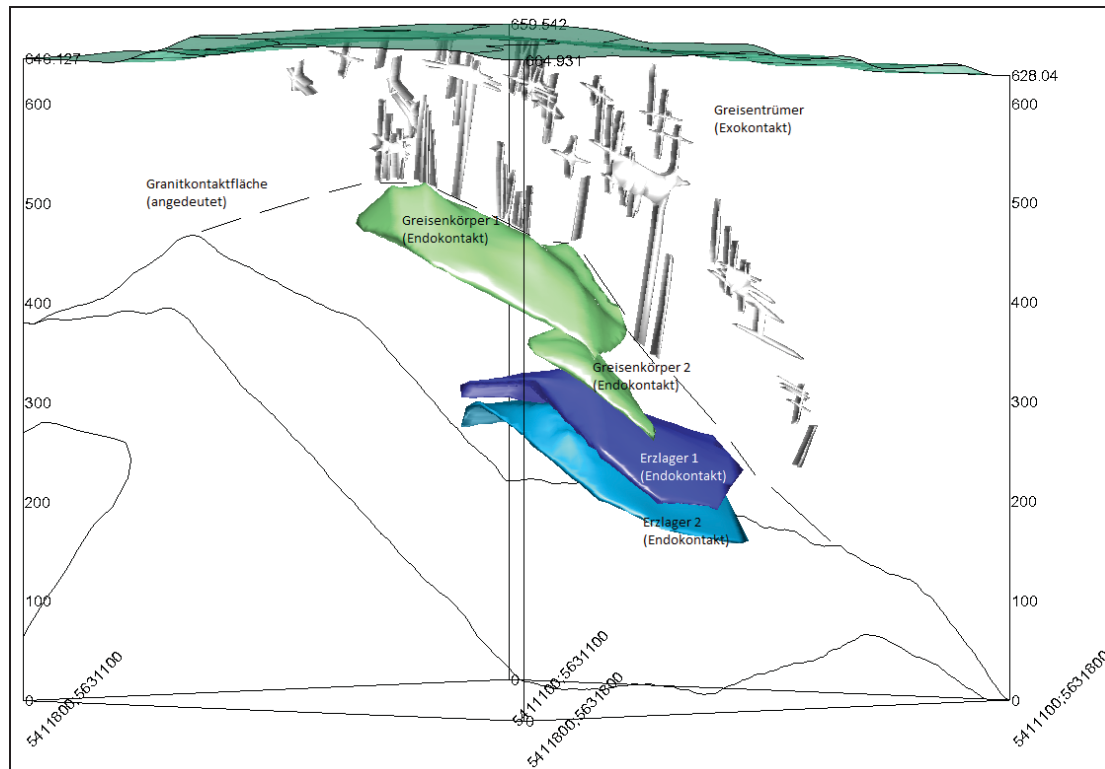


Abbildung 14: Erzkörper im Endokontakt der Lagerstätte Schenkenshöhe, Nordost-Ansicht

Oberhalb des Granits sind im Nebengestein (Gneis) die schnittmusterartigen Trümmerverzungen angedeutet. Diese bilden den „Erzkörper 1“ der früheren Explorationsphase. Wegen großer Unsicherheiten der Explorationsergebnisse war dieser in der letzten Phase aus der Vorratsberechnung herausgenommen worden.

In Abbildung 13 und Abbildung 14 wurden die Erzkörper vom umgebenden Gestein freigestellt. Sie stellen mittelsteil einfallende Vergreisungszonen dar.

II.1.7 Rechercheergebnisse zu Halden (AP 1.1.2.5)

Haldenmaterial hat gegenüber primären Erzen den großen Vorteil, dass es bereits gewonnen, zerkleinert und zur Tagesoberfläche gefördert worden ist. Nachteilig kann jedoch sein, dass es bereits einen Aufbereitungsprozess passiert hat. Dadurch sind die Oberflächen-

eigenschaften stark verändert. Außerdem ergeben sich geotechnische Probleme durch die geringe Standsicherheit des Haldenkörpers.

Bergbauhalden mit lithiumhaltigem Gestein sind naturgemäß nur dort vorhanden, wo lithiumhaltige Erze in größerem Maße auftreten und abgebaut wurden. Dies trifft im betrachteten Gebiet nur auf die Bereiche Zinnwald-Cinovec und Altenberg zu.

In Zinnwald (deutscher Teil der Lagerstätte) sind die Halden bereits in der Vergangenheit weitgehend auf Wolframerze bzw. Lithiumglimmer verarbeitet worden. Die Recherche ergab Restmengen von 190.000 t Erz mit ca. 300 t Lithium [17].

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die recherchierten Halden.

Tabelle 11: Übersicht über lithiumhaltige Bergbauhalden ([17], [31])

Halde	Lage	Materialmenge kt	Li-Gehalt %	Li-Inhalt t
Bielatal	Altenberg (SN)	16.000	0,12	19.200
Tiefenbachtal	Altenberg (SN)	ca. 3.000	0,12	3.600
Spülhalde	Cinovec (CZ)	1.025	0,23	2.360

Folgende Aussagen lassen sich ableiten:

Die Spülhalde Bielatal stellt ein beträchtliches Lithiumpotenzial dar. Geotechnische Probleme mit dem sehr feinkörnigen Material, der relativ geringe Lithiumgehalt sowie aufbereitungstechnische Probleme erschweren die Nutzung.

Ähnliche Verhältnisse treten bei der Halde Tiefenbachtal auf. Allerdings enthält diese Halde zusätzlich ca. 0,22 % Zinn [17]. Dies könnte wegen des dadurch höheren Wertstoffinhalts die Nutzung erleichtern.

Die Spülhalde der ehemaligen Grube Cinovec ist relativ klein. Das Material weist jedoch ähnliche Li-Gehalte und Korngrößenverteilung auf wie das Fördererz eines möglichen Festerzabbaus in Zinnwald/Cinovec [31]. Daher kann das Material im Falle eines Lithiumbergbaus in der Lagerstätte mit durch die Aufbereitung gesetzt werden. Der Lithiumwert dieses Haldenmaterials liegt bei ca. 43 Mil. €.

II.2 Entwicklung von Abbauszenarien regionaler Erzlagerstätten (AP 1.4.1)

Das Arbeitspaket 1.4.1 soll in erster Linie einen fachlichen Vorlauf für die künftige Exploration der Lithium-Greisenlagerstätten und einen zu planenden Bergbau schaffen. Die Vorarbeiten sollen die Sicherheit künftiger Arbeiten erhöhen.

Nach den Untersuchungsergebnissen liegt der Schwerpunkt einer künftigen Lithiumgewinnung aus einheimischen Primärrohstoffen auf den Erzlagerstätten (siehe Abschnitt II.6).

Zur Einschätzung der Machbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit der entscheidende Faktor. Daneben spielen Umweltaspekte einschließlich der Handhabung von Reststoffen (Berge, Rückstände) für die Genehmigungsfähigkeit eine große Rolle.

II.2.1 Abbaufverfahren

Aus den Recherchen und der Modellierung ergibt sich folgende Charakteristik der Lithium-Erzkörper in den regionalen Lagerstätten (Zinnwald-Cinovec, Schenkenshöhe, Altenberg, Sadisdorf):

- stockförmige Körper mit kleinerer Grundfläche und großer Mächtigkeit (Länge / Breite < Mächtigkeit)
- linsenförmige Körper mit großer Fläche, aber geringerer Mächtigkeit (Länge / Breite > Mächtigkeit)
- Teufenlage: 0 – 400 m unter Gelände

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die für den Abbau solcher Lagerstätten anwendbaren Verfahren.

Tabelle 12: Übersicht über die für den Abbau sächsischer Lithiumlagerstätten in Frage kommenden Bergbauverfahren

	Anwendbarkeit	Vorteile	Nachteile	Bewertung
Über Tage				
Tagebau	oberflächennahe Erzkörper bis ca. 400 m unter GOK	sehr kostengünstig	Schädigung der Tagesoberfläche	(wahrscheinlich) nicht genehmigungsfähig
Untertagebau ohne Versatz				
Teilsohlenbruchbau	steil stehende Erzkörper, große Mächtigkeit, große Teufe	kostengünstig	Schädigung der Tagesoberfläche wahrscheinlich, Erzverdünnung	für tiefere Lagerstättenbereiche (> 200 m)
Kammerpfeilerbau	flach gelagerte Erzkörper	kostengünstig	große Vorratsverluste in den Pfeilern, Bruchgefahr	wegen hoher Vorratsverluste nicht geeignet

Untertagebau mit Versatz				
Teilsohlenbau mit Versatz	steil stehende Erzkörper, große Mächtigkeit	höhere Kosten	Schutz der Tagesoberfläche, Bergverwertung möglich geringe Vorratsverluste	für oberflächennahe (<200 m unter GOK) Bereiche stockförmiger Erzkörper
Kammerpfeilerbau mit Versatz	flach gelagerte Erzkörper	höhere Kosten	Schutz der Tagesoberfläche, Bergverwertung möglich geringe Vorratsverluste	für linsenförmige Greisenkörper

Am Beispiel der Lagerstätte Schenkenshöhe heißt das, dass für die Greisenkörper 1 und 2 ein Teilsohlenbau mit Versatz in Frage kommt. Für die Erzlager 1 und 2 hingegen ist der Kammerpfeilerbau geeignet.

