



Wärmeanlagen

Brennertechnik

Testanlagen

Tel. 0049 – 37322-52798-0
Fax. 0049 – 37322-52798-28
e-mail info@utf-bed.de
Internet utf-bed.de
USt.ID-Nr.DE 141135247
Steuer-Nr.220/121/00136

UTF GmbH Erzstrasse 15 D-09618 Brand-Erbisdorf

01.07.2013

Abschlussbericht

„Hybride Lithiumgewinnung“

Wachstumskern Potenzial – Verbundprojekt: Hybride Lithiumgewinnung

Teilprojekt 5: Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht

Förderkennzeichen: 03WKP18E
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2011 – 28.02.2013
Berichtszeitraum: 01.03.2011 – 28.02.2013

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03WKP18E gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



20131111 Abschlussbericht

Registergericht
Chemnitz
HRB 2064

Geschäftsführer
Dr.-Ing.
Claus Weigl
Sebastian Weigl

Bankverbindung:
VR-Bank Mittelsachsen e.G.
BLZ 86065468 Konto 106550026
BIC: GENODEF1DL1 IBAN: DE02860654680106550026

USt.ID-Nr.DE 141135247
Steuer-Nr.220/121/00136

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Aufgabenstellung	5
1.2	Voraussetzungen und Randbedingungen zu Projektbeginn	5
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Beginn des Forschungsvorhabens	7
1.4.1	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	7
1.4.2	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	7
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
2	Kurzdarstellung und Überblick	8
2.1	Darstellung der erzielten Ergebnisse mit Gegenüberstellung zu den vorgegebenen Zielen	8
2.2	Übersicht über den Zahlenmäßigen Nachweis	10
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	10
2.4	Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes	11
2.4.1	Nutzen der Ergebnisse	11
2.4.2	Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplanes	11
2.5	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	12
2.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	12
3	Erfolgskontrollbericht	13
3.1	Das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen	13
3.2	Fortschreibung des Verwertungsplanes	13
3.2.1	Schutzrechtsanmeldungen und weitere Verwertungsmöglichkeiten	13
3.2.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Transferstrategien	13
3.2.3	Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten mit dem Projektende	14
3.2.4	Zeithorizont für Umsetzungsphase	15

3.2.5	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit bzw. Definition notwendiger nächster Schritte	15
3.3	Nicht zum Ziel führende Arbeiten	17
3.4	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Anwender	19
3.5	Überblick über die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	19
4	"Kurzfassung" (Berichtsblatt) zu dem Zuwendungsbescheid	20
5	Berichte zum Abschluss der Arbeiten	21
5.1	Varianten der Li-Gewinnung aus Roherz.....	21
5.1.1	<i>Trockenmagnetscheidung mit Röstung GP 1.1</i>	22
5.1.2	<i>Trockenmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss GP 1.2</i>	23
5.1.3	<i>Nassmagnetscheidung mit Röstung GP 1.3</i>	24
5.1.4	<i>Nassmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss GP 1.4</i>	25
5.2	Grundlagen der Bilanzierung.....	26
5.2.1	Einführung in die Prozessdarstellung	26
5.2.2	Umsetzung am Beispiel Zerkleinerung	28
5.3	Bilanzierung Masseströme	30
5.3.1	Basisbilanzierung am Beispiel Trockene Aufbereitung mit Röstung	30
5.3.2	Einfluss von mehrstufigen Verfahren am Beispiel Trockene Aufbereitung mit Röstung	31
5.4	Bilanzierung Energieeinsatz	36
5.4.1	Grundlagen der Bewertung	36
5.4.2	Berechnungsgrundlagen am Beispiel Rösten.....	36
5.4.3	Normierung im Bilanzierungsprozess	37
5.4.4	Gegenüberstellung Röstprozess / Säure-Aufschluss.....	40
5.5	Ergebnisse der technischen und energetischen Bilanzierung.....	41
5.5.1	Allgemein Qualitative Gegenüberstellung.....	41
5.5.2	Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225	42
5.5.3	Analysen zum Variantenvergleich nach VDI DIN 225	46
5.6	Dimensionierung, Auslegung und Konstruktion von Technikumsreaktoren zum Aufschluss von gemahlenem Roherz.....	50
5.6.1	Reaktorentwurf für den Aufschluss von Roherzen mit Säuren.....	50
5.6.2	Quasikontinuierlicher Reaktor zum Aufschluss von Roherzen mit Säuren.....	53

5.6.3	Quasikontinuierlicher Reaktor zum Aufschluss von Roherzen mit Säuren unter hohem Druck und mit optionaler Nutzung von überkritischem Kohlendioxid	58
6	Zusammenfassung.....	62
6.1	Überblick über Meilensteine im Projekt.....	62
6.2	Allgemeine Betrachtung	62
7	Anlagen.....	64
7.1	Anlagen zum Fachbericht.....	64
7.1.1	Grundfließschemata: Trockenmagnetscheidung mit Röstung.....	64
7.1.2	Grundfließschemata: Trockenmagnetscheidung mit Säureaufschluss.....	65
7.1.3	Grundfließschemata: Nassmagnetscheidung mit Röstung	66
7.1.4	Grundfließschemata: Nassmagnetscheidung mit Säureaufschluss	67
7.1.5	Zusammenstellung: Trockenmagnetscheidung mit Röstung.....	68
7.1.6	Zusammenstellung: Trockenmagnetscheidung mit Säureaufschluss.....	69
7.1.7	Zusammenstellung: Nassmagnetscheidung mit Röstung	70
7.1.8	Zusammenstellung: Nassmagnetscheidung mit Säureaufschluss	71
7.1.9	Detailaufstellung: Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225	72
7.2	Übersicht Zeitplanung AP4 und Meilensteinplanung.....	73
7.3	Literatur.....	74
7.4	Abbildungsverzeichnis.....	75
7.5	Tabellenverzeichnis.....	77

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Das Projekt im Wachstumskern hat das Ziel der Gewinnung von Lithium als Lithiumcarbonat aus Gesteinserszen (wie das sächsische Zinnwaldit), aus Tiefenwässern und Recyclingkreisläufen (bspw. die Aufbereitung von Autoakkumulatoren, etc.).

Ziel der Arbeiten der UTF GmbH im Projekt „Wachstumskern Potenzial – Verbundprojekt: Hybride Lithiumgewinnung“ ist die Mitarbeit und Lösung der Fragen im Teilkomplex „Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht“.

Ziel ist hierbei vor allem – aufbauend auf die umfangreichen Erfahrungen im thermischen Anlagenbau – eine Beratung der Projektpartner um eine technische Umsetzung der hybriden Lithiumgewinnung zu ermöglichen.

1.2 Voraussetzungen und Randbedingungen zu Projektbeginn

Der Thermische Anlagenbau ist geprägt von einer großen Vielfalt an Produkten und Verfahrensarten. Die UTF GmbH hat sich auf den Bau und Inbetriebnahme von Sonderlösungen nach Kundenvorgabe spezialisiert.

Hierbei stehen vor allem anspruchsvollste Lösungen im Vordergrund. Ziel ist dabei nicht zwingend der alleinige Fokus auf Kosten und Betrieb, sondern die Herstellung von Anlagen die es ermöglichen neuartige Prozesse und Verfahren zu testen und grundlegende Betriebserfahrungen zusammen.

Mit diesem Profil konzipiert, fertigt und montiert die UTF GmbH vor allem kleintechnische Lösungen oder Demonstrationsanlagen für Forschung und Entwicklung. Deswegen sind die Anlagen gegebenenfalls etwas komfortabler, als es unbedingt notwendig wäre. Hintergrund ist, dass oft erst grundlegende Betriebserfahrungen gesammelt werden müssen, die in einer weiteren Projektphase zu modifizierten und optimierten Anlagen führen können. Diese erfüllen dann im Wesentlichen nur noch die für den Betrieb unbedingt notwendigen Parameter und sind dafür dann aber optimiert hinsichtlich Kosten und Ressourceneffizienz.

Die UTF GmbH hat Erfahrungen Konstruieren und In Betrieb setzen von thermischen Hochdruckreaktoren (100 bar bei 800 °C), Trocknungsprozesse (Batch-Reaktoren bzw.

Durchlauföfen) und verschiedenen direkten und indirekten Feuerungsarten (fossile Brennstoffe). Bei jeder Anlagenart werden dabei verschiedenste Werkstoffe eingesetzt. Neben Hochtemperaturstählen sind das korrosionsbeständige Materialien und Edelstähle für den Druckbehälterbau. Die Komplettierung der Reaktoren erfolgt mit den entsprechenden Armaturen, Messeinrichtungen und Sicherheitselementen. Die Prozesse in den Einheiten werden dann mit einer Steuerung geregelt und überwacht.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Bearbeitung des Projektes gliedert sich in die Hauptabschnitte:

- Energiebilanzierung von Prozessschritten und deren Integration
 - Masse- und Energiebilanz
 - Annahme von nicht verfügbaren Daten
 - Aussagen bezüglich Hybridisierung der Prozesse
- Konzeptstudien zu technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht
 - Kurz- bzw. mittelfristig realisierbare Anlagen
 - Was ist technisch zwar möglich aber verfahrenstechnisch nicht sinnvoll?
- Abschätzung von Anlagenkosten für Technikumsanlagen
 - Preisschätzung für Hauptkomponenten
 - Auswahl von Materialien hinsichtlich Preis und Verfügbarkeit

Für die Bilanzierung werden Kreisprozesse gerechnet und Variantenvergleiche angestellt. Dabei wird geprüft, wie sich verschiedene Prozessschritte stofflich und energetisch sinnvoll verbinden lassen.

Auf Grundlage dieser Berechnungen und Bilanzierungen werden Dimensionierungen, Konstruktionsentwürfe und deren Kostenabschätzungen erstellt.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Beginn des Forschungsvorhabens

1.4.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Für die Bilanzierung der Gesamtprozesskette der jeweiligen Prozesse ist unter anderem das Verfahren der VDI-Richtlinie 3460 „Emissionsminderung – Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung“ angewendet wurden. Die darin beschriebenen Bilanzierungskriterien sind allgemein auch auf andere Prozesse übertragbar.

Für die Werkstoffauswahl und Behälterkonstruktion wird unter anderem die VDI-Richtlinie 2225 „Konstruktionsmethodik / Technisch-wirtschaftliches Konstruieren / Technisch-wirtschaftliche Bewertung“ verwendet.

1.4.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Eine sortierte Auswahl der verwendeten Literatur ist am Ende des fachlichen Teils verzeichnet.

Informations- und Dokumentationsdienste sind nicht in Anspruch genommen wurden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit im Projekt Wachstumskern Potenzial – Verbundprojekt: Hybride Lithiumgewinnung (Teilprojekt 5: Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht; Förderkennzeichen: 03WKP18E) ist mit den im Antrag benannten Partner erfolgt. Dazu sind regelmäßig Arbeitsgruppen und Projekttreffen erfolgt.

Aufträge an zusätzliche Forschungseinrichtungen, externe Gutachter bzw. Fremde Gesellschaften wurden durch die UTF GmbH nicht vergeben.

2 Kurzdarstellung und Überblick

2.1 Darstellung der erzielten Ergebnisse mit Gegenüberstellung zu den vorgegebenen Zielen

Im Antrag sind für die UTF GmbH als wesentliche Ziele die folgenden Punkte aufgeführt:

- Konzeptstudie „Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht“
- Energiebilanzierung und Integration.

Im Folgenden erfolgt eine kurze Aufstellung der Ergebnisse.

Konzeptstudie – Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht

Für die Umsetzung einer kleintechnischen Lösung „Hybride Lithiumgewinnung“ (Technikumsmaßstab) ist eine Konzeptstudie zur Umsetzung der chemischen und hydrometallurgischen Verfahren entstanden. In dieser Studie wird ergebnisoffen auf Basis verschiedenster möglicher Reaktortypen und Prozessketten eine technische Umsetzung überprüft

Hierbei wurde im Detail auch die Machbarkeit einer großtechnischen Umsetzung überprüft und berücksichtigt. Nicht jede kleintechnische Lösung lässt sich auch im industriellen Maßstab umsetzen. Dabei sind Verfahren entstanden, in denen alle Teilschritte in der Prozesskette so gestaltet sind, dass ein quasi kontinuierlicher Betrieb der Anlage möglich ist.

Energiebilanzierung und Integration

Die Energiebilanz ermöglicht die Bewertung von anfallenden Potentialen bzw. Enthalpieströmen bei verschiedenen Prozessen. Anhand der Schaltung der Prozesse und der Abschätzung konstruktiver Randbedingungen ist eine energetische Bilanzierung erfolgt.

Darauf aufbauend ist eine Integration der Prozessketten erfolgt und die Einbindung peripherer Stoffströme – in dem Fall als Hybridisierung. Es hat sich gezeigt, dass Abwärme aus Hochtemperaturprozesse (z.B. Rösten) sinnvoll in Prozessen der Laugung eingebunden werden kann. Dadurch lässt sich nun der Einsatz von Primärenergieträgern reduzieren. Dadurch werden ein nachhaltiger Ressourceneinsatz und eine damit verbundene Effizienzsteigerung erreicht.

Wie im Antrag beschrieben sind auch ökologische Randbedingungen berücksichtigt. Es sind Verfahren entwickelt wurden, die nach derzeitigem Stand genehmigungsfähig in der Europäischen Union sind. Hierbei muss allerdings für den exakten Standort eine Anpassung erfolgen.

Ziel war es die Prozessabschnitte des Aufschlusses so zu modifizieren, dass sich daraus mögliche Technikumsreaktoren ergeben:

- Thermischer Aufschluss des Mineralgemisches im Drehrohrföfen
- Druckloser nass-chemischer Aufschluss der Li-haltigen Mineralgemisches
- Chemischer Aufschluss der Li-haltigen Mineralgemisches unter hohem Druck mit der optionalen Nutzung von Kohlendioxid als Aufschlussmittel

Für jeden möglichen Technikumsreaktor wurden folgende Teilschritte bearbeitet:

- Definition des Untersuchungsgegenstandes und Auswahl der Messtechnik
- Anlagenfließschema
- Auslegung der Hauptkomponenten
- Materialauswahl
- Kostenabschätzung

Diese Punkte wurden bearbeitet und werden jeweils dargestellt.

Im Projektverlauf ist eine marginale Anpassung der Verwertungsplanung erfolgt. Ziel war es dabei aus mehreren möglichen Prozessketten die 3 Konzepte für die Planung von Teilkomponenten von 3 Pilotanlagen entstehen zu lassen. Dieses Ziel ist erreicht. Damit liegen die zu erwartenden Folgeaufgaben und Verwertungschancen für die UTF GmbH in ähnlichem Umfang wie im ursprünglichen Antrag.

2.2 Übersicht über den Zahlenmäßigen Nachweis

Die Mittel der Zuwendung wurden entsprechend den Vorgaben verwendet.

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind im Anhang verzeichnet. In Absprache mit dem Fördermittelgeber hat sich im Zusammenhang mit der Projektabwicklung eine Reduzierung des Finanzrahmens ergeben.

Diese Anpassung des Finanzbedarfes ist mit einem neuen Zuwendungsbescheid vom 05.12.2012 (KZ 810302378318) und einer Modifizierung der Arbeitsziele erfolgt. Diese sind im Zeitplan im Anhang aufgeführt.