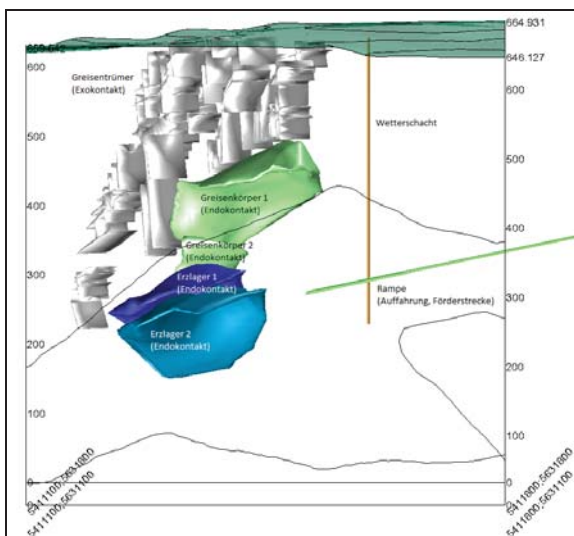


Abbildung 15: Schenkenshöhe, Aufschlussgrubenbaue, Variante Rampe

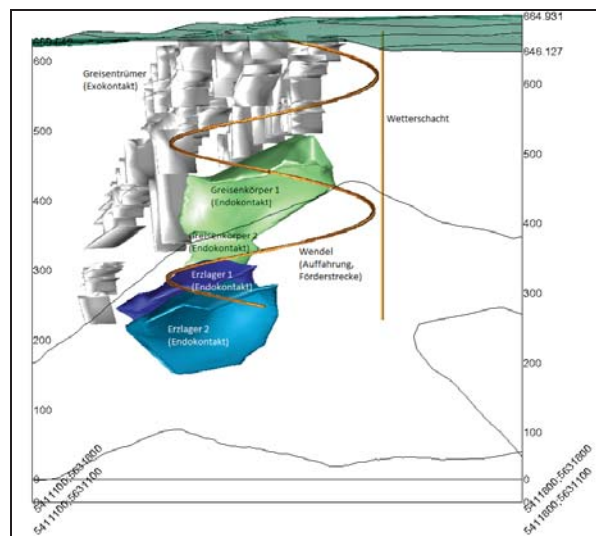


Abbildung 16: Schenkenshöhe, Aufschlussgrubenbaue, Variante Wendel

Aufschlussgrubenbaue

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen am 3D-Modell zwei Varianten für die Ausrichtung der Lagerstätte Schenkenshöhe. Diese Ausrichtung hat das Ziel, die Lagerstätte für den Abbau zugänglich zu machen. Bei der erwähnten Teufenlage kommt aus wirtschaftlichen Gründen in erster Linie die Ausrichtung über eine Rampe in Frage. Diese kann als gerade Rampe oder als Wendel ausgeführt werden.

Die Auswahl von Rampe oder Wendel richtet sich einerseits nach der Verfügbarkeit geeigneter Grundstücke an der Tagesoberfläche, andererseits nach der Logistik (Antransport von Material, Abtransport von Erz, Standort der Aufbereitung). Die Varianten gewähren eine große Flexibilität für den Standort der Zugänge zum Bergwerk. Eine konkrete Auswahl kann jedoch sinnvoll erst in der späteren Bergbauplanung erfolgen.

II.2.2 Ökonomische Betrachtung

Zur Bewertung der Machbarkeit der Lithiumgewinnung aus Festerzen in Deutschland ist eine Abschätzung von Investitionskosten und Betriebskosten notwendig. Eine exakte Berechnung ist bei dem gegenwärtigen Bearbeitungsstand jedoch nicht möglich. Die früheren Planungen des Bergbaus mit Stand 1989 erfolgten zu den Konditionen der Wirtschaft der DDR und sind unter den heutigen Bedingungen nicht mehr anwendbar.

Eine Abschätzung der Bergbaukosten wurde für die beiden aussichtsreichsten regionalen Lithiumlagerstätten Zinnwald und Schenkenshöhe vorgenommen. Die Randbedingungen und Ausgangsparameter sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Randbedingungen für den Bergbau

Parameter		Zinnwald	Schenkenshöhe
Geländehöhe (m HN)		ca. 800	ca. 650
Abbauteufe (m)		ca. 350	ca. 400
Rampe für Aufschluss	Steigung (°)	12,5	12,5
	Höhe Ansatzpunkt (m HN)	700	500
	Länge (m)	2.000	1600
Wetterschacht (m)		350	400
Erzförderung	t/a	300.000	300.000
Auffahrungen	m/a	2.000	2.000
Berge für Versatz	t	105.000	120.000
Personal		ca. 80	ca. 90

Die Schätzung der Kosten erfolgte, soweit möglich, nach [36]. Die Modelle ermöglichen relativ detaillierte Kostenschätzungen, wenn die notwendigen Auslegungsparameter bekannt sind. Da dies derzeit nur ungenügend der Fall ist, wurden häufig Annahmen und grobe Schätzungen zugrunde gelegt. Die Modelle beruhen auf dem Kostenniveau von 1998. Zur Berücksichtigung der Preisentwicklung wurde für die Umrechnung das aktuelle Preisniveau mit einem **Faktor von 2** multipliziert.

Es wird davon ausgegangen, dass bereits unter Tage die Vorzerkleinerung erfolgt. Dazu müssen Grubenbaue aufgefahren werden. Außerdem ist für den Betrieb der Bergwerke zur Vermeidung größerer Halden eine stärkere Versatzeinbringung notwendig.

II.2.2.1 Investitionen

Die Investitionen fallen vor allem zu Beginn des Bergbauprojektes an, um die notwendigen technischen Einrichtungen und längerfristigen Anlagegüter zu schaffen. Diese gehen im Betrieb des Bergwerks in Form von Abschreibungen in die Betriebskosten ein.

In [36] wird für das Abbauverfahren Teilsohlen-Pfeilerbau, das den regionalen Lagerstätten anzuwendenden nahe kommt, folgende Gleichung zur Schätzung der Investitionen angegeben:

$$C_i = 115.000 (X)^{0,552} \quad C_i - \text{Investition (US-\$)}$$
$$X - \text{Förder-Kapazität (short tons/Tag)}$$

Die Gleichung gilt für einen Förder-Kapazitätsbereich von 440 – 9.900 t/d.

II.2.2.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten umfassen u.a.

- Personalkosten
- Medien (Energie, Wasser)
- Kraftstoffe
- Abschreibungen

In [36] wird für das Abbauverfahren Teilsohlen-Pfeilerbau, das den regionalen Lagerstätten anzuwendenden nahe kommt, folgende Gleichung zur Schätzung der Betriebskosten angegeben:

$$C_o = 41,9 (X)^{-0,181} \quad C_o - \text{Betriebskosten (US-\$)}$$
$$X - \text{Förder-Kapazität (short tons/Tag)}$$

Die Gleichung gilt für einen Förder-Kapazitätsbereich von 440 – 9.900 t/d.

II.2.2.3 Ergebnisse der Kostenabschätzung

Die Kosten wurden für verschiedene Förder-Kapazitäten (Bergwerksgrößen) berechnet. Anschließend erfolgten die Umrechnungen st → t sowie US-\$ → €.

Zur Berücksichtigung der Kostensteigerung wurden die Ergebnisse mit dem Faktor 2 multipliziert. Zur Berücksichtigung der erhöhten Aufwendungen für Versatz und verschärfte Umweltauflagen wurde das Ergebnis mit dem Faktor 1,2 multipliziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Ergebnisse der Kostenberechnung des Bergbaus

Förder-Kapazität t/a	Investitionen Mill. €	Betriebskosten €/ t Erz
100.000	4,7	31
200.000	6,8	26
300.000	9,7	24
500.000	11,3	22
1.000.000	16,7	18

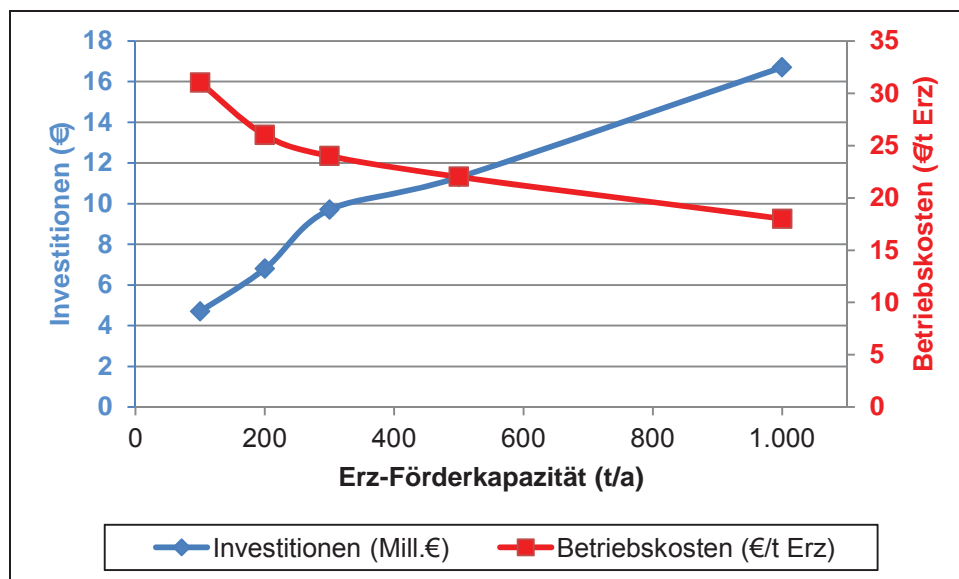


Abbildung 17: Modellierte Bergbaukosten in Abhängigkeit von der Förderkapazität

Die verwendeten Gleichungen beruhen auf Modellen (Näheres in [36]). Dabei wurden Vereinfachungen vorgenommen, die dazu führen, dass sich die beiden Bergbauprojekte Zinnwald und Schenkenshöhe bei gleicher Förder-Kapazität nicht unterscheiden.

Die Ergebnisse sind plausibel. Aus eigenen Erfahrungen liegen die Bergbaukosten vergleichbarer Projekte im Bereich 20 – 25 €/t. Die Summe der Investitionen scheint etwas unterschätzt zu sein. Damit können für den Abbau der regional vorhandenen Lithium-Greisenerze mit einer realistischen Förderkapazität von 300.000 t/a folgende Werte angesetzt werden:

Investitionen	ca. 15 Mill. €
Betriebskosten	ca. 24 €/t bzw. 7,2 Mill. €/a

In Tabelle 7 ist für die regionalen Lagerstätten der Wert einer Tonne Erz aufgeführt. Dieser liegt zwischen 70 und 110 €/t. Vergleicht man diesen mit den oben genannten Kosten, so zeigt sich, dass die Bergbaukosten etwa 1/3 – 1/4 des Wertes ausmachen. Damit ist von der Bergbauseite her selbst bei einer gewissen unvorhersehbaren Steigerung der Kosten während der Projektentwicklung (z.B. infolge Umweltauflagen) die Wirtschaftlichkeit der Lithiumgewinnung aus den regionalen Festgesteins-Lagerstätten gegeben. Die potentiell günstigste Lagerstätte stellt dabei Schenkenshöhe dar.