Der zahlenmäßige Nachweis basiert auf Grundlage der am 05.12.2012 im Kürzungsbescheid genehmigten Budgets.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Wie im Antrag beschrieben ist, wurde die Hauptarbeit im Bereich Berechnung, Recherche und Konstruktion geleistet. Die dabei geplanten Methoden der Berechnung mit Tabellenkalkulationsprogrammen, Literaturbeschaffung über Internet und Bibliotheken und Arbeit mit verfügbaren Konstruktionsprogrammen (z. B. Inventor 3D) haben sich als sinnvoll und zielführend erwiesen.

Als nicht notwendig haben sich die geplanten Messebesuche und Besuche bei Herstellern von Spezialmaterialien gezeigt. Diese Fahrten haben nicht stattgefunden. Vergleichbare Erkenntnisse konnten auch durch alternative Recherchemethoden gesammelt werden.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

2.4.1 Nutzen der Ergebnisse

Die Ergebnisse können wie im Antrag beschrieben genutzt werden. Es sind Grundlegende Erkenntnisse zur Gestaltung möglicher Prozesse entstanden. Mit diesem Wissen existieren nun vier Konzepte für das Umsetzen von vier verschiedenen Technikumsanlagen.

Wesentlich ist die Erkenntnis, dass mindestens vier gleichberechtigte Prozesse möglich sind, wobei je nach unterschiedlichen Randbedingungen ein Prozess favorisiert werden kann.

Mit den Ergebnissen kann nun relativ schnell, ein funktionierender Prozess reif für eine Technikumsanlage so umgesetzt werden, dass eine kleintechnische Anwendung möglich ist. Hierbei ist derzeit nur eine Festlegung auf eine bestimmte Aufbereitungsqualität notwendig.

2.4.2 Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplanes

Der Verwertungsplan sieht vor, dass zum Ende des Projektes Konzepte vorhanden sind, mit denen eine unmittelbare Umsetzung möglich ist. Dieses Ziel ist erreicht. Für verschiedene Erze und Lithium Rohqualitäten können jetzt Technikumsanlagen erstellt werden.

Für die UTF GmbH und das Projektteam konnten in diesem Bereich vorhandenes Wissen vertieft werden. Zusätzliche Erkenntnisse setzen die Projektpartner in die Lage den Prozess umfassend technisch zu realisieren.

Damit besteht theoretisch die Möglichkeit einen Technologietransfer durch zu führen. Hier erfolgt die Verknüpfung von akademischem Wissen mit Erfahrungen aus dem Anlagenbau.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es wurden ständig Entwicklungen auf dem Gebiet der Werkstoffwissenschaft, der Materialverfügbarkeit und gesetzlich technischer Randbedingungen im Rahmen der Arbeitsgruppentreffen des Projektes erörtert.

Daraus resultierende Erkenntnisse sind in die entsprechenden Sachverhalte eingeflossen.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Es erfolgten diverse Veröffentlichungen der Ergebnisse im Rahmen des Projektes in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Partnern.

Eine Liste der Veröffentlichungen ist Bestandteil des Abschlussberichtes der TU Bergakademie Freiberg in diesem Projekt (Förderkennzeichen 03WKP18E).

3 Erfolgskontrollbericht

3.1 Das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Im Rahmen des Projektes hat sich gezeigt, dass die Lithium-Gewinnung aus Zinnwaldit grundlegend möglich ist.

3.2 Fortschreibung des Verwertungsplanes

3.2.1 Schutzrechtsanmeldungen und weitere Verwertungsmöglichkeiten

Im Rahmen des Projektes sind keine Schutzrechtsanmeldungen erfolgt. Darüber hinaus ist auch nicht geplant, Erkenntnisse schützen zu lassen.

Wie im Antrag beschrieben steht die Hauptverwertungsoption in einer Umsetzung einer Technikumlösung. Hierbei vor allem die Fertigung und Inbetriebnahme der Reaktoren um eine technische Machbarkeit mit hoher Sicherheit zu verifizieren.

3.2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Transferstrategien

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten haben sich im Projektverlauf nicht verändert. Es ist weiterhin davon aus zu gehen, dass am Standort Deutschland eine teilweise Unabhängigkeit der Gewinnung seltener Erden von hoher Bedeutung ist. Hier ist die Ressourcenschonende Verwendung des Lithiums ein bedeutender Baustein.

Der Zeitraum für so eine Umsetzung ist weiterhin als kurz zu betrachten, da mit steigender Nachfrage und

Als Umsetzungs- und Transferstrategien ist weiterhin eine Anpassung an regionale Aspekte relevant. Es wird beim Transfer von theoretischen Erkenntnissen wesentlich auf geografische, geologische und genehmigungsrechtliche Fragen ankommen. Dabei kann unter Umständen auch ein Verfahren in den Fokus kommen, welches derzeit als weniger

favorisiert betrachtet wird. Ursache ist hierbei die Variation der Randbedingungen, die in dem begrenzten Rahmen des Forschungsvorhabens nicht umfassen betrachtet werden kann.

3.2.3 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten mit dem Projektende

Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten für die Umsetzung der konzipierten Technikumsanlagen sind positiv. Die Anlagen sind so entworfen, dass eine vielfältige Forschung möglich ist. Es ist ein einfacher Wechsel von Einsatzstoffen und Betriebsparametern möglich. Somit können die im Labormaßstab im abgeschlossenen Projekt gesammelten Erkenntnisse, gut und einfach auf einen kleintechnischen Maßstab erprobt und dann für eine weitere Skalierung validiert werden. Der dazu notwendige Aufwand ist sehr gut abschätzbar in Verbindung mit den zu erwartenden wissenschaftlichen Ergebnissen.

Die technischen Erfolgsaussichten sind im Allgemeinen als sehr gut ein zu schätzen. Dabei sind die Verfahren der thermischen drucklosen Aufbereitung im Allgemeinen technisch unkritischer. Es kann auf eine Reihe vorhandener bzw. gut erstellbarer Anlagen zurückgegriffen werden, bei denen weitestgehend Standardkomponenten verwendet werden können.

Differenzierter ist die Situation beim Aufschluss der zerkleinerten Erze mit Säure. Hierbei ist ein druckloser Aufschluss kleintechnisch gut umsetzbar und kann in einer Technikumsanlage vielseitig abgebildet werden. Bei der druckaufgeladenen Trennung kann es unter Umständen zu Einschränkungen kommen. Hierbei ist vor allem die Druckstufung für die Reaktionsbehälter eine Grenze, die vor der finalen Umsetzung eingehend geprüft werden muss. Eine Erhöhung der Druckstufe ist meist im Nachgang nicht mehr möglich, da es sich um abnahmepflichtige Behälter und Apparaturen handelt.

3.2.4 Zeithorizont für Umsetzungsphase

Die Nutzung der Ergebnisse für öffentliche Aufgaben ist jederzeit möglich. Allerdings ist eine Implementation in Datenbanken, Netzwerke oder Transferstellen nicht geplant, da jegliche konkrete Umsetzung vom Einzelfall her neu bewertet werden wird.

Somit ist kein Zeithorizont für diese Nutzungsart absehbar.

Eine Umsetzungsphase war im Projektzeitraum nicht geplant.

3.2.5 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit bzw. Definition notwendiger nächster Schritte

Die Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ist möglich. Es haben sich in unserem Arbeitspaket keine KO-Kriterien ergeben, die einen vollständigen Abbruch der Arbeiten auf diesem Forschungsfeld rechtfertigen würden.

Der Bau von Technikumsanlagen und deren Optimierung für die Transferfähigkeit in Großtechnische Anwendungen ist ein logischer Schritt aus den Ergebnissen der Arbeiten.

Als nächste Schritte bzw. Richtungen schlagen wir folgende Arbeiten bzw. notwendige Entscheidungen vor.

Lagerstättenauswahl

Mit der Lagerstättenauswahl für eine Ausbeutung zum Betreiben einer Technikumsanlage wird die Qualität des Rohstoffs maßgeblich beeinflusst. Damit lässt sich eine Grundvariante für eine mögliche Technikumsanlage auswählen. Weiterhin ist für die betriebswirtschaftliche Analyse das Rechnen der Transportwege mit maßgeblich.

Produktionsstandort

Der mögliche Produktionsstandort wird entscheiden, wie das Energiemanagement aussehen kann. Welche Primärenergieträger stehen am Standort zur Verfügung. Wie kann ich

Abwärme energetisch gut und vielleicht sogar monetär günstig in andere Prozesse einbinden. Wie kann ich anfallende Abwässer behandeln bzw. entsorgen. Welche für den Standort spezifischen Anforderungen werden für den Betrieb einer Technikumsanlage gestellt. Da ist im Besonderen auf den Grad der Abgasbehandlung und den Lärmschutz zu verweisen.

Produktqualität

Es hat sich gezeigt, dass je nach Produktionsvariante ein unterschiedlicher Grad an Lithium-Reinheit erreicht werden kann. Es ist aber notwendig hier eine maximale Grenze zu setzen um den apparativen Aufwand zu minimieren.

Es sind aber auch innovative Schritte in der weiteren Planung möglich.

- Besteht die Möglichkeit für den hybriden Weg lithiumhaltige Tiefenwässer am Standort zu bekommen?
- Können Stoffströme aus der Li-Ionen Akkumulatoren Sammelschiene vor Ort gebündelt und integriert werden.
- Besteht die Chance günstig und in ausreichenden Mengen überkritisches Kohlendioxid zu erhalten?

3.3 Nicht zum Ziel führende Arbeiten

Im Rahmen der Projektbearbeitung hat sich auch eine Reihe an geplanten Fragestellungen als nicht lösbar bzw. mit nicht erreichbarer Zielstellung erwiesen.

Preisschätzung für Gesamtprozess

Im Ursprünglichen Konzept war geplant, eine Kostenschätzung des Gesamtprozesses auf Grundlage umfassender Anlagenkonzepte zu erstellen. Hier hat sich gezeigt, dass die zu erwartenden Abweichungen der Kostenschätzung zu unsicher sind.

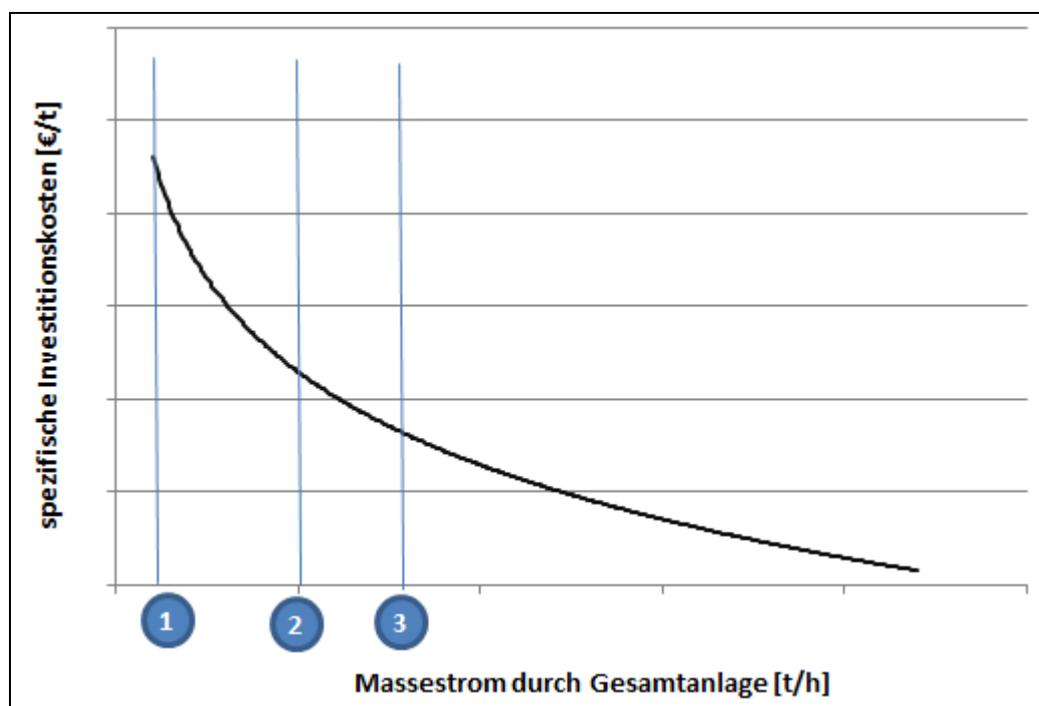


Abbildung 3-1 Schematische Darstellung von spezifischen Investitionskosten für Anlagen

In der Grafik ist schematisch dargestellt, wie sich die spezifischen Investitionskosten mit Erhöhung des Durchsatzes reduzieren. Anlagen haben je nach Prozess immer eine Mindestgröße. Zwischen Wert 1 und Wert 2 sind es beispielsweise Kleinanlagen, die man für Universitäre Zwecke, zum Beispiel im Labor, nutzen kann.

Kosten für eine Technikumsanlagen sind dann zwischen Punkt 2 und 3 angesiedelt. Ab einer Durchsatzmenge die durch Punkt 3 gekennzeichnet ist, können diese Prozessketten als großtechnische Anwendungen bezeichnet werden.

Im Rahmen der Projektbearbeitung hat sich gezeigt, dass wegen der zu vielen Randbedingungen eine sinnvolle Abschätzung nicht möglich ist. Hier ist es sinnvoll in einer realen zu erwartenden Umsetzung die dann aktuellen Kosten zu bewerten und deren Optimierung in den Fokus zu setzen.

Energetische Bilanzierung mit ortsunabhängiger Lösung

Ein ähnliches Problem mit nicht abzuschätzenden Unsicherheiten hat sich bei der energetischen Optimierung gezeigt.

Bei den thermischen Prozessen kann Abwärme als Gewinn oder Verlust betrachtet werden. Je nach Nutzung der Exergieströme. Hierbei ist es notwendig je nach regionaler Gegebenheit eine Nutzung der freien Exergieströme zu bewerten. Dabei kann Abwärme aus einem Trocknungsprozess durchaus noch für Heizzwecke eingesetzt werden, beispielsweise in kommunalen Einrichtungen oder als Fernwärme. Das ist ein Beispiel für Niedertemperaturwärme.

Die Abwärme aus einem Röstprozess zum Beispiel ist geeignet um in einem Dampfkreisprozess Strom oder Prozessdampf zu erzeugen, der in einem Industriepark weiter genutzt werden kann. Weiterhin ist die Nutzung von Hochtemperaturwärme für ORC Prozesse geeignet.

Es ist bei Niedertemperaturwärme bzw. Hochtemperaturwärme immer notwendig, dass ich vor Ort eine geeignete Abnahme der „Wärmeart“ realisieren kann. Es kann auf dem Papier optimiert werden bis zum theoretischen Optimum – wenn ich jenseits jeglicher Verbraucher bin, kann ich diese Werte nur als Verlust betrachten.

Damit diese Unsicherheiten nicht zu falschen Ergebnissen führen, wurde der Entschluss gefasst, die energetische Optimierung nur für nachvollziehbare Teilprozesse – zum Beispiel bei einer autarken Technikumsanlage zu betrachten.

Als Ergebnis dieser Erkenntnisse ist bereits im Projektverlauf eine Anpassung der Arbeitsziele und Arbeitspakete erfolgt. Diese sind dann im modifizierten Zuwendungsbescheid vom 05.12.2012 berücksichtigt.

3.4 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Anwender

Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt in Kooperation mit der gesamten Projektgruppe. Dabei steht die Einordnung der Ergebnisse der UTF GmbH in den Gesamtrahmen des Projektes im Vordergrund.

Eine alleinige Präsentation der Ergebnisse ohne die Einbindung der Projektpartner ist derzeit nicht geplant.

3.5 Überblick über die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Ein Überblick über die Ausgaben ist im Anhang angefügt. Es ist zu vermerken, dass im Rahmen der Anpassung der Arbeit eine Aktualisierung des Kostenplanes erfolgt ist.