II.2.3 Umweltaspekte

Grundlage für die Erarbeitung von Gewinnungsszenarien für die Lithiumerze bilden u.a. die Anforderungen des Bergrechts. Wesentlicher Bestandteil späterer Genehmigungsverfahren für ein Bergwerk sind die Umweltaspekte, die im Zuge der Umweltverträglichkeitsprüfung in einem Rahmenbetriebsplan-Verfahren beleuchtet werden. Da es seit 1945 in Deutschland keinen Bergbau auf Lithiumerze mehr gab, können diese Auswirkungen nur auf der Grundlage von Recherche- und Forschungsergebnissen prognostiziert werden.

Eine wesentliche Umweltauswirkung von Bergwerken stellen Schwermetallgehalte der Grubenwässer dar. Grundlage der Bewertung ist die EU-Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in nationales Recht, d.h. für die regionalen Lagerstätten die Sächsische Wasserrahmenrichtlinien-Verordnung.

Um auch bei Komponenten, die in den genannten Regularien nicht aufgeführt sind, potenzielle Probleme für die Lithiumgewinnung zu erkennen, werden Qualitätsnormen der LAWA herangezogen.

Von den für eine Lithiumgewinnung zuerst in Frage kommenden Lagerstätten Zinnwald, Schenkenshöhe und Sadisdorf sind Daten zur Wasserqualität nach den Rechercheergebnissen nur für erstere vorhanden. Einen Vergleich der Grenzwerte mit realen Grubenwasserdaten aus Zinnwald ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Vergleich von Grubenwasserdaten aus Zinnwald mit Umweltqualitätsnormen

Parameter	QN	Stollnwasser		QN	Stollnwasser	
	Wasser	TBSt.	THGSt.	Schwebstoff	TBSt.	THGSt.
		(Zinnwald)	(Zinnwald)		(Zinnwald)	(Zinnwald)
	µg/l	µg/l	µg/l	mg/kg	mg/kg	mg/kg
UQN gemäß SächsWRRLVO						
As	-	6,52	1,76	40	428	224
Cr	-	2,9	1,04	640	0	13
Cu	-	53,3	12,4	160	742	689
Zn	-	119	49,2	800	0	223
Cd ges.	1	2,33	0,1	-	0	50
Hg ges.	1	<0,1	<0,1	-	<BG	<BG
QN-Vornorm der LAWA						
Sb	20	0,51	0,16	110	0	2
Ba	60	299	316	430	1271	9016
Be	0,1	3,3	2,74	0,4	0	74
Co	0,9	0,4	0,615	0,3	0	24
Pb	7,2	3,4	5,25	-	451	269
Mo	7	12	3,4	8	0	0
Se	2,5	<2	<2	-	<BG	<BG
Ag	0,03	<0,1	<0,1	1,8	<BG	<BG
Tl	0,1	0,41	0,27	1	0	6
U	0,15	20,5	5,61	0,5	424	124
V	2,4	0,14	0,261	35	0	21
Sn anorg.)	3,5	<0,2	<0,2	200	<BG	<BG
TBSt. – Tiefer Büнау Stolln THGSt. – Tiefer Hilfe Gottes Stolln						

Ein solcher Vergleich liefert erste Hinweise auf mögliche Umweltprobleme bei der Gewinnung des Lithiums aus den Erzlagerstätten. Es wird deutlich, dass insbesondere Arsen und Kupfer über Verwitterungsprozesse aus den in den Erzen als Spurenminerale vorhandenen Sulfiden (Chalkopyrit und Arsenopyrit) durch Verwitterungsprozesse freigesetzt werden und sich in den Schwebstoffen anreichern. Dies muss bei einem künftigen Bergbau berücksichtigt werden.

Nach den bisherigen Kenntnissen kann davon ausgegangen werden, dass die Grubenwasserqualitäten bei einem Abbau der Lagerstätten Schenkenshöhe und Sadisdorf sehr ähnlich sein werden.

Hinsichtlich der Machbarkeit des Bergbaus haben die Untersuchungsergebnisse keine negativen Auswirkungen, da die Wässer, wenn überhaupt nötig, leicht und kostengünstig gereinigt werden können. Dazu reichen wahrscheinlich schon Schwermetall-Retentionsmaßnahmen in der Grube, z.B. Sedimentrückhaltung, aus.

II.3 Gewinnungsszenarien regionaler Tiefenwässer (AP 1.4.2)

In AP 1.4.2 sollen Möglichkeiten zur Nutzung lithiumhaltiger Tiefenwässer untersucht werden. Neben technischen Möglichkeiten der Förderung wird insbesondere der Aspekt der Nachhaltigkeit, also die Fragestellung, ob durch Auslaugungsprozesse der Reservoirgesteine eine Regenerierung des Lithiumgehaltes erfolgt, untersucht. Darüber hinaus wird anhand der Lithiumgehalte, möglicher Fördermengen und der Infrastruktur die Wirtschaftlichkeit der Nutzung geprüft.

II.3.1 Charakterisierung der Tiefenwässer

Die Recherche ergab, dass sich lithiumreiche Tiefenwässer vor allem im Staßfurtkarbonat des Thüringer Beckens (>150 mg/l Li) sowie im Staßfurtkarbonat (>100 mg/l) und Rotliegend (bis 600 mg/l) des Nordostdeutschen Flachlandes finden (Tabelle 16)

Tabelle 16: Beispiele lithiumhaltiger Tiefenwässer [41]

Bohrung	Teufe [m]	Mg [mg/l]	Li [mg/l]	Formation
Schichtwässer im Thüringer Becken				
Hainich-Nazza 101	920	5767	200	Staßfurtkarbonat
Altengottern	1260	6740	>200	Staßfurtkarbonat
Kirchheiligen 8	1080	8823	163	Staßfurtkarbonat
Kirchheiligen 13	800	11921	184	Staßfurtkarbonat
Kirchheiligen 20	900	18560	200	Staßfurtkarbonat
Kirchheiligen 31	1060	7054	166	Staßfurtkarbonat
Langensalza 18	1050	7310	152	Staßfurtkarbonat
Langensalza 20 E	1022	5370	150	Staßfurtkarbonat
Schichtwässer des Nordostdeutschen Flachlandes				
Gristow 7	2380 - 2433	547	600	Rotliegend
Gristow 6	2134 - 2140	12300	300	Staßfurtkarbonat
Stralsund 2	2640 - 2662	5700	150	Staßfurtkarbonat
Fallstein 20	1460 - 1405	9529	>100	Staßfurtkarbonat
Fallstein 26	1377 - 1385	19460	>100	Staßfurtkarbonat

Die Tiefenwässer werden im Zusammenhang mit der Erdgasförderung angetroffen und Arbeiten in diesen Bereichen können nur in Abstimmung mit den verfügungsberechtigten Fir-

men, insbesondere der Erdgasförderung, erfolgen. Die Eigentumsrechte der Bohrungen dieser Felder liegen heute bei der Firma Gaz de France SUEZ GmbH. Auf Anfrage bestand jedoch keine Bereitschaft, aktuelle Daten über die Qualität der Tiefenwässer bzw. Proben der Wässer zur Verfügung zu stellen. Auch Bemühungen auf Geschäftsführerebene führten zu keinem Erfolg.

II.3.2 Machbarkeit der Lithiumgewinnung und Gewinnungsszenario

Ein Li-Gehalt von 350 mg/l, wie z.B. in [39] für Rotliegend- und Oberkarbon-Wässer aufgeführt, bedeutet bei einem Preisniveau für Li_2CO_3 von 3,50 €/kg einen Lithium-Wertinhalt von ca. 0,6 Euro-Cent pro Liter Tiefenwasser. Dieser Überschlag zeigt, dass eine Förderung des Wassers aus 1.000 bis 3.000 m Tiefe eigens zur Li-gewinnung nicht wirtschaftlich ist. Zur Abtrennung des Lithiums kommen somit nur zwangsläufig anfallende Tiefenwässer in Frage, z.B. Lagerstättenwasser der Erdgasförderung.

Bei einem Anfall von 10.000 m³/a an Lagerstättenwasser je Bohrung, wie er aus Literaturangaben für Erdgas-Förderbohrungen recherchiert wurde [40], ergibt sich bei dem Li-Gehalt von 350 mg/l ein Lithium-Inhalt von ca. 3,5 t/a entsprechend 18,2 t/a an Li_2CO_3 . Dies entspricht auf dem gegenwärtigen Preisniveau einem Wert von ca. 63.700 €/a.

Diese Betrachtung zeigt, dass für eine wirtschaftliche Lithiumgewinnung die Verarbeitung solcher Wässer aus mehreren Bohrungen mit einer Voranreicherung des Lithiumgehaltes notwendig ist. Dazu ist ein Verfahren notwendig, das folgende Eigenschaften aufweist:

- geringer Energieverbrauch
- einfache Verfahrenstechnik
- leichte Weiterverarbeitbarkeit des Konzentrats

Das besterprobte Verfahren ist die solare Eindampfung, die aber an den regionalen Standorten aus klimatischen Gründen nicht möglich ist. Eine weitere Variante ist das direkte Eindampfen mit Restgasen abgeworfener Erdgassonden [42].

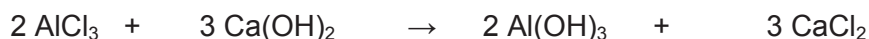
Darüber hinaus weisen auch einfache Fällungs- und Sorptionsverfahren die oben genannten Eigenschaften auf. Solche wurden z.B. in [43], [44] und [45] ausgearbeitet. Diese bestehen grundsätzlich aus den Verfahrensschritten

- Vorreinigung
- Zugabe löslicher Al-Verbindungen
- Hydrolysefällung mittels $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH oder NaOH
- Fest-Flüssig-Trennung
- Weiterverarbeitung des Fällproduktes

Die regionalen Tiefenwässer weisen für die Anwendung solcher Verfahren unter Verwendung von Aluminiumverbindungen als Fällungs-/Sorptionsmittel gute Voraussetzungen auf:

- hoher Chloridgehalt (begünstigt die Fällung von amorphen Aluminiumverbindungen mit besonders guten Sorptionseigenschaften für Li)
- niedrige Mg-Gehalte (geringe parallele Mg(OH)₂-Fällung)

Das Lithium wird einerseits an ausfallendes amorphes Al(OH)₃ sorbiert, andererseits als LiAlO₂ gefällt. Die Reaktionen verlaufen vereinfacht nach der Gleichung



mit nachfolgender Sorption von Li an Al(OH)₃



Zur Prüfung der grundsätzlichen Machbarkeit der Li-Gewinnung aus den regionalen Tiefenwässern nach diesen Verfahren wurden einige orientierende Laborversuche durchgeführt. Dazu wurde ein synthetisches Tiefenwasser entsprechend der Probe R 119 aus [39] mit folgender Zusammensetzung durch Lösen der entsprechenden Mengen KCl, NaCl, MgCl₂ · 6 H₂O, CaCl₂ · 6 H₂O und LiCl zu 1 l Lösung hergestellt.

Tabelle 17: Zusammensetzung des synthetischen Tiefenwassers

	zugesetzt als	Menge (g/l)	Element-Konzentration (g/l)
K	KCl	12,78	6,69
Na	NaCl	165,86	65,3
Mg	MgCl ₂ · 6 H ₂ O	10,40	1,24
Ca	CaCl ₂ · 6 H ₂ O	131,85	47,6
Li	LiCl	2,29	0,375
Cl	resultierend		196,4

1 l dieser Lösung wurde mit 3,645 g Al in Form von AlCl₃ · 6 H₂O versetzt, entsprechend einem molaren Verhältnis Al : Li = 2,5 : 1. Nach dem Auflösen wurde der pH-Wert mit NaOH auf 9,0 eingestellt, worauf ein gelförmiger Niederschlag ausfiel. Die Li-Restkonzentration lag bei 157,5 mg/l. Dies entspricht einem Li-Ausbringen im Fällprodukt von 58 %. Der Li-Gehalt im Fällprodukt lag bei 1,2 % Li. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem von Zinnwaldit-Konzentraten.

Das Li-Ausbringen ist damit noch nicht zufriedenstellend. Der Versuch zeigt jedoch die grundsätzliche Machbarkeit eines solchen Verfahrens. Dieses muss bei einer angestrebten Lithiumgewinnung aus Tiefenwässern an die konkreten Bedingungen angepasst und hinsichtlich Li-Ausbringen und Li-Gehalt des Fällproduktes optimiert werden.

Das abzentrifugierte und getrocknete Fällprodukt wurde hinsichtlich der Aufschließbarkeit nach dem aus der Literatur bekannten „Basenaustauschverfahren“ [32] mit K_2SO_4 als Aufschlussmittel untersucht. Dazu wurde das Material mit K_2SO_4 im Verhältnis 3:1 gemischt und bei $900\text{ }^\circ\text{C}$ für 2 h geröstet. Anschließend erfolgte eine Laugung mit Wasser. Es ergab sich dabei ein Li-Ausbringen aus dem Röstprodukt von 81 %. Das Gesamtausbringen lag demnach bei 47 %.

Ein vorläufiges Verfahrensfliessbild für die Vorkonzentrierung des Lithiumgehaltes der Wässer ist in Abbildung 18 dargestellt.

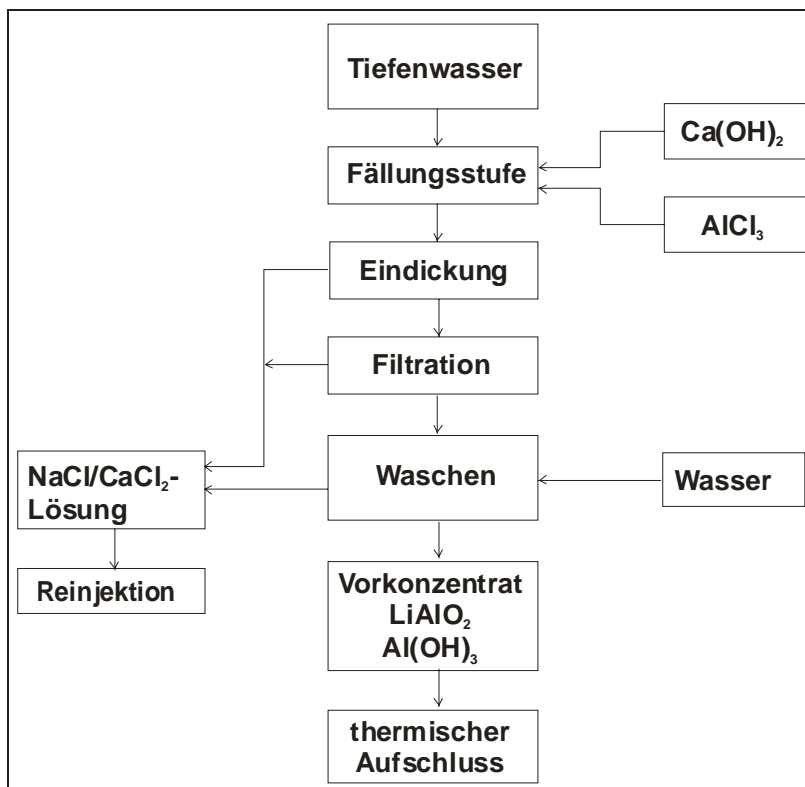


Abbildung 18: Vorläufiges Verfahrensschema für die Vorkonzentrierung des Li aus Tiefenwässern

Als Produkte eines solchen Prozesses fällt ein Li-Al-Mg-haltiger Feststoff an. In diesem Feststoff ist das Li als Aluminat enthalten. Dieses kann unmittelbar als Lithiumrohstoff in das im Rahmen des Verbundprojektes entwickelte Aufbereitungsverfahren für Lithiumerze (Arbeitspaket 3 „Mechanische und klassische metallurgische Prozesse“) eingeschleust werden. Das Lithium wird dabei als Li_2SO_4 mobilisiert und als Li_2CO_3 gewonnen. Es ist somit kein weiteres Aufbereitungsverfahren für das Vorkonzentrat erforderlich.

Die als Nebenprodukt anfallende $NaCl/CaCl_2$ -Lösung kann über Injektionsbohrungen in die Formation reinjiziert werden.

Für eine Berechnung der Kosten sind die vorliegenden Ergebnisse nicht ausreichend. Das Verfahren zur Lithiumgewinnung aus den Tiefenwässern ähnelt jedoch Fällungsverfahren zur Abwasserbehandlung. Typische Behandlungskosten liegen bei 3,50 €/m³. Dies entspricht einem Kostensatz von 0,35 €-Ct/l. Dem steht ein möglicher Erlös von 0,6 €-Ct/l gegenüber.

Mit dem Verfahren ist demnach grundsätzlich ein Ansatz gefunden, um das Li aus den Tiefenwässern abzutrennen und im Sinne einer hybriden Lithiumgewinnung zu nutzen.

II.4 Erkundung und Gewinnungsszenarien im Zusammenhang mit Geothermieprojekten (AP 1.4.4)

Bei Geothermie-Projekten, die tiefe Grundwasserleiter nutzen, wird geprüft, inwieweit Gehalte an Lithium und seltenen Elementen hoch genug sind, um ein Abtrennen dieser Elemente neben der thermischen Nutzung wirtschaftlich vertretbar zu realisieren. Das Abtrennverfahren muss mit den entsprechenden Arbeitspaketen zur Weiterverarbeitung der Wässer so ausgelegt werden, dass eine Beeinträchtigung der Reinjektion, z. B. durch Ausfällung und Scaling, nicht zu befürchten ist. Weiterhin wird geprüft, ob durch die Reinjektion neues Lithium gelöst wird und dadurch eine gewisse Regeneration des Lithiumgehaltes erfolgt.

II.4.1 Charakterisierung der Wässer

Erhöhte Lithiumgehalte treten in Deutschland nur in Wässern auf, die in der tiefen Geothermie (> 400 m) genutzt werden. Die geothermische Nutzung von Tiefenwässern geringer Entalpie setzt neben einer genügend hohen Wassertemperatur auch voraus, dass Porosität und Permeabilität des Speicherhorizontes ausreichend groß sind, um einen genügend hohen Förderstrom zu gewährleisten. Die geothermisch genutzten Wässer entstammen daher häufig den besonders geeigneten Gesteinsformationen von Zechstein und Jura. Diese Wässer weisen jedoch deutlich niedrigere Lithiumgehalte auf, als die in Abschnitt II.3 behandelten Tiefenwässer. Erhöhte Li-Gehalte treten besonders in den Wässern des Rotliegenden auf.

Demgemäß sind die Lithiumgehalte der Wässer der bereits seit längerem betriebenen geothermischen Heizzentralen in Mecklenburg-Vorpommern Waren, Neubrandenburg und Neustadt-Glewe mit Werten < 10 mg/l [37] gering und kommen für eine Lithiumgewinnung nicht in Frage.

Das Wasser des Geothermie-Projektes Groß-Schönebeck (NaCl-CaCl₂-Typ) weist Li-Gehalte um 200 mg/l [46] auf.

II.4.2 Machbarkeit der Lithiumgewinnung und Gewinnungsszenario

Hinsichtlich Abbauszenarien wurden theoretische Modellrechnungen angestellt. Ein Lithiumgehalt von 200 mg/l, wie er sich für die relevanten Tiefenwässer der Geothermieprojekte

abzeichnet [46], bedeutet mit den heutigen Lithiumpreisen einen Wert von ca. 0,6 €-Ct/l geförderten Wassers. In der gleichen Größenordnung liegt auch der Wert des Wärmeinhalts des Wassers unter den Verhältnissen der Norddeutschen Tiefebene.

Diese Abschätzung zeigt, dass eine Gewinnung der Lithiumgehalte nur gekoppelt mit der geothermischen Nutzung des Wärmeinhaltes des Wassers wirtschaftlich ist. Die gewinnbaren Mengen müssen sich daher nach der Wasserförderung der Geothermieanlage richten. Solche Anlagen werden nach den Rechercheergebnissen gewöhnlich für Wasserförderleistungen von ca. 50 l/s ausgelegt [46]. Die Anlagen laufen mit voller Leistung nur in der Heizperiode, d.h. ca. 2500 h/a. Mit diesen Daten lässt sich eine mögliche jährliche Lithiumgewinnung von 90 t Li bzw. ca. 468 t/a Li_2CO_3 abschätzen. Damit wäre bei einem Li_2CO_3 -Preis von 3.500 €/t ein Erlös von ca. 315.000 €/a möglich. Dieser Wert ergibt sich für **eine** Geothermieanlage.