Die hier aufgeführten Daten sind somit nicht vergleichbar mit dem Basisantrag und Zuwendungsbescheid vom 01.02.2011.

4 "Kurzfassung" (Berichtsblatt) zu dem Zuwendungsbescheid

Entsprechend den beigefügten "Hinweisen zur Ausfüllung des Berichtsblattes" wird eine Kurzfassung vorgelegt. Diese wird getrennt eingereicht und ist nicht Bestandteil des Berichtes.

5 Berichte zum Abschluss der Arbeiten

Für die Vorbereitung der Anlagenkonzeption müssen verschiedene Randbedingungen festgelegt werden.

Für die Vorkonzeption werden sämtliche Transportwege nicht betrachtet. Das Ziel ist ein Standort unabhängiges Konzept zu entwickeln, welches primär das theoretische Potential darstellt.

Weiterhin ist für die Dimensionierung der Prozesskette ein Ausgangsmassenstrom von 100 Tonnen Roherz pro Stunde zu Grunde gelegt. Dieser Wert kann später abweichen, aber liefert eine Vernünftige Größenordnung, die für die Auswahl von einzelnen Prozessstufen und deren Komponenten notwendig ist.

Generell sind unterschiedlichste Teilschritte in jedem Verfahren möglich, somit gibt es Beispielsweise bei den Zerkleinerungsverfahren unüberschaubar viele Möglichkeiten, einige seien genannt, wie Kugelmühlen, Glattwalzenmühlen, Kegelbrecher, Walzenbrecher, Prallbrecher, etc. Es ist unrealistisch jede Zerkleinerungsart in jedem Teilschritt zu Betrachten. Aufgrund von Erfahrungen und Recherchen sind in Absprache mit den Projektpartnern gezielt geeignete Verfahren im Fokus der Untersuchung.

In Kurzzusammenfassung heißt das:

- Keine Berücksichtigung der Transportaufwendungen
- Festlegung auf einen möglichen Massenstrom
- Reduzierung möglicher Verfahrensarten

Somit lassen sich verschiedene Teilprozesse definieren, auslegen und berechnen.

5.1 Varianten der Li-Gewinnung aus Roherz

Im Wesentlichen sind 2 verschiedene Wege der Li-Gewinnung untersucht und bilanziert wurden.

Der erste Weg ist das chemische Verfahren als Aufschluss des Lithium mit verschiedenen Säuren. Dem vorgeschaltet ist eine umfangreiche Zerkleinerung und Abscheidung die sowohl trocken als nass durchgeführt werden kann.

Der zweite Weg sind die pyrometallurgischen Verfahren. Die aufbereiteten Partikel können entweder in einem Drehrohrofen geröstet oder in einem Kammerofen geschmolzen werden.

Auch für den pyrometallurgischen Weg sind verschiedene Zerkleinerungs- und Abscheideprozesse möglich, die wiederum trocken oder nass ausgeführt werden können.

Daraus ergeben sich 4 Hauptverfahren für die Untersuchungen zur kleintechnischen bzw. großtechnischen Umsetzung.

- Trockenmagnetscheidung mit Röstung GP 1.1
- Trockenmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss GP 1.2
- Nassmagnetscheidung mit Röstung GP 1.3
- Nassmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss GP 1.4

Die Verfahrensschritte sind so gewählt, dass eine kleintechnische Umsetzung der Prozesskette möglich ist, aber in Teilschritten nur diskontinuierlich ausgeführt werden kann.

In den folgenden Ausführungen werden die 4 Teilverfahren erklärt und die wesentlichen Hauptabläufe beschrieben.

5.1.1 Trockenmagnetscheidung mit Röstung GP 1.1

Ein Verfahren mit Möglichkeiten der trockenen Aufbereitung und des thermischen Aufschlusses ist die Trockenmagnetscheidung mit Röstung. Dieses Verfahren bietet die Option der Wärmerückgewinnung.

Die Gesamte Verfahrenskette gliedert sich in folgende Einzelschritte:

- Vorzerkleinerung
- Trockenmagnetscheidung
- Röstung
- Zerkleinerung
- Laugung
- Filtration
- Chemische Aufbereitung

Das Verfahren der Trockenmagnetscheidung benötigt eine ausreichende Vorzerkleinerung des Erzes. Dabei sollen magnetische Bestandteile aus dem Mineralgemisch ausgeschleust werden.

Im Röstprozess wird das Materialgemisch thermisch Aufgeschlossen. Der thermische Aufschluss ist Grundlage für die nachfolgenden Zerkleinerung und Laugung. Dieser Aufschluss erfolgt etwa bei einer Temperatur zwischen 800 °C und 1000 °C. Die Qualität des Aufschlusses kann verbessert werden, in dem zusätzlich Salze (z.B. Alkalisalze etc.) zugefügt werden. Diese Alkalisalze können später wieder aus den Prozesskreislauf aus geschleust und teilweise wiederverwendet werden.

Nach Filtrationsschritten können die in der Flüssigphase verbliebenen Lithiumbestandteile chemisch gebunden und ausgetragen werden. Es entsteht als Produkt das weiße Pulver Lithiumcarbonat Li_2CO_3 .

5.1.2 Trockenmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss GP 1.2

Die trockene Aufbereitung und der Aufschluss mit Säuren ist ein Verfahren mit höherem apparativem Aufwand.

Die Gesamte Verfahrenskette gliedert sich in folgende Einzelschritte:

- Vorzerkleinerung
- Trockenmagnetscheidung
- Aufschluss mit Säure
- Laugung
- Filtration
- Fällung
- Chemische Aufbereitung

Ähnlich dem Verfahren mit thermischem Aufschluss wird das Material vorzerkleinert und in einem Magnetscheider gesichtet. Der Aufschluss erfolgt hierbei aber mit einem Hochdruck-Säure-Aufschluss bei leicht erhöhten Temperaturen. Die 150 °C stellen im Vergleich zu den möglichen 150 bar Druck das geringere Problem dar.

Für den Aufschlussreaktor ist der Einsatz von Sonderwerkstoffen für den Druckbehälterbau nach AD2000 (EG-Richtlinie 97/23/EG) vor zu sehen.

5.1.3 Nassmagnetscheidung mit Röstung

GP 1.3

Die Nassmagnetscheidung mit Röstung ist ein Verfahren mit nasser Aufbereitung und thermischen Aufschluss. Auch dieses Verfahren bietet die Option der Wärmerückgewinnung. Die Gesamte Verfahrenskette gliedert sich in folgende Einzelschritte:

- Vorzerkleinerung
- Nassmahlung
- Nassmagnetscheidung
- Röstung
- Zerkleinerung
- Laugung
- Filtration
- Chemische Aufbereitung

Auch bei diesem Verfahren der Magnetscheidung wird eine ausreichende Vorzerkleinerung des Erzes benötigt. Die magnetischen Bestandteile im Mineralgemisch werden mit einem feuchten Verfahren ausgeschleust.

Im Röstprozess wird das Materialgemisch thermisch Aufgeschlossen. Dabei muss natürlich zusätzlich noch das Prozesswasser aus dem Materialfluss ausgetrocknet und verdampft werden. Dieses kann sehr gut mit Abwärme aus dem Röstprozess erfolgen.

Der thermische Aufschluss ist Grundlage für die nachfolgenden Zerkleinerung und Laugung. Dieser Aufschluss erfolgt etwa bei einer Temperatur zwischen 800 °C und 1000 °C. Die Qualität des Aufschlusses kann verbessert werden, in dem zusätzliche Alkalisalze zugefügt werden. Diese Alkalisalze können später wieder aus den Prozesskreislauf aus geschleust und teilweise wiederverwendet werden.

Nach Filtrationsschritten können die in der Flüssigphase verbliebenen Lithiumbestandteile chemisch gebunden und ausgetragen werden. Es entsteht als Produkt das Lithiumcarbonat Li_2CO_3 .

Hierbei sind erhebliche Mehraufwendungen für das Prozesswasser-Management zu erwarten. Allerdings sind die Probleme mit Staub geringer, da dieser immer im Prozesswasser gebunden werden kann.

Die Feuchten Berge (Abfall aus Nassmagnetscheidung) müssen aufwendiger für die Deponierung vorbereitet werden, damit nicht zusätzliche Wasserbelastungen in der Deponie auftreten.

5.1.4 Nassmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss GP 1.4

Die nasse mechanische Aufbereitung und der Aufschluss mit Säuren ist wiederum ein Verfahren mit erhöhtem apparativem Aufwand.

Die Gesamte Verfahrenskette gliedert sich in folgende Einzelschritte:

- Vorzerkleinerung
- Nassmahlung
- Nassmagnetscheidung
- Aufschluss mit Säure
- Laugung
- Filtration
- Fällung
- Chemische Aufbereitung

Nach der Vorzerkleinerung und Aufmahlung wird das Material in einem Magnetscheider getrennt. Der Aufschluss erfolgt hierbei aber mit einem Hochdruck-Säure-Aufschluss bei leicht erhöhten Temperaturen.

Für den Aufschlussreaktor ist der Einsatz von Sonderwerkstoffen für den Druckbehälterbau nach AD2000 (EG-Richtlinie 97/23/EG) vor zu sehen.

Nachteilig ist definitiv, dass für hohe Säurekonzentrationen im Aufschlussreaktor das Wasser nach der Magnetscheidung aufwendig getrocknet werden muss. Ist nur der Einsatz einer verdünnten Säure notwendig, kann das Material feucht weiterverarbeitet werden.

Für die Trocknungsprozesse nach dem Mahlvorgang ist wenig Abwärme aus anderen Prozessschritten vorhanden. Es ist kein erheblicher Gewinn aus Wärmerückgewinnung zu erwarten.

5.2 Grundlagen der Bilanzierung

5.2.1 Einführung in die Prozessdarstellung

Die Erstellung der vereinfachten Bilanz wird am Beispiel der Trockenmagnetscheidung mit Röstung (GP 1.1) dargestellt. Basis ist die Erstellung der Hauptprozessfolge:

- Vorzerkleinerung
 - Backenbrecher Z1
 - Kegeltbrecher Z2
 - Flachkegeltbrecher Z3
 - Siebkugelmühle Z4
- Trockenmagnetscheidung
 - Bandringscheider F1
- Röstung
 - Drehrohröfen D1
- Nachzerkleinerung
 - Kugelmühle Z5
- Laugung B1
- Filtration
 - Trommelfilter F2
- Aufbereitung
 - Aufkonzentration F3
 - Fällung B2
 - Filtration F4
- Kristallisation F5

Diese Prozessschritte sind in den Verfahrensschaubildern nach Richtlinien der DIN EN ISO 10628 zusammen gefasst. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Verfahren einen möglichen Weg darstellen und im Detail jeweils variiert werden können.

Für die jeweiligen Prozessschritte ist eine Recherche erfolgt um deren relevante Parameter zu bestimmen.

Dadurch ergeben sich spezifische Einsatzgrenzen, die sich aber überschneiden können. Gerade bei den Zerkleinerungsprozessen ist unter Umständen eine Verringerung der Stufen

möglich. Deutlich wird das in der folgenden Grafik. Je nach technischer Umsetzung kann der Zwischenschritt Flachkegelbrecher Z2 entfallen, wenn die Festigkeit des Zerkleinerungsgutes so ist, dass die zwei Arbeitsbereiche sich überschneiden und ergänzen.

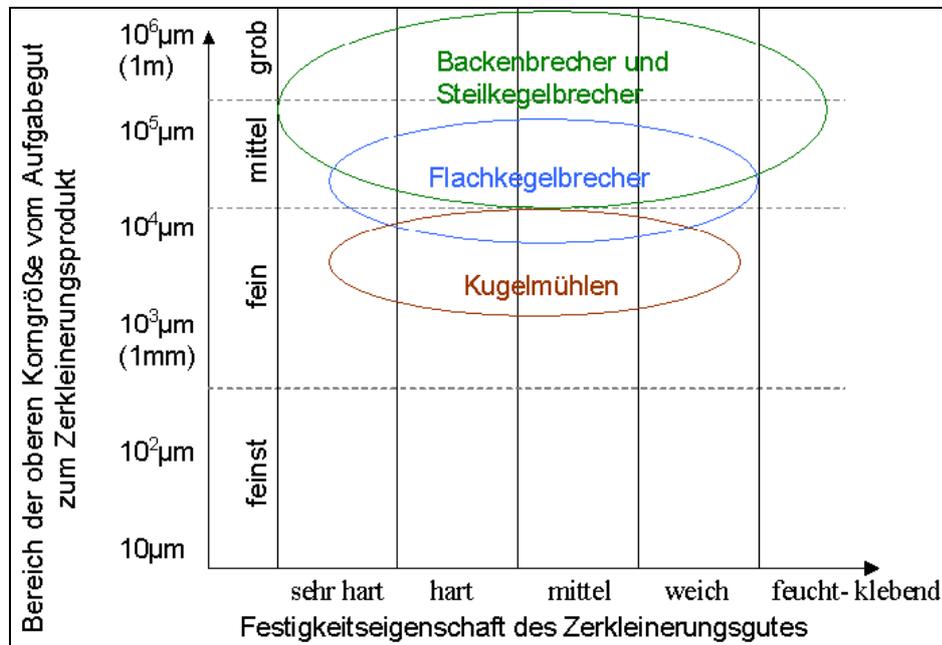


Abbildung 5-1: Einsatzgrenzen für Aufbereitungsmaschinen zur Zerkleinerung von Gesteinen

Für die Bilanzierung ist der Zwischenschritt Flachkegelbrecher berücksichtigt, kann jedoch nach Bedarf entfernt werden.

5.2.2 Umsetzung am Beispiel Zerkleinerung

Als Basis wird die VDI 3460 „Emissionsminderung – Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung“ genutzt. Darin wird umfassend beschrieben, wie Stoffströme in mehrstufigen Prozessen bilanziert werden können.

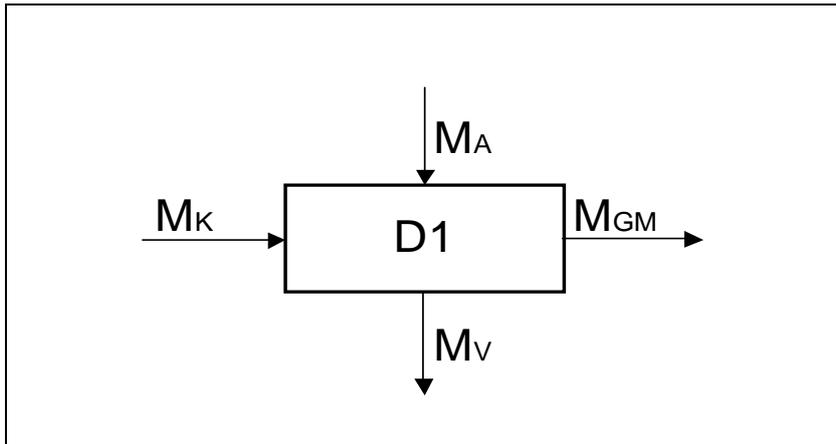


Abbildung 5-2 Beispiel für eingehenden und ausgehende Stoffströme

Die Bilanzgleichungen für die Gesamtmasse sind:

- (1) $dM = \sum_{k=1}^n dM^{SG}_k$
- (2) $dM = \sum_{zu} dM_{zu} - \sum_{ab} dM_{ab}$
- $\rightarrow dM = (M_K + M_A) - (M_V + M_{GM})$

Für jede Komponente i lassen sich Bilanzgleichung für die Teilmasse M_i aufstellen

- (3) $dM_i = \sum_{k=1}^n dM^{SG}_{i,k} + M_i^Q$
- (4) $dM_i = \sum_{zu} dM_{i,zu} - \sum_{ab} dM_{i,ab} + dM_i^Q$

Dabei ist es immer sinnvoll mit auf die Masse bezogenen Konzentrationen zu rechnen. Dadurch wird der Einfluss von Volumenstromänderungen bei Änderung des Umgebungsdruck reduziert. Diese Werte lassen sich zwar auch korrigieren, setzen aber bei der Stoffwertauswahl eine genaue Kenntnis der Stoffgrößen voraus. Das ist vor allem bei Gasgemischen mit stark wechselnden Gaszusammensetzungen oft mit Fehlern behaftet.