Geothermiesysteme sind sehr anfällig gegenüber Veränderungen der Fluidzusammensetzung. Dies betrifft neben den technischen Anlagen zur Wärmeauskopplung vor allem die Reinjektion des abgekühlten Wassers in die Formationen. Diese Reinjektion ist jedoch unbedingt notwendig, da solch hochsalinare Wässer nicht anderweitig entsorgt werden können. Probleme ergeben sich vor allem durch Schädigung des Reinjektionshorizontes

- durch Abscheidung von Substanzen infolge Druckentlastung (z.B. Carbonate)
- durch Abscheidung von Substanzen infolge Oxidation durch O_2 -Zutritt (Fe-Verbindungen)
- durch Abscheidung von Substanzen infolge Übersättigung (z.B. CaSO_4 , NaCl)

Das in AP 1.4.2 (Abschnitt II.3.2) erprobte Fällungsverfahren bedingt einen großen Eingriff in die Chemie der Wässer. Die möglichen Prozesse sind dabei nicht im Einzelnen prognostizierbar. Durch Abscheidung von Al-Verbindungen ergeben sich weitere Möglichkeiten für Schädigungen des Horizontes. Daher ist das Fällungsverfahren nur für den Einsatz bei schwach salinaren Geothermalwässern geeignet, die nicht reinjiziert werden müssen.

Für die Gewinnung von Lithium aus den Wässern von Geothermieanlagen sind nach den geschilderten Ergebnissen nur Sorptions- und Extraktionsverfahren einsetzbar. Für solche Verfahren gibt es jedoch nur Ansätze. z.B.

- **Ionenaustausch**
z.B. $\text{SnSb}^{\text{IV}}\text{O}_4$, $\text{Sn}(\text{OH})\text{AsO}_4$ [47]
- **Solventextraktion**
z.B. mit Butanol, Methyl-Isobutylketon (u.a. [48])
- **Selektive Adsorption**
z.B. an $\lambda\text{-MnO}_2$ ([49], [50], [51], [52])

Alle Ansätze sind jedoch nicht über das Laborstadium hinaus gelangt, so dass es kein wirtschaftlich anwendungsbereites Verfahren gibt.

Vorteile von Ionenaustausch- und Sorptionsverfahren sind

- geringer Eingriff in den Lösungsschemismus
- einfacher Aufbau der Anlagen
- geringer Chemikalienbedarf

Die für die Ionenaustausch- und Sorptionsverfahren notwendigen Materialien (Zinn-Antimonate, Zinn-Arsenate und λ - MnO_2) sind jedoch sehr aufwändig zu synthetisieren, so dass mit diesen keine praktischen Versuche angestellt werden konnten.

Aufgrund von Erfahrungen aus der Wasserbehandlung konnte trotzdem ein vorläufiges Verfahrensschema entworfen werden, das in Abbildung 19 dargestellt ist.

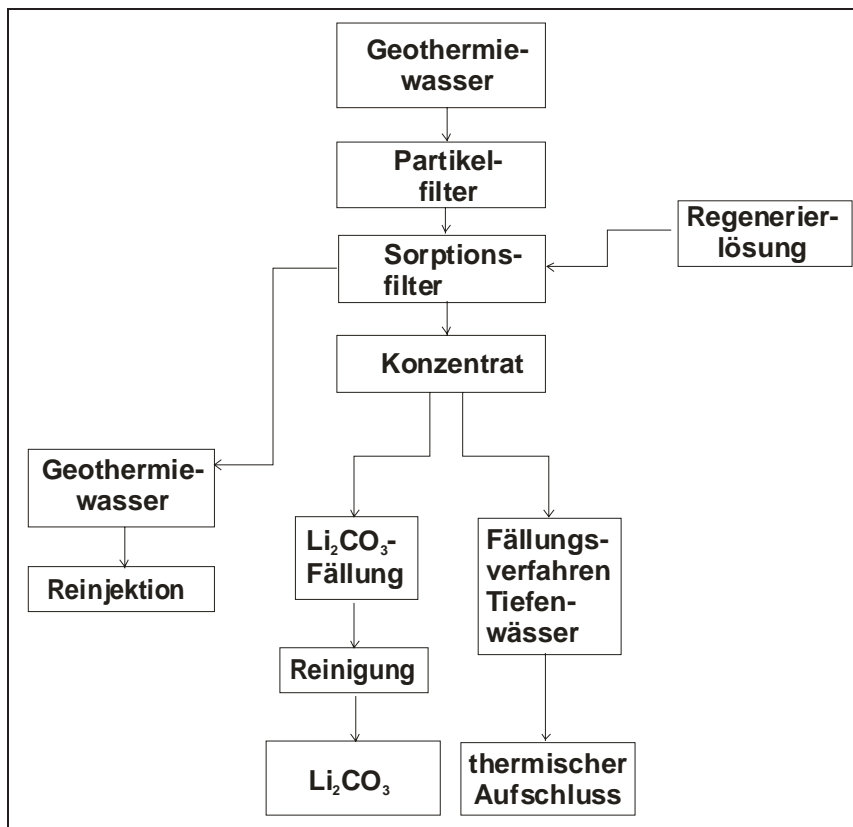


Abbildung 19: Vorläufiges Verfahrensschema für die Voranreicherung des Li aus Geothermiewässern

Die Weiterverarbeitung der Konzentrate kann nach Zusammenführen auf zwei Wegen erfolgen:

- direkte Fällung von rohem Li_2CO_3 aus den flüssigen Konzentraten und Reinigung in der Anlage zur Li-Gewinnung aus Festerzen (Entwicklung in AP 3 des Verbundprojektes)
- Einspeisen der flüssigen Konzentrate in die Aufarbeitung von Tiefenwässern (AP 1.4.2, siehe Abschnitt II.3)

Die Kosten eines solchen Verfahrens lassen sich zu ca. 0,20 €-Ct/l zuzüglich Kosten des Sorptionsmittels abschätzen. Dem steht ein möglicher Erlös von 0,35 €-Ct/l gegenüber. Da bei den Kosten der Aufwand für das Sorptionsmittel und die Weiterverarbeitung nicht kalkuliert sind, ist eine Wirtschaftlichkeit nicht gegeben. Entscheidend dafür ist der verglichen mit den Tiefenwässern (Abschnitt II.3.2) um den Faktor 2 – 3 niedrigere Lithiumgehalt der Wässer der Geothermieanlagen.

II.5 Reststoffnutzung und Reststoffverbringung (AP 1.4.5)

II.5.1 Rechercheergebnisse

Dem Masseanteil nach ist der Gehalt des Wertstoffes „Lithium“ der Lithiumerze mit 0,2-0,3 % relativ gering. Günstig für den Bergbau ist jedoch, dass der Zinnwaldit-Gehalt der Lagerstätten bei ca. 20 % liegt. Somit können ca. 80 % der Berge bei der Zinnwaldit-Konzentratgewinnung durch Magnetscheidung als relativ grobkörniges Material (nach derzeitiger Kenntnis >0,3 mm) abgestoßen werden. In der nachfolgenden chemischen Aufbereitung zur Gewinnung von Lithiumcarbonat fallen dann weitere ca. 17 % Reststoff bezogen auf das Roherz an. Die Menge kann sich durch den Einsatz von Aufschlussmitteln sogar noch etwas erhöhen.

Eine herkömmliche Aufbereitung der Greisenerze mit Erzeugung großer Berghalden und Tailings ist unter den Europäischen Umweltstandards, dazu in dicht besiedelten Gebieten, als nur schwer genehmigungsfähig einzuschätzen. Daher kommt der weitgehenden Verwertung der Reststoffe eine große Bedeutung zu.

Bei Abbau und Verarbeitung von Lithium-Greisenerzen sind nach den Rechercheergebnissen in Abhängigkeit von den eingesetzten Aufbereitungsverfahren folgende Reststoffe zu erwarten:

- Berge der Aus- und Vorrichtung (Material aus der Auffahrung von Hilfsgrubenbauen)
- Berge der Erzeugung der Zinnwalditkonzentrate
- Rückstände des Aufschlusses des Zinnwaldits (Laugungsrückstände)
- Rückstände der Laugenverarbeitung (Fällungsschlämme)

Tabelle 18 gibt einen entsprechenden Überblick.

Tabelle 18: Übersicht über die potenziell bei der Li-Gewinnung aus Li-Glimmern anfallenden Reststoffe

	Verfahrensschritt	Reststoff	Zusammensetzung	Bemerkungen
1	Aus- und Vorrichtung	Aus- und Vorrichtungsberge	Nebengestein, z. B. - Granit - Quarzporphyr	stückig bis grobkörnig
2	Erzeugung des Zinnwaldit-Konzentrats durch Magnetscheidung	Magnetscheidungsberge	- Quarz (Hauptbestandteil) - Topas	relativ grobkörnig (100 µm - 1 mm)
3	Erzeugung des Zinnwaldit-Konzentrats durch Flotation	Flotationsberge	- Quarz (Hauptbestandteil) - Topas	feinkörnig (100 - 500 µm)
4	Zinnwalditaufschluss durch Säurelaugung	Laugungsrückstand	SiO ₂	feinkörnig Restgehalte an Säure
5	Zinnwalditaufschluss durch Sulfat-Röstverfahren (sog. Basenaustauschverfahren)	Laugungsrückstand	abhängig von Aufschlussmittel: - Hämatit - Silikate (Granat, Cuspidin, Edenit, - Anorthit) - Anhydrit / Gips	Restgehalte an Sulfaten
6	Zinnwalditaufschluss durch Kalk-Röstverfahren	Laugungsrückstand	Silikate (Granat, Anorthit)	Restgehalte an Kalk
7	Laugenverarbeitung	Fällungsschlamm	- Fe-Hydroxide - Mn-Hydroxide - CaSO ₄ - Salze	feinstkörnig

Die anfallenden Mengen hängen dabei vom Durchsatz ab.