Alle Werte sind ähnlich der Vorgaben der Norm VDI 3460 in einem Tabellenkalkulationsprogramm zusammen gefasst. Ein Vorteil dabei ist, dass so einfach für viele Nutzer die Veränderung der Werte möglich ist, ohne über gesonderte Extrasoftware verfügen zu müssen.

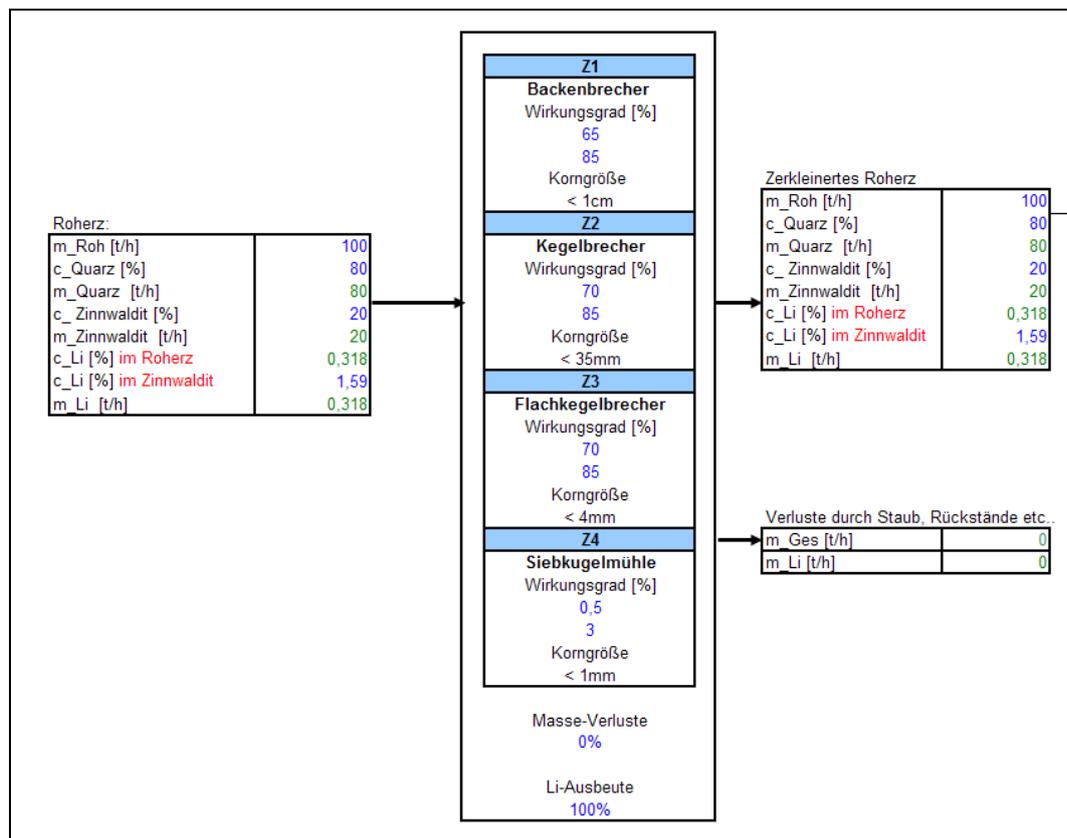


Abbildung 5-3: Beispiel für Excel-Bilanzierungsschritt Vorzerkleinerung (Z1-Z4)

Werte die verändert werden können, werden blau dargestellt. Werte die berechnet oder aus anderen Bereichen übernommen werden, sind mit der grünen Farbe dargestellt.

Somit können ständig – je nach Entwicklungsstand – aktuelle Werte und Erkenntnisse eingefügt werden. Die Rechnung aktualisiert sich umgehend und es werden kalkulatorische Auswirkungen auf das Gesamtergebnis deutlich.

Die gewählten Wirkungsgrade sind im Wesentlichen von der technischen Umsetzung abhängig. Wird betriebswirtschaftlich bedingt eine nicht so effiziente Baureihe gewählt, können diese Werte differieren und einen großen Einfluss auf das Endergebnis haben. Ausführungen dazu sind im Weiteren Teil des Berichtes ausgeführt.

5.3 Bilanzierung Masseströme

5.3.1 Basisbilanzierung am Beispiel Trockene Aufbereitung mit Röstung

In der folgenden Darstellung ist für den Fall von trockener Aufbereitung mit Röstung der Massestrom an Lithium bei einem Gesamtdurchsatz von 100 Tonnen Rohmaterial pro Stunde.

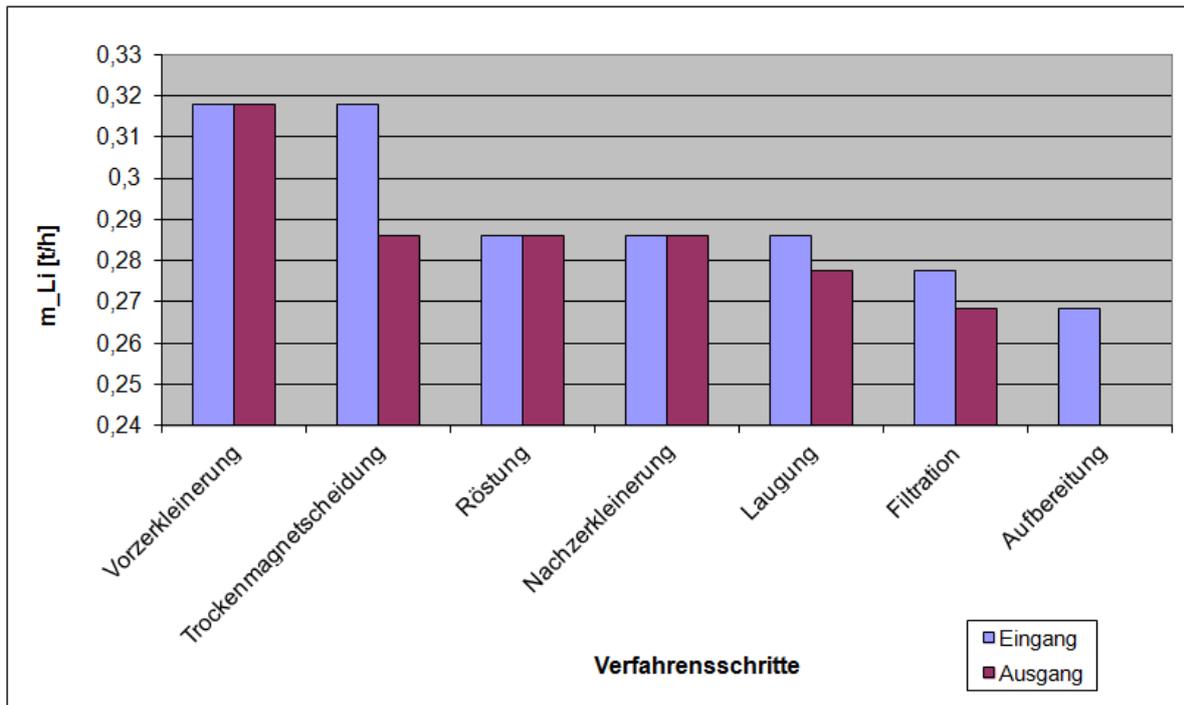


Abbildung 5-4: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h im Verfahren Trockene Aufbereitung mit Röstung

Deutlich ist in der Darstellung zu sehen, dass der Massestrom an elementarem Lithium immer geringer wird. Einzelne Verfahrensschritte sind mit geringen Verlusten behaftet. Gerade der Verfahrensschritt Trockenmagnetscheidung hat einen erheblichen Verlust.

Ähnlich wie bei der Laugung und Filtration ist zu prüfen, ob sich alternative Prozesse anwenden lassen.

Günstig können sich hierbei mehrstufige Abscheideverfahren darstellen. Allerdings bedeutet Mehrstufigkeit immer eine Erhöhung an Investment, Betriebskosten und Energieaufwand. An diesen Stellen kann sich unter Umständen eine technische Verbesserung einfach monetär nicht lohnen und sollte nicht weiter verfolgt werden. Eine Variation mit mehreren Stufen ist im folgenden Kapitel beschrieben.

5.3.2 Einfluss von mehrstufigen Verfahren am Beispiel Trockene Aufbereitung mit Röstung

In der folgenden Darstellung ist das Bilanzierungsbild für eine Einstufige Magnetabscheidung mit einem Bandringscheider dargestellt. Dabei ist das Ziel das Mineral Zinnwaldit und das Quarz ab zu trennen.

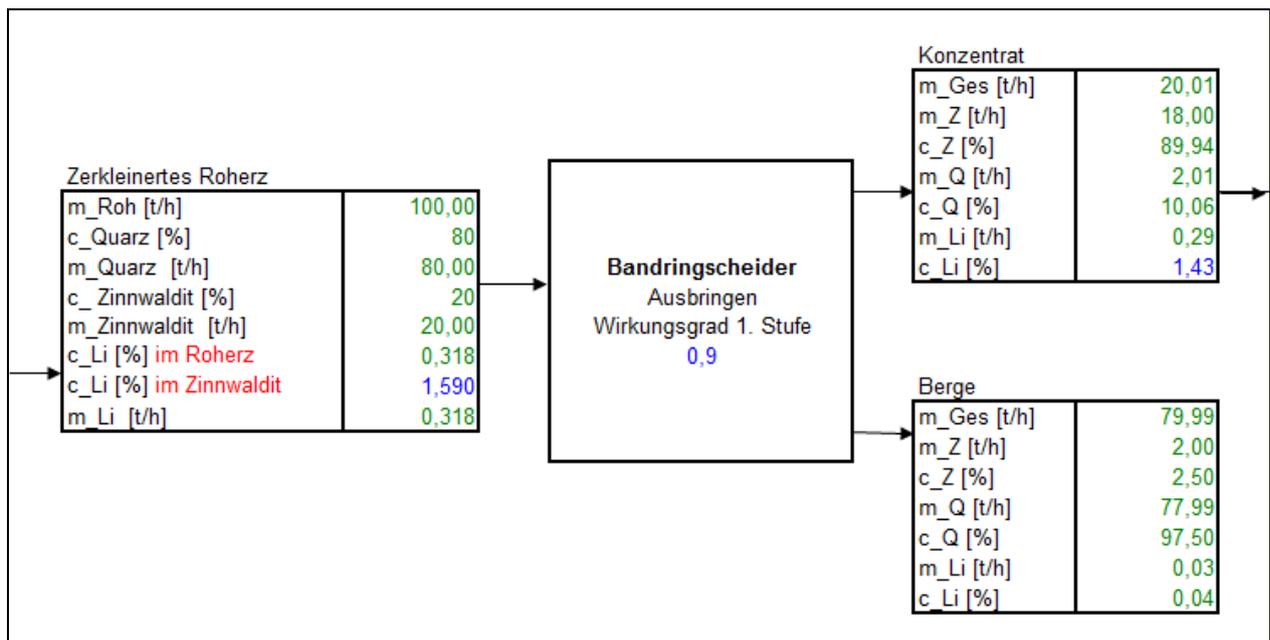


Abbildung 5-5 Einstufige Abscheidung mit Magnetabscheider

Tabelle 5-1 Nomenklatur Bilanzierung

Name	Abkürzung	Einheit
Massestrom Roherz	m_ROH	[t/h]
Massestrom Quarz	m_Q	[t/h]
Massestrom Zinnwaldit	m_Z	[t/h]
Massestrom Lithium	m_Li	[t/h] bzw. [kg/h]
Konzentration Quarz	c_Q	[%]
Konzentration Zinnwaldit	c_Z	[%]
Konzentration Lithium	c_Li	[%]

Die Betrachtung mehrstufiger Verfahren hat immer eine erhebliche Unsicherheit. Diese Unsicherheit kann nur durch Versuche untersucht und abgesichert werden.

Es kann aber abgeschätzt werden, wie es sich bei unterschiedlichen Ausbringgraden entwickeln würde.

Bei Mehrstufigkeit muss die Anzahl der Bandringabscheider erhöht werden. Aus dem zerkleinerten Roherz entsteht bei der Magnetabscheidung das gewünschte Konzentrat und das Restmaterial – in diesem Fall Berge genannt.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde qualitativ die Reihenschaltung von 3 Magnetscheidern untersucht.

Die Erweiterung der Bilanzierung ist im nächsten Bild zu sehen.

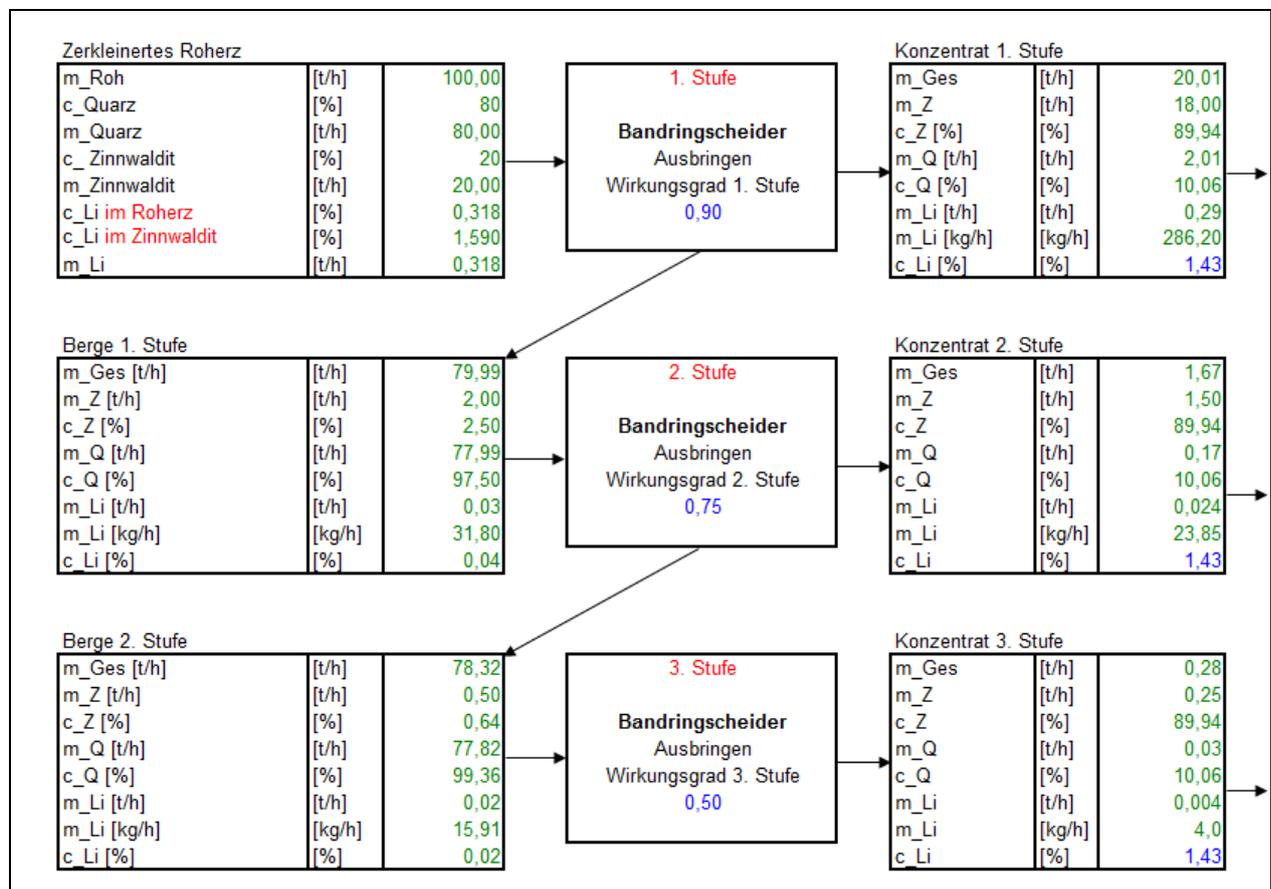


Abbildung 5-6 Erweiterung der Bilanzierung bei Mehrstufigkeit

Auf Grund eines Ausbringungsgrades verbleibt in jeder Stufe ein gewisser Anteil Lithium als Bestandteil in dem Abfallprodukt Berge. Im Konzentrat sammelt sich im Wesentlichen das Zinnwaldit und ein geringer Anteil Quarz.

Es wird angenommen, dass in jeder Stufe der Grad der Ausbringung, auch Wirkungsgrad genannt, bei ähnlichem apparativen Aufwand abnimmt, da die Lithium-Konzentration im Bergegestein in jeder Stufe sich erheblich verringert. Der Gesamtmassestrom reduziert sich dabei nicht erheblich, da zwischen zweiter und dritter Stufe kaum noch Material ins Konzentrat ausgetragen wird.

Diese Tendenz ist in der nachfolgenden Tabelle deutlich zu sehen.

Tabelle 5-2 Mögliche Zusätzliche Lithiumausbeute bei Mehrstufigkeit der Magnetabscheidung

Name	Bezeichnung	Einheit	Konzentrat 1. Stufe	Konzentrat 2. Stufe	Konzentrat 3. Stufe
Massestrom Gesamt	m_Ges	[t/h]	20,01	1,67	0,28
Massestrom Zinnwaldit	m_Z	[t/h]	18,00	1,50	0,25
Massestrom Quarz	m_Q	[t/h]	2,01	0,17	0,03
Massestrom Lithium	m_Li	[kg/h]	286,20	23,85	3,98

In der zweiten und dritten Abscheidungsstufe wird noch weiterhin Lithium abgeschieden. Aber hierbei ist die Menge ab der zweiten Stufe nicht mehr vertretbar.

Hintergrund ist, dass weiterhin fast 80% des Ausgangsmassestromes durch die 2. Und 3. Stufe hindurch gebracht werden muss, wobei die spezifische Ausbeute massiv zurück geht, was den spezifischen Energieverbrauch wiederum erhöht.

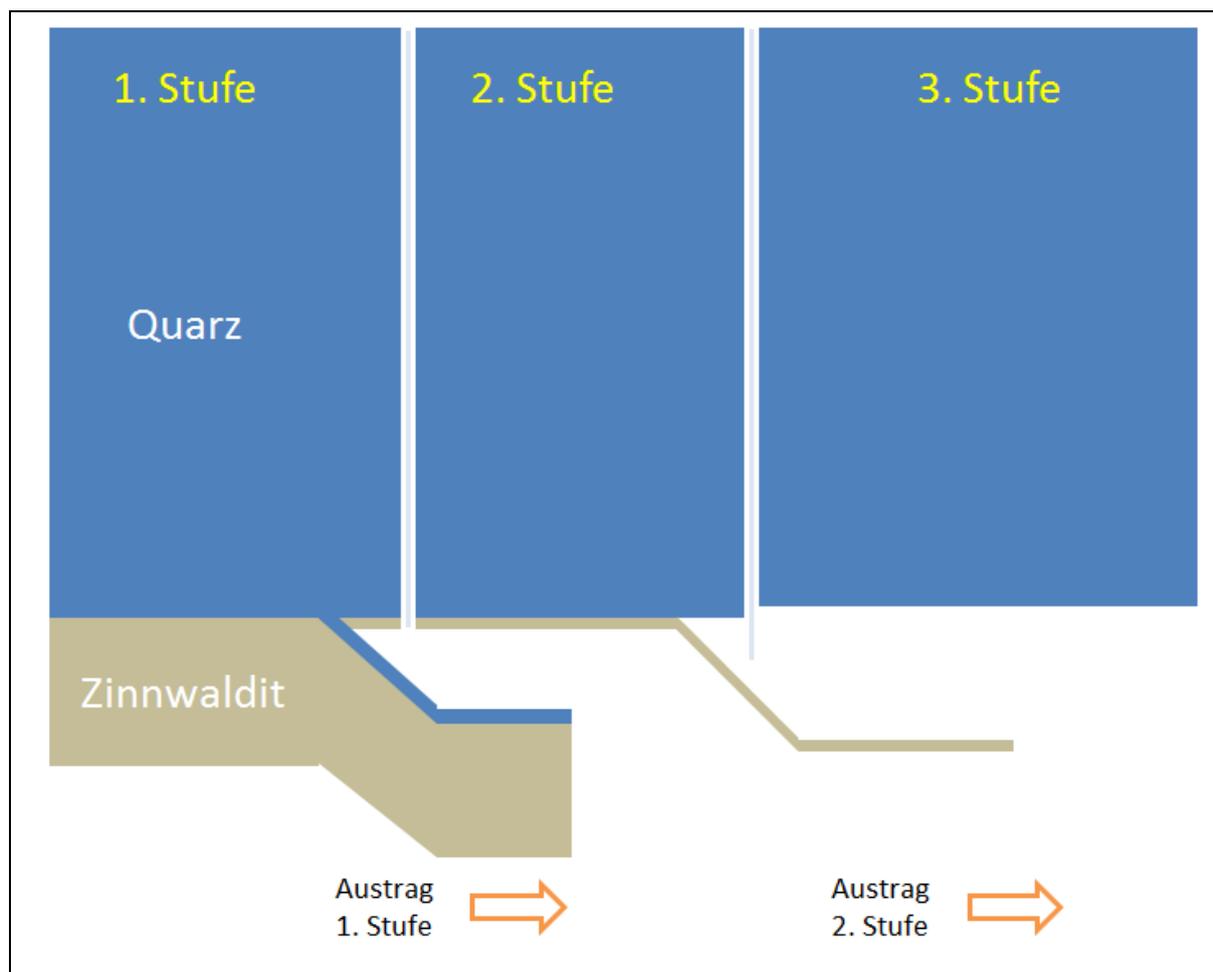


Abbildung 5-7: Material-Austrag in Stufe 1 und Stufe 2 – Stufe 3 nicht darstellbar

Die Grafik verdeutlicht den Stoffmengentransport in der ersten, zweiten und dritten Stufe. Der Zinnwaldit wird im Wesentlichen schon in der ersten Stufe abgeschieden. Ab Stufe 2 ist der weitere Stoffaustrag nicht darstellbar, da aus dem restlichen Stoffstrom (in dem Rechenbeispiel 80 t/h) nur noch 250 kg/h Zinnwaldit sind. Diese sind dann kaum noch austragbar.

Nur auf den zu bewegendenden Massenstrom und den zu erwartenden Austrag bezogen, ist also maximal eine zweistufige Magnetabscheidung sinnvoll.

In einem weiteren Schritt wird aufgezeigt, wie sich eine zweistufige bzw. dreistufige Abscheidung auf den Gesamtprozess auswirkt.

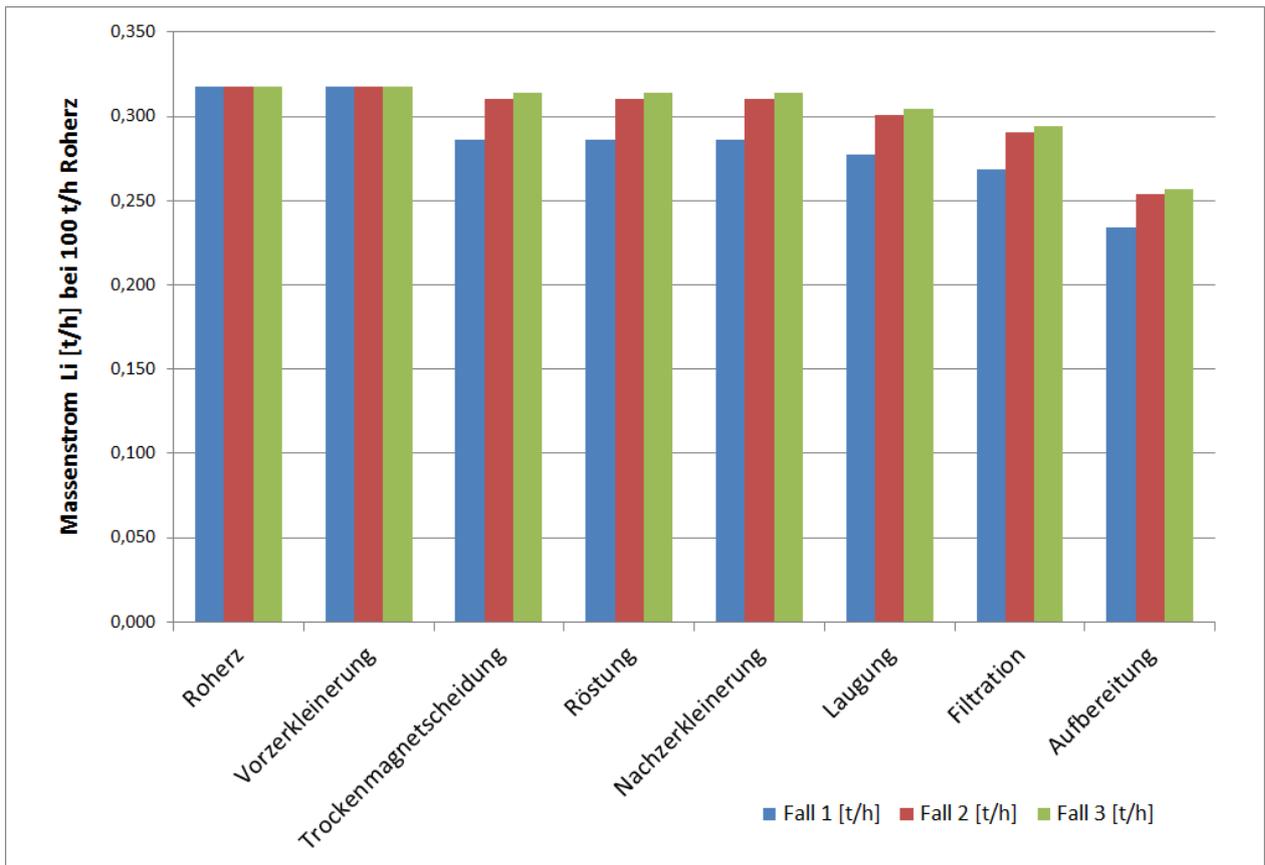


Abbildung 5-8 Prozessoptimierung einstufiger (Fall 1), zweistufiger (Fall 2) und dreistufiger (Fall 3) Magnetabscheidung

Wenn die ganze Prozesskette betrachtet wird, ist eine zweistufige Magnetabscheidung wahrscheinlich sinnvoll. Eine dritte Stufe würde sich wahrscheinlich erst bei exorbitant hohen Rohstoffpreisen rechnen.

5.4 Bilanzierung Energieeinsatz

5.4.1 Grundlagen der Bewertung

Für die technisch-wirtschaftliche Bewertung ist die Betrachtung der eingesetzten Energiemengen notwendig.

Hierbei sind 2 wesentliche Ansätze zu verfolgen:

1. Der Einsatz an primären und sekundären Energieträgern als Einflussfaktor für die Betriebskosten
2. Der ökologische Aspekt – wie stellt sich die Produktion im Vergleich zu anderen Lithium - Rohstoffquellen dar.

Dabei ist es Vorteil die Hauptprozesse mit Energieumwandlung darzustellen und auf einen primären Rohstoff (z.B. Erdgas H) zu normieren. In diesem Fall wird angenommen, dass der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Erdgas in elektrischen Strom ca. 50 % beträgt. Dieser Wert entspricht in etwa einem Gasturbinenkraftwerk mit Nutzung der Abwärme.

5.4.2 Berechnungsgrundlagen am Beispiel Rösten

Auch für die energetische Bilanzierung wird als Basis die Vorschrift VDI 3460 „Emissionsminderung – Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung“ genutzt. Dabei wird immer primär ideal gerechnet und dann über Wirkungsgradfaktoren (η_{real}) die realen Bedingungen sinnvoll abgeschätzt.

T AUS [°C]	950	→	Wärmebedarf (Aufheizen)	
T EIN [°C]	25		Q Alkalisalz [kW]	1851,3
m_Alkalisalz [t/h]	12		Q Konzentrat [kW]	4525,4
cp_Alkalisalz [kJ/(kg K)]	0,6		Summe ideal	
m_Konzentrat [t/h]	20		Q_Ges [kW]	6376,7
näherungsweise für das Konzentrat			Summe real	
cp_Glimmer [kJ/(kg K)]	0,88		Q_Ges [kW]	12753,4
therm. Wirkungsgrad	0,5			

Abbildung 5-9 Berechnungsbeispiel als Ausschnitt aus Globalbilanzierung (Drehrohrofen)

Als Beispiel ist hier der benötigte Wärmebedarf zum Aufheizen des Materials im Drehrohrofen dargestellt.

- $Q_{\text{ideal}} = m_i \cdot c_{p_i} \cdot dT$
- $Q_{\text{real}} = m_i \cdot c_{p_i} \cdot dT \cdot \eta_{\text{real}}$

Für Stoffgemische werden nur die wesentlichen Bestandteile bilanziert. Spurenstoffe (Reststoffe, Restfeuchte, etc.) wird in diesem Fall nicht berücksichtigt. Bei der Erhitzung des Stoffgemisches um eine Temperaturdifferenz dT wird sich auf die wesentlichen Bestandteile fokussiert.

$$Q_{\text{ideal}} = Q_{\text{Alkalisalz}} + Q_{\text{Glimmer}}$$

$$Q_{\text{ideal}} = (m_{\text{Alkalisalz}} \cdot c_{p_{\text{Alkalisalz}}} + m_{\text{Glimmer}} \cdot c_{p_{\text{Glimmer}}}) \cdot dT$$

$$Q_{\text{real}} = (m_{\text{Alkalisalz}} \cdot c_{p_{\text{Alkalisalz}}} + m_{\text{Glimmer}} \cdot c_{p_{\text{Glimmer}}}) \cdot dT \cdot \eta_{\text{real}}$$

Mit dem Wirkungsgrad η_{real} werden etwaige Ungenauigkeiten berücksichtigt.

5.4.3 Normierung im Bilanzierungsprozess

Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen, wird eine Normierung der Energieaufwendungen angewendet.

Diese Normierung ist schwierig – aber notwendig. Dabei ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht oft eine Normierung nicht notwendig, da alle Belange lediglich monetär bewertet werden.

Für die Bilanzierung des Gesamtprozesses werden folgende Faktoren festgelegt.