Reststoffe eines untertägigen Bergbaubetriebes, d. h. Aufbereitungsabgänge, haben 2 Funktionen. Zum einen müssen diese nach Möglichkeit verwertet werden, zum anderen wird in dem Bergwerk Versatzmaterial benötigt. Dieses dient dazu, abgebaute Hohlräume zu verfüllen, um den Abbau in den anderen Lagerstättenteilen gefahrlos weiterführen zu können sowie zum geomechanischen Schutz der Tagesoberfläche vor Schäden durch Gebirgsbrüche. Das Einbringen geeigneten Versatzes ist daher Voraussetzung für einen möglichst vollständigen Abbau der Lagerstätte und damit einen größtmöglichen ökonomischen Nutzen.

Nach den Rechercheergebnissen bietet die Nutzung der Aus- und Vorrichtungsberge (1) die geringsten Schwierigkeiten. Diese können nach geeigneter Aufbereitung (Brechen, Klassieren) als Baustoff am Standort (z. B. Straßenunterbau) eingesetzt oder verkauft werden. Nicht verwendete Mengen können in den selbsthärtenden Versatz für die Grube eingearbeitet werden.

Die Magnetscheidungsberge (2) enthalten kaum schädliche Beimengungen und können ebenso in den Versatz eingebracht werden.

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand können auch Flotationsberge (3) in den Versatz eingebracht werden, da die Glimmerflotation von Greisenerzen keine Feinstzerkleinerung < 40µm erfordert und somit problematische Feinstanteile nur in geringen Mengen enthalten sind. Ein eventueller nachteiliger Einfluss von Restmengen an Flotationsreagenzien ist derzeit nicht absehbar.

Laugungsrückstände des Aufschlusses durch Säurelaugung (4) sind feinkörnig und enthalten hauptsächlich SiO₂.

Die Rückstände der Röstverfahren (5, 6) dürften relativ grobkörnig anfallen und sich gut in die Versatzmischung einbringen lassen.

Fällungsschlämme (7) haben erfahrungsgemäß eine extrem feinkörnige und z. T. gelartige, schlecht entwässerbare Beschaffenheit.

Die Recherche zeigte, dass sich keine allgemein gültigen Versatzrezepturen angeben lassen, da sowohl das einzusetzende Material:

- Berge der Aus- und Vorrichtung (Material aus der Auffahrung von Hilfsgrubenbauen)
- Berge der Erzeugung der Zinnwalditkonzentrate (Magnetscheidungsberge)
- Rückstände des Aufschlusses des Zinnwaldits (Laugungsrückstände)
- Rückstände der Laugenverarbeitung (Fällungsschlämme)

als auch die zur Verfügung stehenden Bindemittel sehr unterschiedlich beschaffen sind.

Zur Prüfung der grundsätzlichen chemischen und geotechnischen Eignung der derzeit verfügbaren Materialien wurde eine Reihe von Laborversuchen zur Ausarbeitung und Optimierung von Versatzrezepturen durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurde mit Material der Lagerstätte Zinnwald gearbeitet. Gemäß den Arbeitsergebnissen aus AP 1.1.2 werden die beim Abbau der anderen Lithiumlagerstätten, insbesondere Schenkenshöhe und Sadisdorf, anfallenden Berge eine weitgehend analoge Beschaffenheit aufweisen.

Eingesetzt wurden

- Nebengestein (Aus- und Vorrichtungsberge)
- Magnetscheidungsberge aus AP 3.1.1 (TU BAF, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik)

II.5.2 Chemische Beschaffenheit

Anforderungen an die chemische Beschaffenheit von Versatzmaterialien werden durch die „Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung – VersatzV)“ geregelt. Darin werden Grenzwerte für auslaugbare Schwermetalle und organische Schadstoffe vorgegeben. Letztere sind in den Bergematerialien der Greisenlagerstätten nicht zu erwarten. Von den Schwermetallen können insbesondere Arsen und daneben Kupfer und Zink von

Bedeutung sein, die mit kleinen Anteilen im Erz auftreten. Zur Prüfung wurde eine Probe der Magnetscheidungsberge einer entsprechenden Analytik unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt. Als Vergleich sind die Grenzwerte gemäß Versatzverordnung angegeben.

Tabelle 19: Analysenergebnisse der Magnetscheidungsberge Zinnwald und Vergleich mit Grenzwerten der VersatzVO

Parameter	Einheit	Messwert	Grenzwert	Parameter	Einheit	Messwert	Grenzwert
			Versatz-VO				VersatzVO
Feststoff				Eluat			
Trockenrückstand	Ma-%	99,9	-	pH		8,6	-
Glühverlust	Ma-% TS	0,3	12	el. Leitfähigkeit	µS/cm	36	-
TOC	Ma-% TS	< 0,1	6	wasserlös. Anteil	Ma-% TS	0,0180	-
Arsen	mg/kg TS	59	150	MKW (C ₁₀ -C ₄₀)	mg/l	< 0,1	200
Blei	mg/kg TS	10	1000	Cyanid, ges.	mg/l	< 0,005	0,05
Cadmium	mg/kg TS	< 0,2	10	Cyanid, leicht freisetzbar	mg/l	< 0,005	0,01
Chrom ges.	mg/kg TS	3	600	Arsen	mg/l	0,018	0,01
Kupfer	mg/kg TS	12	600	Blei	mg/l	0,002	0,025
Nickel	mg/kg TS	2	600	Cadmium	mg/l	< 0,0002	0,005
Quecksilber	mg/kg TS	< 0,07	10	Chrom ges.	mg/l	0,003	0,05
Zink	mg/kg TS	31	1500	Kupfer	mg/l	< 0,008	0,008
Cyanid ges.	mg/kg TS	< 0,05	100	Nickel	mg/l	0,005	0,05
MKW	mg/kg TS	< 50	1000	Quecksilber	mg/l	< 0,001	0,05
Summe BTEX	mg/kg TS	< 0,05	5	Zink	mg/l	< 0,0002	0,001
Summe LHKW	mg/kg TS	< 0,05	5	Arsen	mg/l	0,003	0,5
Summe PCB ₆	mg/kg TS	< 0,01	0,2	Summe BTEX	µg/l	< 1	20
PCB ₆ x 5	mg/kg TS	< 0,05	1	Summe LHKW	µg/l	< 1	10
Summe PAK	mg/kg TS	< 0,1	20	Summe PCB ₆	µg/l	< 0,02	0,01
				PCB ₆ x 5	µg/l	< 0,10	0,05
				Summe PAK	µg/l	< 0,01	0,2
				Naphthalin	µg/l	< 1	2
fett: Überschreitung des Grenzwertes							

Es zeigt sich, dass alle Grenzwerte deutlich unterschritten werden. Lediglich bei Arsen im Eluat zeigt sich eine Überschreitung. Dieser Wert liegt beim 1,8fachen des Grenzwertes.

Die Ursache der erhöhten Arsengehalte im Eluat liegt in geringen Beimengungen von Arsenhaltigen Sulfiden (Arsenopyrit, Tennantit) im Greisen, die im Zuge der Zerkleinerung, Sortierung und Eluatherstellung durch Luftsauerstoff und Feuchtigkeit angegriffen werden, wobei gewisse Mengen Arsen in Lösung gehen.

In den Versatzrezepturen wird das Arsen durch beigemengte Eisenverbindungen und den hohen pH infolge Flugasche- bzw. Zementzusatzes immobilisiert.

II.5.3 Mechanische Beschaffenheit

Wenn der Versatz zur Stabilisierung von Grubenbauen eingesetzt werden soll, in deren Bereich weiterer Abbaubetrieb stattfindet, muss dieser auch mechanische Anforderungen erfüllen. Die beiden wesentlichen Parameter sind dabei

- Druckfestigkeit
- minimale rissfreie Länge.

Während letztere neben der Versatzrezeptur maßgeblich von den Einbaubedingungen beeinflusst wird und daher im Labor nicht geprüft werden kann, wurde erstere in Abhängigkeit von der Rezeptur untersucht. Dazu wurden Mischungen der Komponenten Magnetscheidungsberge und Bindemittel (Braunkohlen-Flugasche und Portlandzement) hergestellt und nach einer Abbindezeit von 28 Tagen die Druckfestigkeit geprüft. Eine Auswahl von Ergebnissen ist in Abbildung 20 dargestellt.

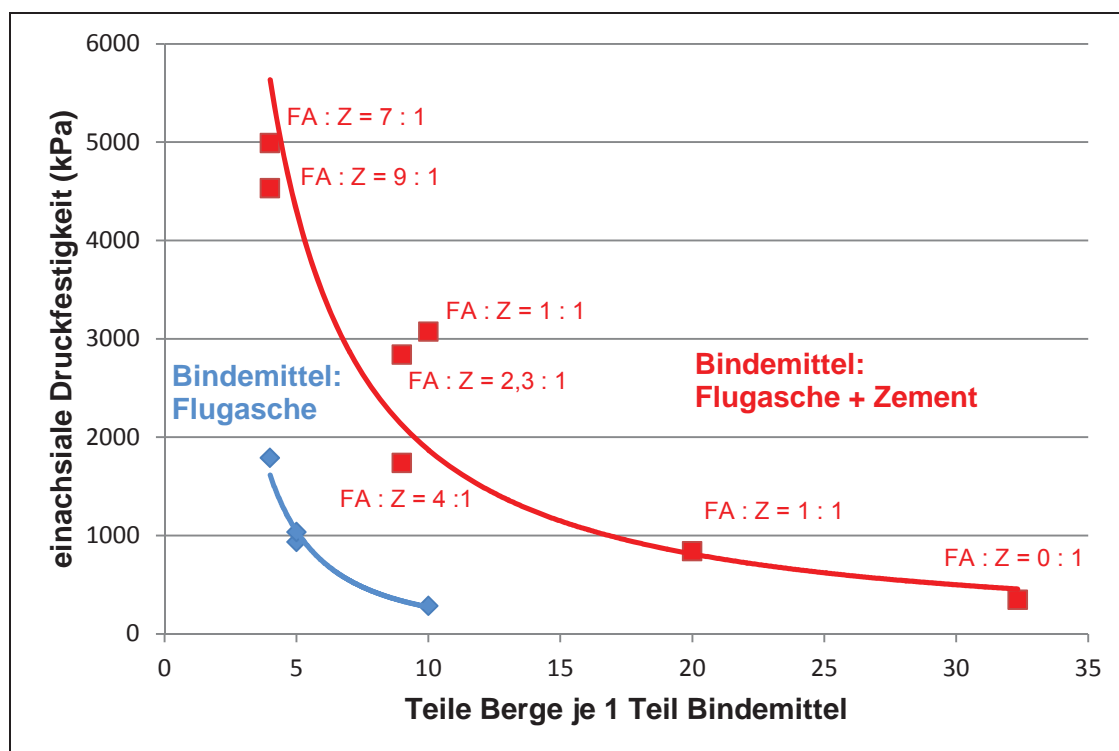


Abbildung 20: Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeit von der Versatzrezeptur

Es zeigt sich erwartungsgemäß eine starke Zunahme der Druckfestigkeit mit dem Bindemittelanteil. Weiterhin steigt die Festigkeit mit dem Zementanteil im Bindemittel.