Tabelle 5-3 Vergleichsfaktoren für energetische Bewertung

Name	Einheit	Faktoren
Erdgas	[kW/h]	Erdgas = Erdgas
Elektr. Strom	[kW/h]	1 kWh _{elektr. Strom} = 2 kWh _{Erdgas}
Diesel	[kW/h]	1 kWh _{Diesel} = 1 kWh _{Erdgas}

Die Vereinfachung $1 \text{ kWh}_{\text{Diesel}} = 1 \text{ kWh}_{\text{Erdgas}}$ ist dann zulässig, wenn man davon ausgeht, dass in einem BHKW der thermische Wirkungsgrad von Diesel bzw. Gasmotoren ähnlich ist.

Natürlich sind diese Faktoren nur zur Näherung geeignet. Können aber bei Bedarf immer angepasst werden. Ziel ist es lediglich Tendenzen auf zu zeigen, damit bei einem energetischen Vergleich etwa ähnliche Grundlagen ausgewählt werden. Im Detail ist natürlich die exakte Form der Energieumwandlung am Ort zu sehen, damit abgeschätzt werden kann, wie sich die Normierung auf die Ergebnisse auswirkt.

Innerhalb einer Prozesskette zeigt sich aber schon deutlich der Vorteil der Normierung. In den folgenden beiden Darstellungen ist links zu sehen, dass der Einsatz von Energie beim Rösten wohl deutlich am größten ist, und zwar als Erdgas beim Aufheizen.

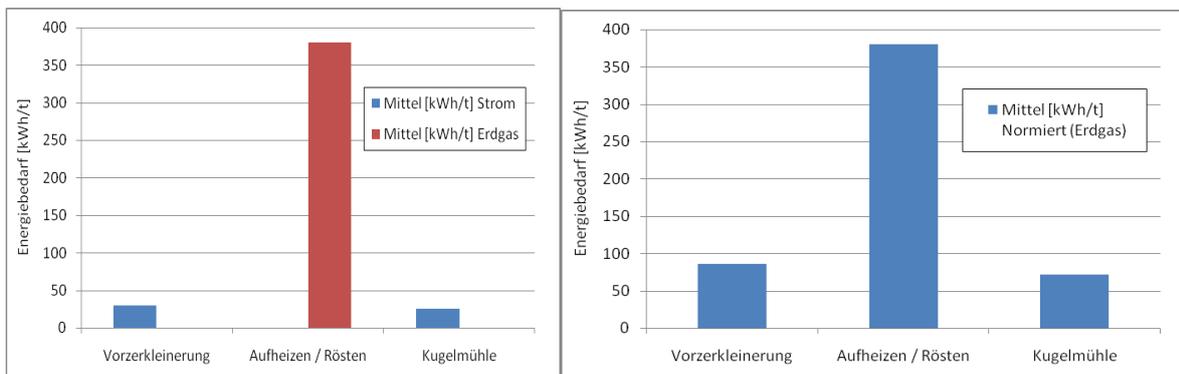


Abbildung 5-10: Wesentliche Energiebedarf der Trockene Aufbereitung mit Röstung nicht normiert (linke Darstellung)

Abbildung 5-11: Wesentliche Energiebedarf der Trockene Aufbereitung mit Röstung normiert (rechte Darstellung)

Werden die beiden weiteren wesentlichen energieintensiven Prozesse dieser Prozesskette daneben gestellt, sieht man, dass die elektrische Vorzerkleinerung und das elektrische Aufmahlen weniger Energie braucht – diese aber als elektrischen Strom.

Auch nach Normierung ist aber zu sehen, dass der Aufheizprozess beim Rösten (ähnlich beim Schmelzen) ein wesentlicher Verbraucher ist. Hier ist deutlich zu sehen, dass die alternativen chemischen Prozesse mit Niedertemperaturwärme (ca. 300 – 400 °C) energetisch deutlich günstiger und somit auch umweltfreundlicher sein können.

Schwieriger sind Transportaufwendungen zu bewerten. Es hat sich gezeigt, dass ich beim Rösten restliche Wärme aus dem Abgas auskoppeln kann.

In dem folgenden Beispiel ist dargestellt, wie sich ein erhöhter Transportaufwand lohnen kann, wenn ich an einem Standort die Möglichkeit habe die Niedertemperaturwärme für andere Zwecke aus zu koppeln – das ist zum Beispiel die Einbindung in ein Fernwärmenetz oder Einbindung in ein Industriedampfnetz.

Tabelle 5-4 Energetischer Vergleich

Name	Einheit	Faktoren
Massestrom Lithiumkonzentrat aus Roherz (Roherzmassestrom ca. 100 t/h)	[t/h]	20
Thermische Leistung Brennertechnik Röstung / Trocken	[kW]	Ca. 10 ... 12 MW
Abgasmassestrom	[kg/s]	Ca. 20 kg/s Bei 700 °C
Wärme für Restwärmenutzung	[kW]	Mind. 1.000 kW
Diesel (Transport, Handling, Lagerung)	[Liter/t]	Ca. 4 ... 5

Das bedeutet, dass schon bei einer Wärmeauskopplung von ca. 10% der Feuerungsleistung das Konzentrat nach der Magnetabscheidung pro Tonne mit 4 bis 5 Liter Diesel bewegt werden kann, ehe es energetisch unsinnig wird.

Es zeigt sich an diesen Zahlen, dass einem Röstprozess frei werdende Wärme, ausgekoppelt werden muss. Hierbei kann das Material auch ruhig einige Kilometer transportiert werden und es ist immer noch umweltfreundlicher, wenn ich das Material so verarbeite, dass ich aus dem thermischen Prozess die Wärme auskoppeln kann und für weitere Prozesse verwende.

Ein Ausdruck in absoluten Zahlen ist so einfach nicht möglich, da sowohl Transportwege, als auch Auskoppelmöglichkeiten der Wärme klar sein müssen. Hier zu treffende Annahmen im Rahmen dieses Projektes wären viel zu unsicher.

5.4.4 Gegenüberstellung Röstprozess / Säure-Aufschluss

Beide Prozesse werden mit einem hohen Energieaufwand betrieben.

Bei der Röstung wird das Material für eine Stunde auf 850°C bis 1000°C erhitzt. Der Säure-Aufschluss wird bei einer Temperatur von 150°C und einem Druck von 150 bar in einem Autoklaven unter Luftabschluss für zwei Stunden durchgeführt.

Der Energiebedarf zum Aufheizen des Materials auf 150 °C beträgt 46% des Energiebedarfs zum Aufheizen auf 900°C.

Bei dem Säure-Aufschluss muss die Temperatur für zwei Stunden gehalten werden und zudem muss ein hoher Druck erzeugt werden.

Des Weiteren können die heißen Abgase der Röstung für eine Energierückführung genutzt werden. Beim Säure-Aufschluss ist eine solche energetische Wärmerückgewinnung praktisch nicht möglich.

Beide Verfahren können als gleichberechtigt betrachtet werden. Es ist nicht möglich einen Favoriten zu benennen.

5.5 Ergebnisse der technischen und energetischen Bilanzierung

5.5.1 Allgemein Qualitative Gegenüberstellung

Nachfolgend sind in der Tabelle die 4 Hauptprozesse qualitativ verglichen und bietet einen ersten vereinfachten Überblick und Vergleich.

	Trockenmagnet- scheidung mit Säure- Aufschluss	Nassmagnetscheidung mit Säure-Aufschluss	Trockenmagnetscheidung mit Röstung	Nassmagnet- scheidung mit Röstung
Maschinen und Apparate	- mehr trocken MS für gleiche Durchsätze	- zusätzlich Eindicker und Bandfilter nötig	- zusätzliche Zerkleinerungsmaschinen nötig	- zusätzlich Eindicker und Bandfilter nötig
Prozess- schritte	- Trocknung des Roherz	- Trocknung nach MS benötigt	- Trocknung des Roherz - Nach-Zerkleinerung benötigt	- Trocknung nach MS benötigt - Nach-Zerkleinerung benötigt
Betrieb	- diskontinuierlich		- kontinuierlich	
Hybridisierung	Einfluss von Begleitkomponenten in Schwarzmasse auf Aufschlussreaktionen		Begleitkomponenten in Schlacke, damit ggf. auf Deponierbarkeit und Aufbereitung	
Wasser- zugaben		- große Wassermengen		- große Wassermengen
Energiebedarf	- hoher Energiebedarf für Säureaufschluss		- hoher Energiebedarf für Röstung - energetische Nutzung der heißen Abgase möglich bzw. Einsatz von Rekuperatoren	
Zusatzstoffe	- HCL - Kreislaufführung und Wiederaufbereitung möglich		- Alkalisalz	
Durchsätze	- erhöhte Durchsätze durch hohe HCL zugaben			- hohe Masseströme durch H ₂ O-Anteil
		- hohe Durchsätze durch H ₂ O-Anteil		
MS	- Magnetscheidung/ Magnetscheider			

Für ein Ranking bietet sich aber eher die Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225 an.

5.5.2 Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225

Die technisch wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225 ermöglicht eine Gegenüberstellung verschiedener Verfahren. Dabei werden die Verfahren in unterschiedlichen Punkten verglichen und dabei Punkte vergeben. Die Punkte sind wie folgt eingeteilt:

Bewertungsskala	sehr gut (ideal)	4	Punkte
	gut	3	Punkte
	ausreichend	2	Punkte
	gerade noch tragbar	1	Punkte
	unbefriedigend	0	Punkte

Generell ist jede Klassifizierung mit einer gewissen Unschärfe versehen. Dazu sind im weiteren Verlauf der Publikation modifizierte Variantenvergleiche dargestellt.

Es werden 4 Hauptgebiete bewertet (in Klammern ist die jeweilige Gewichtung der Kategorien verzeichnet):

Technologie (60%)

In dieser Kategorie werden vor allem technisch-physikalische Punkte betrachtet. Dabei kann natürlich eine ganze Verfahrenskette nur in einem Punkt besonders technisch anspruchsvoll sein, dass sich dann aber in der ganzen Technologiebewertung auswirken kann.

Umweltrelevanz (20%)

Bei diesen Fragestellungen wird vor allem die Verbindung zu externen Faktoren und Randbedingungen betrachtet. Auch wird der Bedarf und die Beschaffenheit der Einsatzstoffe berücksichtigt.

Wirtschaftlichkeit (10%)

Anhand der Hauptparameter kann qualitativ eine Aussage zu erwartenden Kosten getätigt werden. Dabei steht im Wesentlichen der relative Vergleich im Fokus.

Regionale Umsetzbarkeit (10%)

Mit der regionalen Umsetzbarkeit wird berücksichtigt, ob diese Verfahren für die Li-Gewinnung mit Zinnwaldit eingesetzt werden kann.

Die Gewichtung der Parameter kann variiert werden und sollte im Laufe des Projektzeitraumes ständig aktualisiert werden. Eine Variation der Parameter zur Bewertung der Grundvariante ist im nachfolgenden Abschnitt ausgeführt.

Im Folgenden werden für einzelne Punkte die Bewertungen erläutert. Die dazu gehörigen Werte sind im Anhang dargestellt.

Technologie – Druck

Generell sind Anlagen mit höheren Drücken bei gleichen Feststoffmassenströmen mit dickeren Reaktorwänden zu versehen. Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass je geringer der Druck ist, desto geringerer technischer Aufwand muss getrieben werden. Der geringere Aufwand ist in diesem Fall positiv.

Technologie – Temperatur

Hohe Temperatur bedeutet per se nicht mehr Aufwand. Aber generell sind bei Hochtemperaturprozessen mehr höherwertige Werkstoffe einzusetzen. Dabei ist aber zu beachten, dass Abwärme, die bei höherem Temperaturniveau anfällt, exergetisch besser zu nutzen ist.

Technologie – Masseströme

Je schneller die spezifischen Masseströme reduziert werden können, desto geringer sind zu bewegende Massen. Weiterhin sind vor allem vor Prozessen bei denen die Temperatur oder der Druck erhöht wird höhere spezifische Li-Reinheiten zu erreichen, damit kann der Energieverbrauch wesentlich reduziert werden. Neben den Lithium-Masseströmen werden auch periphere Masseströme wie Wasser oder Zusatzstoffe bewertet.

Umweltrelevanz - Abprodukte (fest)

Feste Abprodukte müssen in einer Konsistenz anfallen, dass diese weiter verwendet werden können. Schlacke oder Schlämme die deponiert werden müssten, stellen ein wirtschaftliches und umweltpolitisches Risiko dar. Es kann also vereinfacht gesagt werden, dass je weniger anfällt, desto besser ist es. Natürlich ist die Zusammensetzung, Konsistenz und toxische Belastung zu berücksichtigen.

Umweltrelevanz - Energieaufwand (sekundär)

Ein hoher Verbrauch an elektrischem Strom kann zu unabsehbaren wirtschaftlichen Belastungen für eine Prozesskette werden. Hier ist vor allem die derzeitig politisch unsichere Versorgung mit bezahlbarem elektrischen Strom zu nennen.

Wirtschaftlichkeit - Apparative Aufwand

Generell ist eine einfache und robuste Bauweise für den wirtschaftlichen Betrieb interessant, da der Instandhaltungsaufwand reduziert werden kann. Durch den Einsatz innovativer Werkstoffe bzw. Prozessführungssysteme können aber neuartige Apparate wirtschaftlich interessant betrieben werden.

Regionale Umsetzbarkeit - Arbeitskräfte / Know How

Die Li-Gewinnung aus Zinnwaldit ist mit allen 4 Verfahrensketten möglich. Trotzdem ist für eine regionale Umsetzung eine Gewichtung notwendig. Bisher ist vor allem für thermische

Prozesse in Sachsen traditionell mit sehr gutem Personal zu rechnen – zum Beispiel aus der ehemaligen Zinn und Zink Verhüttung. Aus dem Bereich des thermischen und chemischen Engineerings ist wegen der Universitäten in Freiberg, Dresden und Zittau genügend Personal verfügbar.

Die Bewertung nach den einzelnen Kategorien ergibt folgende Gewichtung der vier Prozessketten:

Tabelle 5-5 Variantenvergleich nach VDI 2555

		Trockene Aufbereitung mit Röstung GP_1.1	Nasse Aufbereitung mit Röstung GP_1.3	Trockene Aufbereitung mit Säureaufschluss GP_1.2	Nasse Aufbereitung mit Säureaufschluss GP_1.4
	100%	2,93	2,76	2,38	2,24
Technologie	60%	3,00	2,88	2,13	2,00
Umweltrelevanz	20%	2,67	2,17	3,17	2,83
Wirtschaftlichkeit	10%	3,00	3,00	2,00	2,00
Regionale Umsetzbarkeit	10%	3,00	3,00	2,75	2,75

Wesentlich ist die Erkenntnis, dass jedes Verfahren geeignet ist. Generell sind die trocknen Verfahren besser bewertet, da die erheblichen Mengen an Wasser nicht benötigt werden, die den apparativen Aufwand erhöhen und im Rahmen der Prozessführung die Wassermengen teilweise wieder ausgeschleust werden müssen.

Die thermischen Verfahren mit Röstung oder Schmelzkammer sind vor allem bezüglich der Technologie günstiger einzuschätzen, als die chemischen Prozesse. Hier kann sich aber im Rahmen der Projektbearbeitung noch eine Verschiebung ergeben. Vor allem sind hier noch Punkte wie Genehmigungsfähigkeit und Umweltrelevanz zu betrachten. Gerade der hohe Einsatz an primären Energieträgern (z.B. Erdgas bei Rösten) ist derzeit noch tragbar. Sollte sich hier aber die Gesetzgebung ändern, kann auch hier eine Verschiebung zu chemischen Niedertemperaturprozessen interessant werden.