Für den Fall, dass der eingebrachte Versatz als Dach für darunter erfolgende weitere Abbaubauarbeiten dienen soll, hatte sich aus der Recherche ein Mindestwert der einaxialen Druck-

festigkeit von 1.500 kPa (Bergwerke der SDAG Wismut im Raum Ronneburg, [30]) ergeben. Die Laborversuche zeigen, dass dieser Festigkeitswert mit den untersuchten Rezepturen erreicht wird.

Aus den angestellten Untersuchungen ergibt sich eine vorläufige optimale Rezeptur von
Berge : Flugasche : Zement = 45 : 4 : 1.

Die einaxiale Druckfestigkeit beträgt dabei 1.737 kPa.

Nach der damit nachgewiesenen geotechnischen, chemischen und ökologischen Eignung von Bergematerial und Abgängen der Magnetscheidung als Versatzmaterialien im Bergbau wurden Versuche zur Einbringung von Laugungsrückständen des Röstverfahrens zur Lithiumerzverarbeitung in die Versatzrezepturen durchgeführt.

Dazu wurden 500 g Laugungsrückstand nach dem aus der Literatur „bekannten Basenaustauschverfahren“ [32] mit K_2SO_4 als Aufschlussmittel hergestellt. Dieses Material wurde in verschiedenen Anteilen in die Versatzrezeptur eingebracht. Dabei zeigte sich eine deutliche Abnahme der Druckfestigkeit des Versatzmaterials bis unter den geforderten Wert von 1,5 MPa. Dies ist auf den beträchtlichen restlichen Sulfatgehalt der Laugungsrückstände zurückzuführen, der infolge Bildung von Ettringit die Festigkeit herabsetzt. Solche Versatzmaterialien sind nicht oder nur mit hohem Einsatz von Bindemitteln für den Einsatz in sensiblen Grubenbauen mit Arbeiten unter „künstlichem Dach“ geeignet. Sie können Bereichen mit geringeren Ansprüchen an die Druckfestigkeit eingesetzt werden:

- zum Versetzen von standsicheren Grubenbauen
- als Versatz für Grubenbaue in größeren Teufen

Zusammenfassend ist einzuschätzen, dass die Machbarkeit der Nutzung anfallender Reststoffe der Lithiumgewinnung gegeben ist.

II.6 Zusammenschau

Aus den angestellten Untersuchungen ergibt sich die Möglichkeit einer integrierten Lithiumgewinnung aus einheimischen Primärrohstoffen.

Der größte Anteil an der Lithiumgewinnung ist dabei aus den Festerzen zu erwarten:

- Festerze haben höhere Li-Gehalte
- Lagerstätten sind an wenigen Standorten konzentriert
- Konzentraterzeugung durch Zerkleinerung und Magnetscheidung ist technisch relativ einfach und erprobt

Abbildung 21 zeigt ein Fließschema eines solchen Prozesses.

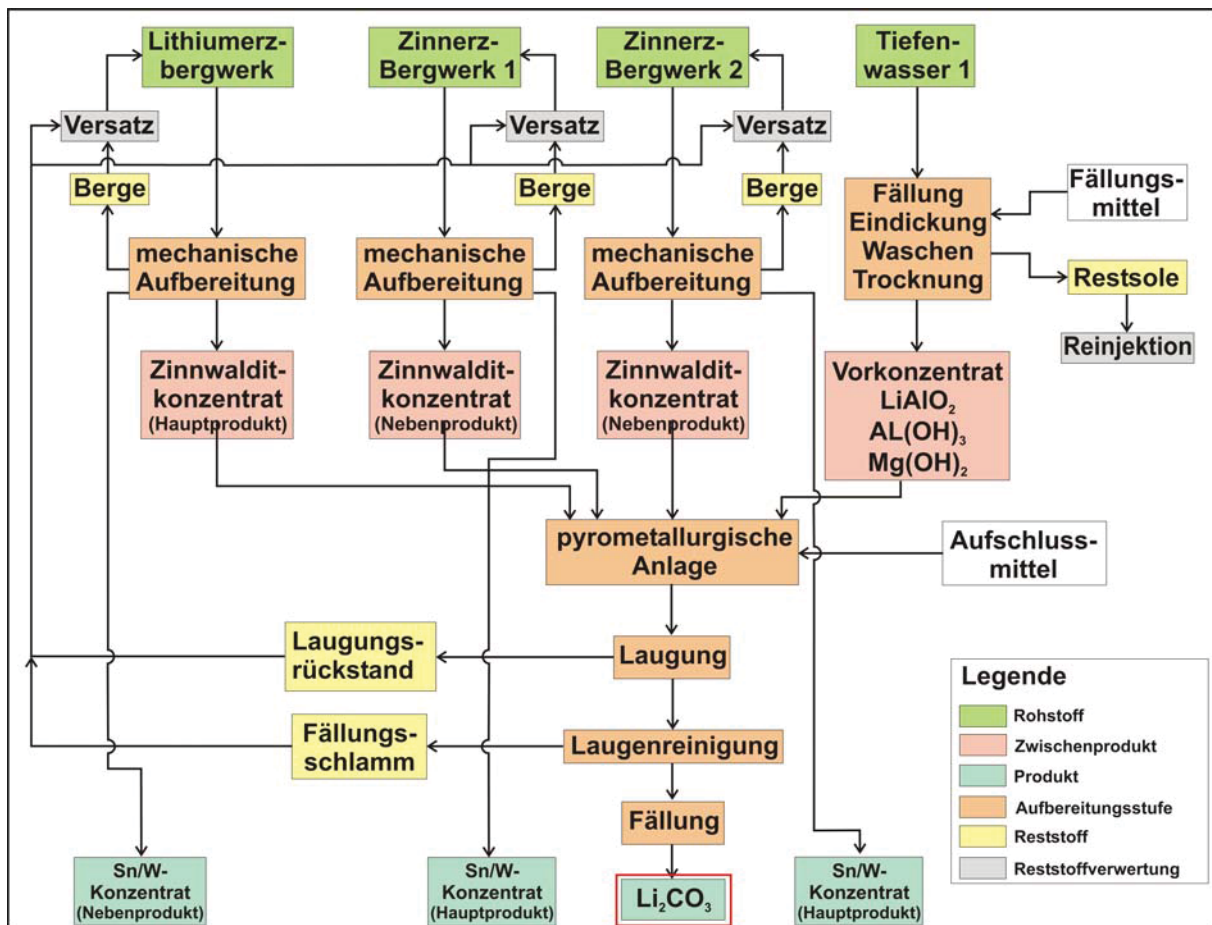


Abbildung 21: Fließschema einer integrierten Lithiumgewinnung aus einheimischen Primärrohstoffen

Rohstoffe

- Zinnwalditkonzentrate als Hauptprodukt des Lithiumbergbaus
- Zinnwalditkonzentrate als Nebenprodukt des Zinn/Wolfram-Bergbaus
- Vorkonzentrate der Verarbeitung von Tiefenwässern nach dem Fällungsverfahren

Darüber hinaus können auch weitere, zugekaufte Konzentrate, z.B. Lepidolitherze der Aufbereitung pegmatitischer Sn/W/Ta-Erze eingesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Erdmann, L.; Behrendt, S.; Feil, M. (2011): Kritische Rohstoffe für Deutschland - „Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte“, IZT und adelphi im Auftrag der KfW Bankengruppe, Berlin 2011
- [2] Bolduan, H. (1972): Die Zinnmineralisation im Erzgebirge – Typen und Verteilung. Geologie 21, 677-692, Berlin
- [3] Schilka, W. (1986): Zur Typisierung der Paragenesen osterzgebirgischer Lagerstätten unter besonderer Berücksichtigung der Altenberger Lagerstätte. Freiburger Forschungshefte C 413, 56-72, Leipzig
- [4] Bolduan, H.; Tischendorf, G. (1969): Zur Metallogenie und Prognose des Zinns im Erzgebirge. Teil I: Zur Metallogenie des Zinns im Erzgebirge. Teil II: Zur Prognose des Zinns im Erzgebirge. Bericht VEB Geologische Forschung und Erkundung Halle, BT Freiberg, unveröff.
- [5] Baumann, L.; Kuschka, E.; Seifert, T. (2000): Lagerstätten des Erzgebirges, Stuttgart 2000
- [6] Motock, G.T. (1946): Extraction and uses of Lithium in Germany. US Bureau of Mines, I.C. 7361
- [7] Anonym (1926-1933): Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen in Sachsen. Freiberg
- [8] Anonym (1939-1942): Bergwerksverzeichnis des Oberbergamts Freiberg 1939-1940, 1941-1942. Freiberg
- [9] Schulze, H. (1969): Zinnprognose Erzgebirge – Gebiet Osterzgebirge, Teilgebiet Altenberg – Zinnwald. VEB Geologische Forschung und Erkundung Halle, BT Freiberg, unveröff.
- [10] Grunewald, V. (1978): Metallogenie und Prognose Zinnwald. ZGI Berlin, unveröff. Bericht
- [11] Kühne, R. (1983): Erzfeld Dippoldiswalde-Altenberg, Rahmenprojekt Suche. VEB GFE Freiberg, unveröff.
- [12] Schmidt, M. (1977): Geologische, petrographische und geochemische Untersuchungen zur Charakterisierung des Mikrogranitganges zwischen Zinnwald und Altenberg. unveröff. Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg
- [13] Tischendorf, G. (1969): Die Dunkelglimmer der westerzgebirgisch-vogtländischen Granite und ihre Bedeutung als petrogenetische und metallogenetische Indikatoren. Geologie 18, 4
- [14] Winter, S. (1973): Abbau von Erzlagerstätten großer Mächtigkeit unter besonderer Berücksichtigung der Zinnerzlagerstätte Altenberg. Bergakademie Freiberg, unveröff.
- [15] Autorenkollektiv (1982): Geomechanische Stellungnahme zur Konzeption zur Fortführung des Festerzabbaues der Lagerstätte Altenberg vom 30.04.1982. Inst. f. Bergbausicherheit Leipzig, unveröff. Bericht

- [16] Bernhardt, H.; Matthes, H.; Bormann, U. (1993): Chronik des Betriebes Zinnerz Altenberg mit den Schachtanlagen Römerschacht, Arno-Lippmann-Schacht (Zentralschacht), Schacht 3, und den Aufbereitungsanlagen Schwarzwasser, Römer und Neue Aufbereitung 1945-1993
- [17] Weinhold, G.; Becker, M.; Bernhardt, H.; Kühn, M.; Siegert, J.(2002): Die Zinnerz-Lagerstätte Altenberg/Osterzgebirge. Bergbau in Sachsen Bd. 12, Freiberg
- [18] Čada, M. (1978): Šest set let dolování na Cínovci. Teplice
- [19] Hösel, G. (1994): Das Zinnerz-Lagerstättengebiet Ehrenfriedersdorf/Erzgebirge. Bergbau in Sachsen Bd. 1, Freiberg
- [20] Schilka, W. (2001): Technologische Aspekte der untertägigen Gewinnung geneigter Karbonathorizonte. Erzmetall 54, 3
- [21] Gaul, F. (2008): Abbauverfahren beim Wolfram-Bergbau Mittersill. BHM, 153, 8
- [22] Carlé, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa (Geologie, Chemismus, Genese), Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 643 S., 1975.
- [23] Holldorf, H., Kellner, T.; Ziegenbalg, G. (1992): Geochemische Charakterisierung geothermisch genutzter, hoch mineralisierter Schichtwässer und chemische Probleme ihrer Entsorgung und ihrer stofflichen Nutzung, In: Schulz, R.; Werner, R.; Ruhland, J.; Bußmann, W. (Hrsg.): Geothermische Energie, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe
- [24] Hoth, P.; Seibt, A.; Kellner, T.; Huenges, E. (1997): Geowissenschaftliche Bewertungsgrundlagen zur Nutzung hydrogeothermaler Ressourcen in Norddeutschland. Scientific Technical Report, 97/15, Geoforschungszentrum Potsdam
- [25] Hoth, P. (1997): Fazies und Diagenese von Präperm-Sedimenten der Geotraverse Harz-Rügen. Schriftenr. f. Geowiss. 4, 139 S., 1997.
- [26] Hösel, G.; Schmidt, M.; Zernke, B. (1990): Ergebnisbericht Zinn Falkenhain (Schenkenshöhe). unveröff. Bericht Geologische Landesuntersuchung GmbH, Freiberg 1990
- [27] Fall, M.; Celestin, J.C.; Pokharel, M.; Toure, M. (2010): A contribution to understanding the effects of curing temperature on the mechanical properties of mine cemented tailings backfill. Engineering Geology 114 (2010), 397–413
- [28] Fall, M.; Benzaazoua, M.; Saa, E.G. (2008): Mix proportioning of underground cemented tailings backfill. Tunnelling and Underground Space Technology 23 (2008), 80–90
- [29] Le Roux, K.; Bawden, W.F.; Grabinsky, M.F. (2005): Field properties of cemented paste backfill at the Golden Giant mine. Trans. Inst. Min. Metall. A 114 (2005) A65
- [30] Hagen, M.; Scheid, R. (Hrsg.) (1999): Chronik der Wismut. – Wismut GmbH 1999.
- [31] Samkova, R. (2009): Recovering lithium mica from the waste after mining Sn-W ores through the use of flotation. GeoScience Engineering, 55, 1
- [32] Schreiter, W. (1961): Seltene Metalle. Bd. 2, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1961

-
- [33] Tzschorn, G.; Kühne, R.; Hennig, D. (1976): Ergebnisbericht über Sucharbeiten auf Zinnerze im Raum Hegelshöhe-Schenkenshöhe bei Falkenhain (Osterzgebirge), unveröff. Bericht, GFE Halle
- [34] Besser, M.; Kühne, R. (1989): Zwischenbericht Zinn Altenberg, Teilgebiet Zinnwald. unveröff. Bericht, GFE Freiberg
- [35] Hösel, G.; Schmidt, M.; Zernke, B. (1990): Ergebnisbericht Zinn Falkenhain (Schenkenshöhe). unveröff. Bericht, GLU Freiberg
- [36] Mular, A.L.; Poulin, R. (1998): CAPCOSTS – A Handbook for estimating mining and mineral processing equipment costs. CIM Special Vol. 47, Montreal 1998
- [37] Hoth, P.; Seibt, A., Kellner, T. (1997). Geowissenschaftliche Bewertungsgrundlagen zur Nutzung hydrogeothermaler Ressourcen in Norddeutschland. Geothermie-Report 97-1, GFZ-Potsdam, STR97/15
- [38] Holldorf, H.; Kellner, T.; Ziegenbalg, G. (1992): Geochemische Charakterisierung geothermisch genutzter, hochmineralisierter Schichtwässer und chemische Probleme ihrer Entsorgung und ihrer stoffwirtschaftlichen Nutzung. In: Schulz, R., R. Werner, J. Ruhland und W. Bußmann, (Eds.), Geothermische Energie; Verlag C. F. Müller, Karlsruhe
- [39] Lüders, V.; Plessen, B.; Romer, R.L.; Weise, S.M.; Banks, D.A.; Dulski, P; Schettler, G.; Hoth, P. (2010): Chemistry and isotopic composition of Rotliegend and Upper Carboniferous formation waters from the North German Basin. Chemical Geology, Bd. 276
- [40] Kähler, J.; Bombka, H.-D. (2007): Machbarkeitsstudie zur Wasseraufbereitung in der Tailend-Phase der Gasförderung. DGMK-Forschungsbericht 629-1
- [41] Rasch, H.-J. (1982): Zusammenhänge zwischen geologischem Bau und Druck-/ Zuflussverteilung hochgespannter Schichtwässer im Zechsteinbecken zentraler Bereiche der Nordostdeutschen Senke. Dissertation, Bergakademie Freiberg, Freiberg
- [42] Baumbach, U. (1993): Beiträge zur Bilanzierung und Optimierung von Teilprozessen eines Verfahrens zur Wertstoffgewinnung aus Erdgasbegleitwässern auf der Basis von praxisorientierten Untersuchungen zu ausgewählten Fest-Flüssig-Lösungsgleichgewichten. Dissertation, Bergakademie Freiberg, Freiberg
- [43] Epstein, J.A.; Feist, E.M.; Zmora, J. (1981): Extraction of Lithium from the Dead Sea. Hydrometallurgy, 6
- [44] Yanagase, K.; Yoshinaga, T.; Kawano, K.; Matsuoka, T. (1983): The recovery of lithium from geothermal water in the Hatchobaru area of Kyushu, Japan. Bull. Chem. Soc. of Japan, 56(8)
- [45] Pauwels, H.; Brach, M.; Fouillac, C. (1990): Lithium recovery from geothermal waters of Cesano (Italy) and Cronembourg (Alsace, France). Proc. 12th New Zealand Geothermal Workshop, 1990
- [46] Huenges, E.; Wolfgramm, M. (Hrsg.) (2004): Sandsteine im In-situ-Geothermielabor Groß Schönebeck - Reservoircharakterisierung, Stimulation, Hydraulik und Nutzungskonzepte. Bericht GFZ-Potsdam, STR 04/03

-
- [47] Shrivastava, O.P., Komarneni, E. ; Breval, E. (1993): Synthesis, characterization and lithium selective ion-exchange properties of crystalline tin(IV) arsenate. *J. Material Science Letters*, 12 (1993)
- [48] Gabra, G.G.; Torma, A.E. (1978): Lithium chloride extraction by n-Butanol. *Hydro-metallurgy* 3 (1978)
- [49] Yoshizuka, K.; Fuku, K.; Inoue, K. (2002): Selective recovery of lithium from seawater using a novel MnO₂ type Adsorbent. *Ars Separatoria Acta* 1 (2002)
- [50] Kitajou; A., Suzuki, T.; Nishihama, S.; Yoshizuka, K. (2003): Selective recovery of lithium from seawater using a novel MnO₂ type Adsorbent. II – Enhancement of lithium ion selectivity of the adsorbent. *Ars Separatoria Acta* 2 (2003)
- [51] Nishihama, S.; Onishi, K.; Yoshizuka, K. (2011): Selective recovery process of lithium from seawater using integrated ion exchange methods. *Solvent Extraction and Ion Exchange* 29 (3)
- [52] Park, J.; Satoa, H.; Nishihama, S.; Yoshizuka, K. (2012): Lithium recovery from geothermal water by combined adsorption methods. *Solvent Extraction and Ion Exchange* 30 (4)
- [53] Fall, M.; Celestin, J.C.; Pokharel, M.; Toure, M. (2010): A contribution to understanding the effects of curing temperature on the mechanical properties of mine cemented tailings backfill. *Engineering Geology* 114 (2010), 397–413
- [54] Fall, M.; Benzaazoua, M.; Saa, E.G. (2008): Mix proportioning of underground cemented tailings backfill. *Tunnelling and Underground Space Technology* 23 (2008), 80–90
- [55] Le Roux, K.; Bawden, W.F.; Grabinsky, M.F. (2005): Field properties of cemented paste backfill at the Golden Giant mine. *Trans. Inst. Min. Metall. A* 114 (2005) A65