5.5.3 Analysen zum Variantenvergleich nach VDI DIN 225

Es hat sich gezeigt, dass mit wechselnden gesetzlichen politischen Randbedingungen die Gewichtung zwischen Technologie, Umweltrelevanz und Wirtschaftlichkeit sich verschieben kann.

Für den Variantenvergleich wird überprüft, was passiert, wenn sich bei gleicher Benotung die Gewichtung der einzelnen Kategorien verschiebt. Dabei sind diese Überlegungen reine theoretische Vergleiche. Es ist allen Beteiligten bewusst, dass eine Rohstoffgewinnung heute weder rein nach ökologischen oder ökonomischen Punkten betrachtet werden kann. Die Betrachtung ist eher dafür wichtig, um eine Abschätzung zu treffen, wie vernünftig die Gewichtung der Grundvariante erfolgt ist.

Dabei wird exemplarisch die Gewichtung auf 4 Weisen verschoben:

- Variante 1: Grundvariante
- Variante 2: Viel Technologie, Umwelt weniger wichtig
- Variante 3: Viel Umwelt, Technologie untergeordnet
- Variante 4: Viel Wirtschaftlichkeit und Regionale Umsetzbarkeit sind wichtig

Variante 1

Die Grundvariante stellt einen vernünftigen Ausgleich zwischen technologischem Fortschritt und guter Einordnung in die regionalen, ökologischen und ökonomischen Randbedingungen dar.

Variante 2

Bei der zweiten Variante wird nach dem Verfahren mit dem größten technologischen Potential gesucht. Das ist vor allem dann relevant, wenn Geld keine Rolle spielen sollte. Dieser Fall könnte eintreten, wenn der Rohstoff nur noch eingeschränkt am Weltmarkt verfügbar ist.

Variante 3

Die Variante mit dem hohen Anspruch an die Umweltaspekte ist für alle Varianten relevant, in den es notwendig werden sollte, sehr umweltverträglich den Lithium Rohstoff zur Verfügung zu stellen.

Variante 4

Bei Variante 4 stehen ein möglichst hoher wirtschaftlicher Aspekt im Mittelpunkt und eine Integration in die Region. Wie es erfolgt und welche Umweltrisiken in Kauf genommen werden, wird nachrangig betrachtet. Insgesamt ist die Variante nicht als nachhaltig ein zu ordnen.

Die Variation der Gewichtungsfaktoren ist für die vier Varianten hier dargestellt.

Tabelle 5-6 Gewichtungsfaktoren für Variantenvergleich nach DVI 2555

	Grundvariante	Viel Technologie, Umwelt weniger wichtig	Viel Umwelt, Technologie untergeordnet	Viel Wirtschaftlichkeit und Regionale Umsetzbarkeit sind wichtig
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Technologie	60 %	70 %	20 %	10 %
Umweltrelevanz	20 %	10 %	60 %	10 %
Wirtschaftlichkeit	10 %	10 %	10 %	40 %
Regionale Umsetzbarkeit	10 %	10 %	10 %	40 %

Mit diesen Gewichtungsfaktoren werden 4 Varianten der Umsetzung mit denselben Noten nach VDI 2555 berechnet und die jeweiligen Werte bestimmt.

Tabelle 5-7 Ergebnisse der Variation der Gewichtung der Faktoren für Variantenvergleich

	Trockene Aufbereitung mit Röstung GP_1.1	Nasse Aufbereitung mit Röstung GP_1.3	Trockene Aufbereitung mit Säureaufschluss GP_1.2	Nasse Aufbereitung mit Säureaufschluss GP_1.4
Variante 1	2,93	2,76	2,38	2,24
Variante 2	2,97	2,83	2,28	2,16
Variante 3	2,80	2,48	2,80	2,58
Variante 4	2,97	2,90	2,43	2,38

In der nachfolgenden Grafik sind die Werte der vier Technologien in den vier Varianten nochmals gegeneinander aufgetragen.

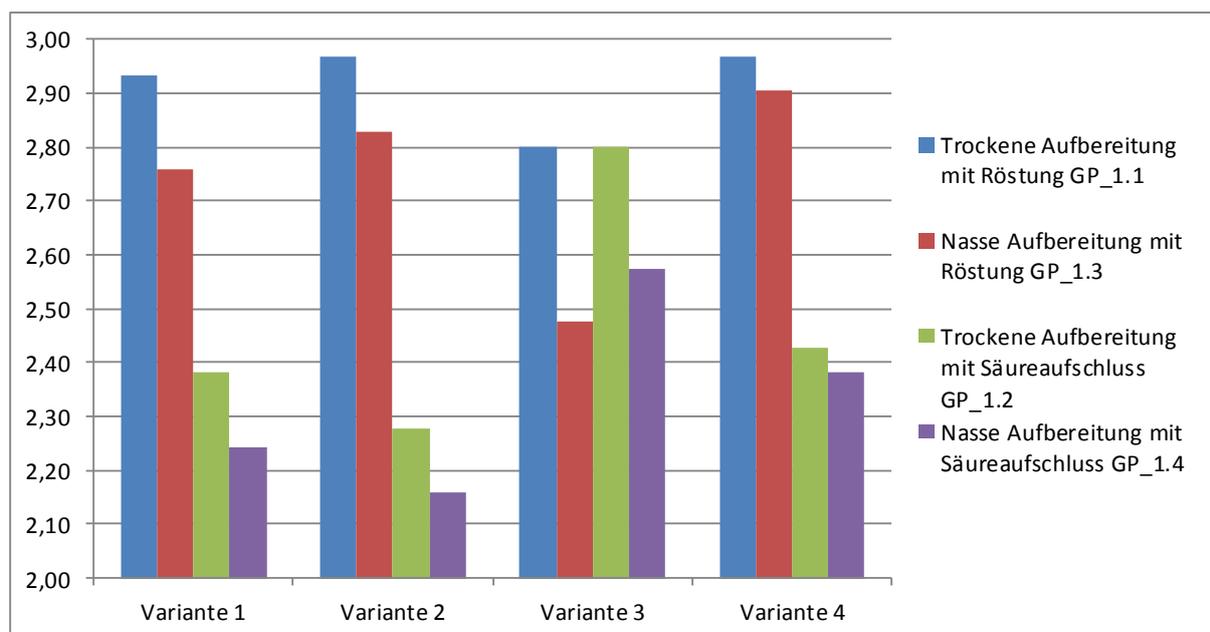


Abbildung 5-12 Grafische Darstellung der Variation der Gewichtungsfaktoren

Es ist generell zu sehen, dass die Technologie „Trockene Aufbereitung mit Röstung“ auch bei allen Variationen der Gewichtungsfaktoren mit die besten Bewertungen erreicht. Es ist eine ausgereifte Technologie, die selbst bei relevanten Umweltfragen und wechselnden ökonomischen Randbedingungen gute Ergebnisse bringen wird.

Generell kann gesagt werden, dass die trocknen Verfahren von Umweltbelangen her günstiger sind, weil weniger Abwässer und Schlämme anfallen. Es entfallen dabei auch Teilschritte mit hohem Energieverbrauch (wie z.B. Trocknen).

Allerdings ist auch ersichtlich, dass erhöhte Anforderungen an die wirtschaftlichen Kriterien dazu führen, dass die trocknen Verfahren nicht uneingeschränkt dominieren. Hintergrund ist, dass ich bei einem trocknen „heißen“ Prozess mit der Abwärme der Röstung nur bedingt einen Nutzen ziehen kann. Für Wärmerückgewinnung gibt es kaum periphere Prozesse, bei denen Abwärme eingesetzt werden kann.

Eine Anmerkung bleibt aber, dass die Bewertung mit reduzierten ökologischen Anforderungen rein theoretischer Natur ist. Diese Betrachtungsweise sollte nicht für eine mögliche Umsetzung in Sachsen, Deutschland bzw. der Europäischen Union gelten.

5.6 Dimensionierung, Auslegung und Konstruktion von Technikumsreaktoren zum Aufschluss von gemahlenem Roherz

Im Laufe der Projektbearbeitung sind verschiedene Versuchsreaktoren als Konzepte und Entwürfe entstanden. Diese Erkenntnisse sind Zuarbeiten für Projektpartner bzw. als Ergebnis gemeinsamer Verfahrensoptionen

5.6.1 Reaktorentwurf für den Aufschluss von Roherzen mit Säuren

Der Reaktor ist als Batch-Reaktor konzipiert. Es kann dazu genutzt werden Aufschlussversuche von Li-haltigen Erzen mit Säuren durch zu führen. Dazu kann Druck und Temperatur variiert werden. Es besteht aber keine Möglichkeit einen kontinuierlichen Betrieb abzubilden.

Der Reaktionsbehälter besteht aus einem Reaktionstopf, einer dazugehörigen Verschlusseinheit, Mess- und Befüllstutzen und einer Rührwerkeinheit. Die das Reaktionsmaterial berührenden Bauteile werden aus Edelstahl (1.4571, o.ä.) gefertigt. Die Komponenten sind auf einen Aluminium-Profil-Grundrahmen installiert.

Für die Druckfeste Ausführung muss eine notwendige Einzelabnahme des Druckbehälters durch eine Überwachungsorganisation (TÜV o.ä.) erfolgen. Deckel, Stutzen und Verschlusschrauben werden dem Behälter entsprechend dimensioniert. Dazu ist die Druckgeräterichtlinie (EG-Richtlinie 97/23/EG) an zu wenden.

Die Beheizung des Reaktionsbehälters erfolgt durch eine seitlich angebrachte elektrische Heizmanschette. Integrierte Thermoelemente dienen zur Überwachung der maximalen Behälteroberflächentemperatur, die durch die Druckbehälterabnahme begrenzt ist. Für Reaktionsbedingungen von maximal 300°C im Reaktor, müssen Heiztemperaturen von 400°C zu gelassen werden, damit eine ausreichende Wärmeübertragung möglich ist.

Der Antrieb der Rührwerkeinheit wird seitlich so montiert, dass über einen Riementrieb die Rührwelle angetrieben wird. Der Riemen des Rührwerksantriebes wird mit einer Rolle vorgespannt. Zur Befüllung bzw. Behälterinspektion kann der Riemen entfernt werden. Der Deckel kann nach oben abgenommen werden. Die Drehzahl des Rührwerkes kann automatisch eingestellt werden.

In Abhängigkeit der Rühraufgabe bzw. der Konsistenz der Suspension kann das Paddel gewechselt werden. Die Durchführung der Paddelwelle in den Reaktionsbehälter ist druckfest gestaltet.

Alle den Reaktionsraum berührenden Teile, die Dichtungen und die Verschlüsse der Stutzen sind Verschleißteile und müssen regelmäßig kontrolliert werden. Undichtigkeiten können zur Ausströmung von verdampften Säurebestandteilen führen und Laborpersonal verletzen. So ein Versuchsreaktor sollte mit einer Zwangslüftung und einer Absaugung betrieben werden. Diese Einhausung ist nicht dargestellt.

An den Behälter sind Sensoren zum Messen installiert. Damit werden die Bedingungen im Reaktor überwacht (Druck, Temperatur, ggf. Drehzahl, Füllstand, etc.)

Gegen Überdruck sollte je nach Aufstellungsbedingungen ein mit Federn belastetes Überdruckventil installiert sein. Die im Ernstfall ausströmenden Gase dürfen aber nur über eine Wäsche abgeblasen werden, da ansonsten verdampfte Säurebestandteile in die Umwelt gelangen.

In der folgenden Darstellung ist eine Konstruktion für einen Versuchsreaktor zur Untersuchung von Aufschlussreaktionen für gemahlene Erze dargestellt.

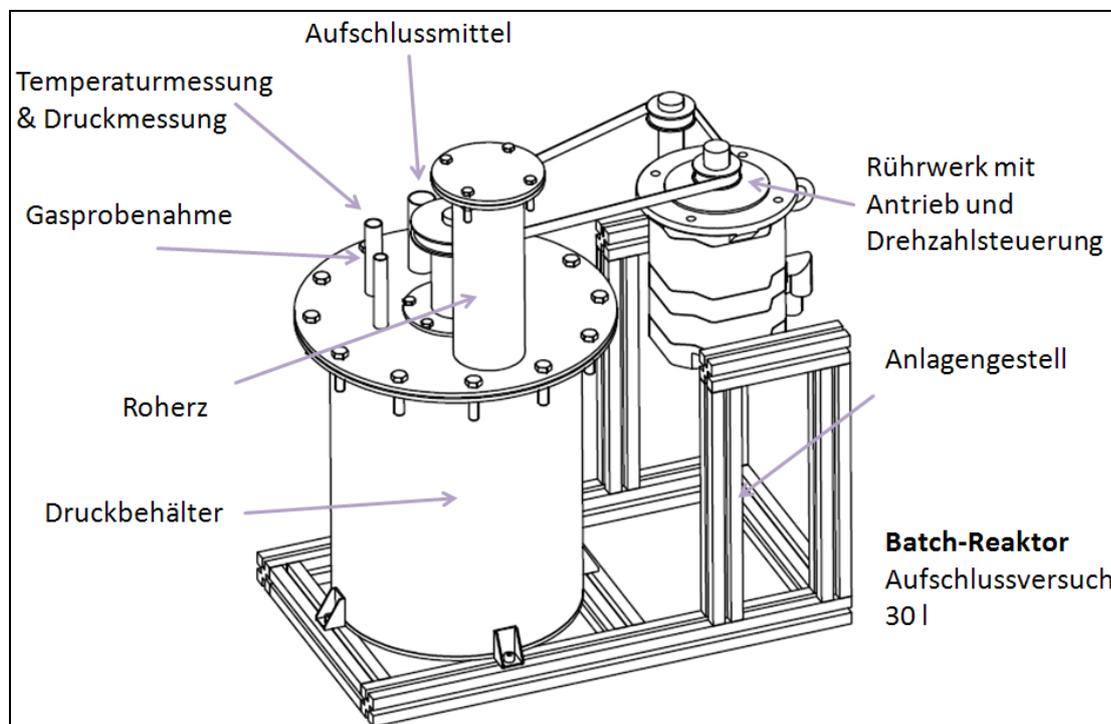


Abbildung 5-13: Konzept & Konstruktion für Reaktor zu Aufschlussuntersuchungen von Li-haltigen Roherzen

Die Darstellung ist ohne die notwendige elektrische Heizmanschette. Weiterhin würde eine Isolationsdeckel benötigt um die Wärmeverluste nach oben zu reduzieren. Nach dem Batch-Versuch muss der Isolationsdeckel demontiert werden und der Hauptdeckel kann geöffnet werden.

Nachfolgend sind die Hauptdaten und Parameter der einzelnen Komponenten aufgeführt.

Reaktionsbehälter

- Durchmesser innen ca. 300 mm
- Höhe innen ca. 400 mm
- Betriebsdruck max. 0,6 MPa (ü)
- Montage auf Al-Grundrahmen

Deckel mit umlaufender Einlegedichtung (Spritzschutz)

- Stutzen
- Feststoffzugabe DN 80
- Entlüftung DN 25
- Befüllung H₂SO₄ DN 15
- Druck/Temperatur DN 10 komb.
- Stutzen mit Kappen für druckfeste Anforderung

Option: Rührwerkeinheit mit Drehzahleinstellung

- Rührwerk nach Vorgabe (ca. 1 – 5 kW in Abhängigkeit der Suspension)
- Rührwelle mit auswechselbaren Rührpaddel
- Durchführung durch Deckel des Reaktionsbehälters (druckfest)
- Drehzahlsteuerung mit manueller Einstellung
- Riemenantrieb mit Spannrolle
- Stromanschluss mit Stecker
- Erweiterung Al-Profilgestell

Generell ist zu beachten, dass es im Rahmen einer technischen Detail-Spezifizierung je nach Auswahl zu Änderungen kommen kann (bezüglich Materielauswahl, Wandstärke, etc.). Insgesamt sind für so einem Versuchsstand ca. 90.000 € notwendig.

5.6.2 Quasikontinuierlicher Reaktor zum Aufschluss von Roherzen mit Säuren

Um Betriebserfahrungen zu sammeln ist es wichtig einen Technikumsreaktor zu bauen, in dem quasistationäre Untersuchungen gemacht werden können. Das bedeutet, dass das Roherz vorgemahlen in den Aufschlussreaktor kommt. Weiterhin soll die Anlage möglichst so groß sein, dass wesentliche Effekte untersucht werden können, ohne die Notwendigkeit von hunderten Tonnen Rohmaterial.

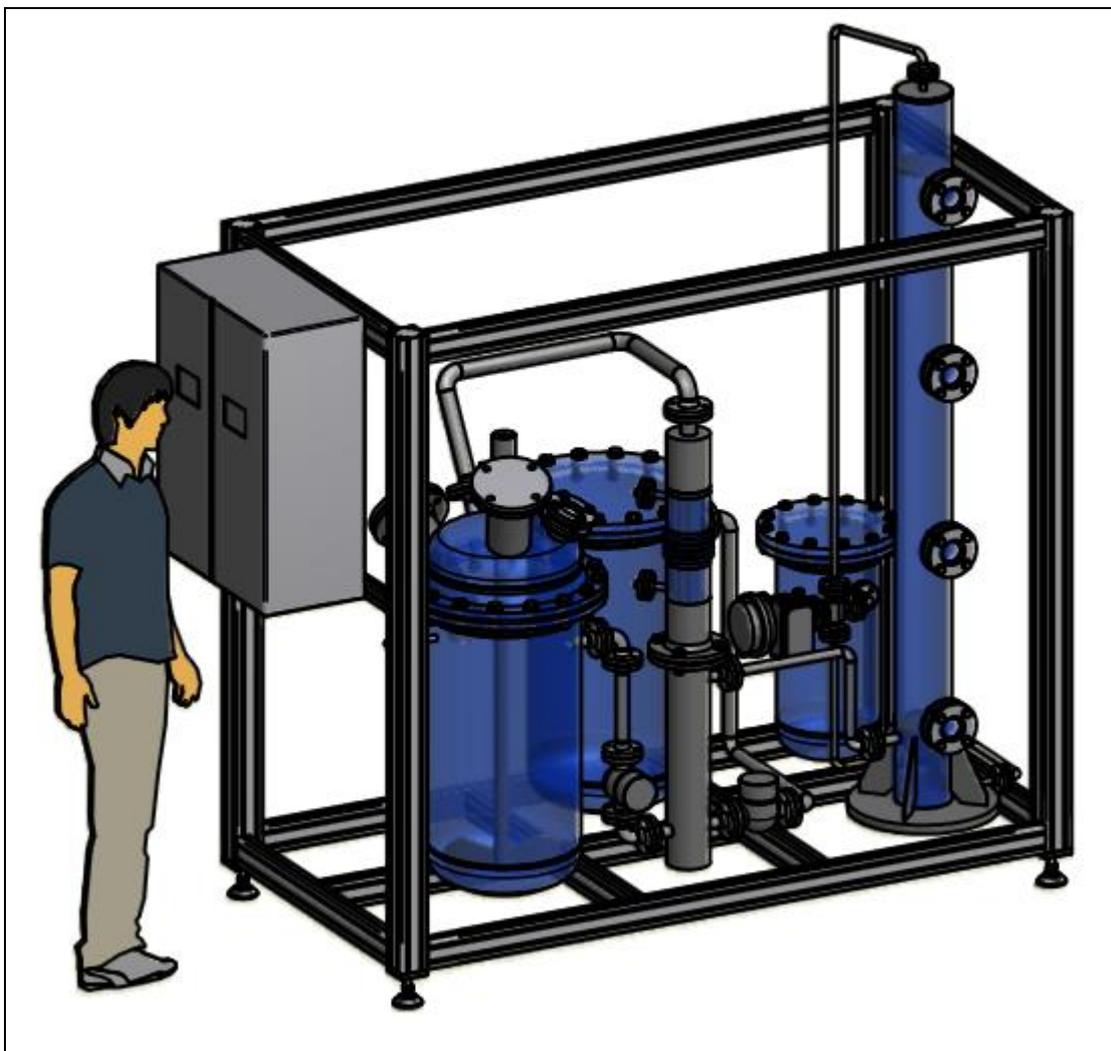


Abbildung 5-14 Übersichtsdarstellung Technikumsreaktor mit Schaltschrank

In der Abbildung ist der Versuchsaufbau einer Umsetzung als Technikumsanlage zu sehen. Dabei sind alle Komponenten in einem Aluminium-Profilgestell verbaut und untereinander verrohrt bzw. verdrahtet.

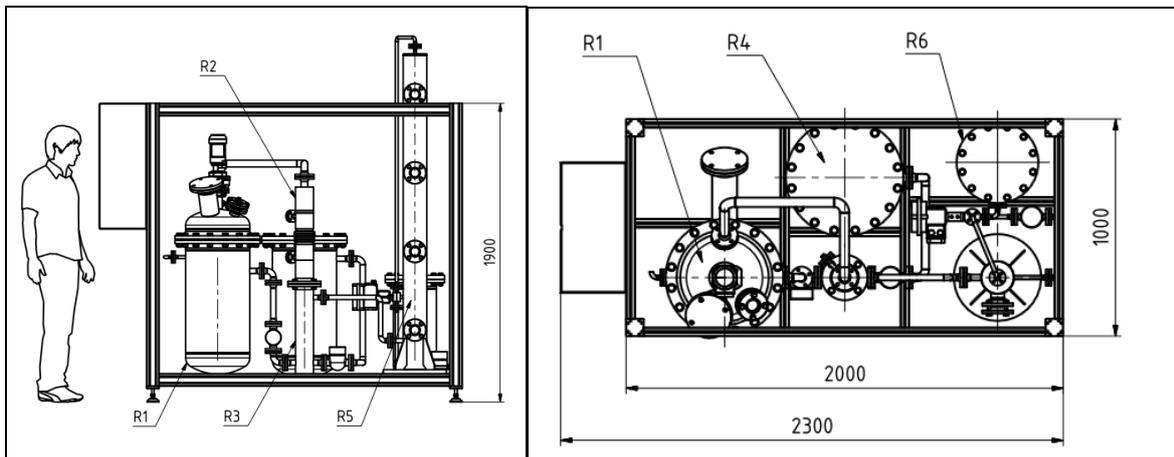


Abbildung 5-15: Übersichtszeichnung Technikumsreaktor - Ansicht von der Seite

Abbildung 5-16 Übersichtszeichnung Technikumsreaktor - Ansicht: von oben

Die Technikumsanlage besteht aus 6 Einzelreaktoren als Hauptkomponenten.

Tabelle 5-8 Bezeichnung der Hauptkomponenten

Bezeichnung	Abkürzung	Funktion
Rührreaktor	R1	Aufheizbehälter für Säure und Roherz
Kühler	R2	Gaskühler
Separator	R3	Phasentrennung flüssig / Gasförmig
Auffangbehälter 1	R4	Kondensat-Auffangbehälter
Blasenwäscher	R5	Gaswäscher für Abgas
Auffangbehälter 2	R6	Auffangbehälter für Säurerestprodukt

Im folgenden Bild ist eine Vereinfachte Version des Baugliedplanes dargestellt.

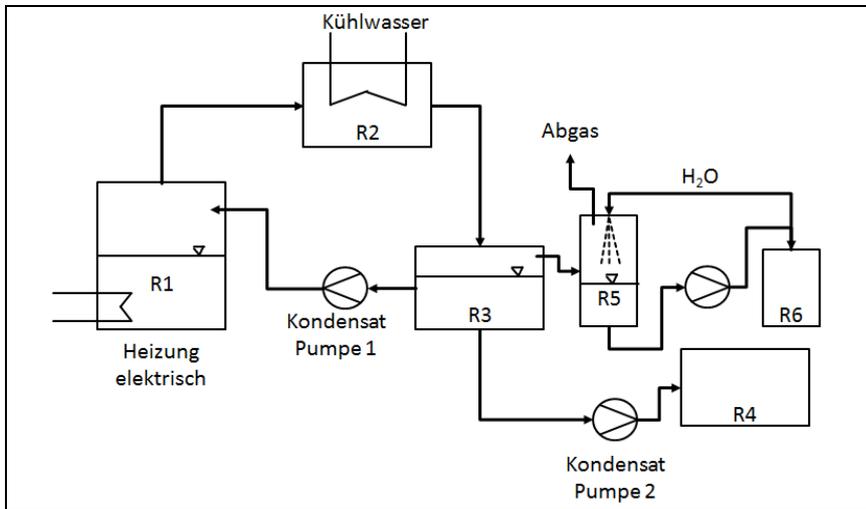


Abbildung 5-17 Baugliedplan Technikumsanlage Roherz Aufschluss mit Säure

Diese Variante ist eine druckfeste Ausführung, die aber nicht unbedingt notwendig wäre. Das Gemisch aus Roherz und Säure (z.B. HCl, H₂SO₄) wird nur auf 106 °C erhitzt. Es soll primär die Säure verdampft werden. Dabei wird in einer ersten Phase zusätzlich Fluor frei. Dieses Fluor kann zusätzlich als Rohstoff verwertet werden.

Rührreaktor R1

Der Rührreaktor R1 ist ein Edelstahlbehälter (z.B. 1.4571, o.ä.). In diesem wird das auf gemahlene Roherz mit Säure gemischt und erhitzt. Dabei wird das Flour gasförmig frei gesetzt. Alle den Reaktionsraum berührenden Teile, die Dichtungen und die Verschlüsse der Stutzen sind Verschleißteile und müssen regelmäßig kontrolliert werden. Undichtigkeiten können zur Ausströmung von verdampften Säurebestandteilen führen und eine erhebliche Gefahr darstellen. Der Reaktor ist so konstruiert, dass ein Rührwerk angeschlossen werden kann.

- Durchmesser innen ca. 300 mm
- Höhe innen ca. 600 mm
- Betriebsdruck max. 0,2 MPa (ü)
- Beheizung elektrisch 1,5 kW / Rührwerk optional
- Montage auf Al-Grundrahmen

Ein Flansch im Deckel ermöglicht den Anschluss einer Dosiereinheit zur kontinuierlichen Befüllung. An einem Flansch im Boden kann mittels Schlauchpumpe reagiertes bzw. aufgeschlossenes Material entnommen werden.

Kühler R2

Der Kühler ist notwendig um das entstandene Gas zu kühlen und die kondensier baren Bestandteile zu verflüssigen

- Kühlwasseranschluss 25 °C / 35 °C
- Material 1.4571 o.ä.
- Kühlbedarf ca. 2 kW

Separator R3

Im Separator erfolgt eine Auftrennung in flüssige und gasförmige Phase. Die Flüssigkeit kann dann mit einer Pumpe zurück in den Rührreaktor R1 oder in den Auffangbehälter 1 R4 gepumpt werden.

- Material 1.4571 o.ä.
- Füllstandsregelung

Auffangbehälter 1 R4

Der Auffangbehälter 1 ist ein Flüssigkeitstank in dem entsorgte Säurebestandteile aus dem Prozess geschleust werden können.

Der Tank kann optional in Edelstahl oder Kunststoff ausgeführt werden, da es kein Druckbehälter ist.

Blasenwäscher R5

Im Basenwäscher bzw. Waschkolone wird das Gas gewaschen und gereinigt. Der Wäscher wird mit ausreichend Probeentnahmeöffnungen versehen.

- Durchmesser innen ca. 120 mm
- Höhe innen ca. 1.900 mm

- Betriebsdruck max. 0,1 MPa (ü)
- Montage auf Al-Grundrahmen

Auffangbehälter 2 R6

Der Auffangbehälter 2 ist ein Flüssigkeitstank in dem entsorgte Wasserbestandteile aus der Wäsche entsorgt werden können.

Insgesamt sind für so einem Versuchsstand ca. 195.000 € notwendig.

5.6.3 Quasikontinuierlicher Reaktor zum Aufschluss von Roherzen mit Säuren unter hohem Druck und mit optionaler Nutzung von überkritischem Kohlendioxid

Für Aufschlussuntersuchungen unter hohen Druckbedingungen und dem Einsatz von überkritischem Kohlendioxid CO₂ soll ein Versuchsstand so ausgelegt werden, dass Versuche über 2-4 h möglich sind.

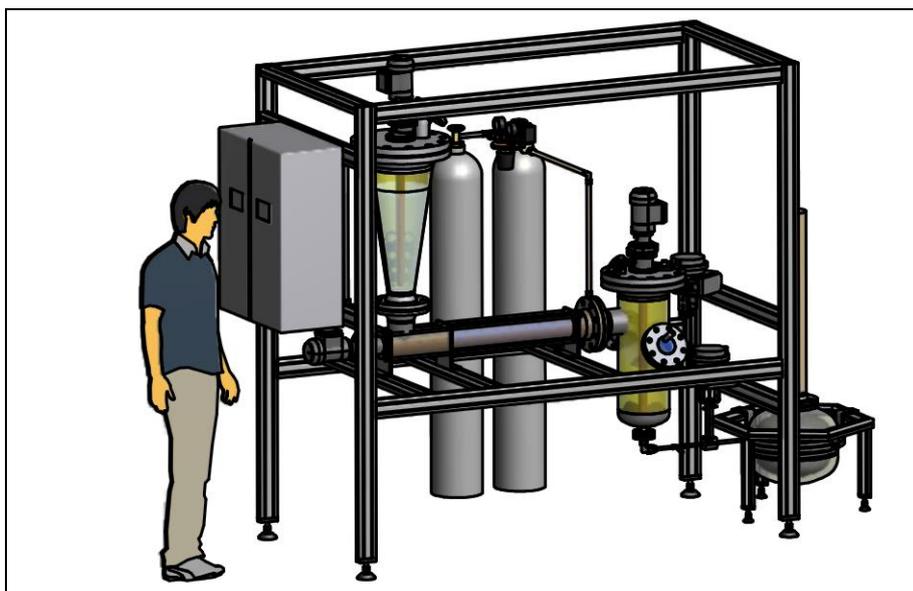


Abbildung 5-18 Übersichtsdarstellung der Hochdruckaufschluss Anlage mit Hybrid-Funktion

Die Technikumsanlage besteht aus 5 Einzelreaktoren als Hauptkomponenten.

Tabelle 5-9 Bezeichnung der Hauptkomponenten

Bezeichnung	Abkürzung	Funktion
Vorratsbehälter / Dosierung	R1	Konditionierung Roherz / Wasser
Verdichter	R2	Verdichtung des Roherz / Wasser Gemisch
Hauptreaktionsbehälter	R3	Behälter für Reaktion
Druckregelung	R4	Ventile für Abströmregelung
Entgaser	R5	Auffangbehälter und Entgasungsoption

Diese Bestandteile sind untereinander verrohrt und verdrahtet. Wegen der Verwendung von überkritischem Kohlendioxid sollte die Gesamtanlage durch eine technische Überwachungsorganisation abgenommen werden.

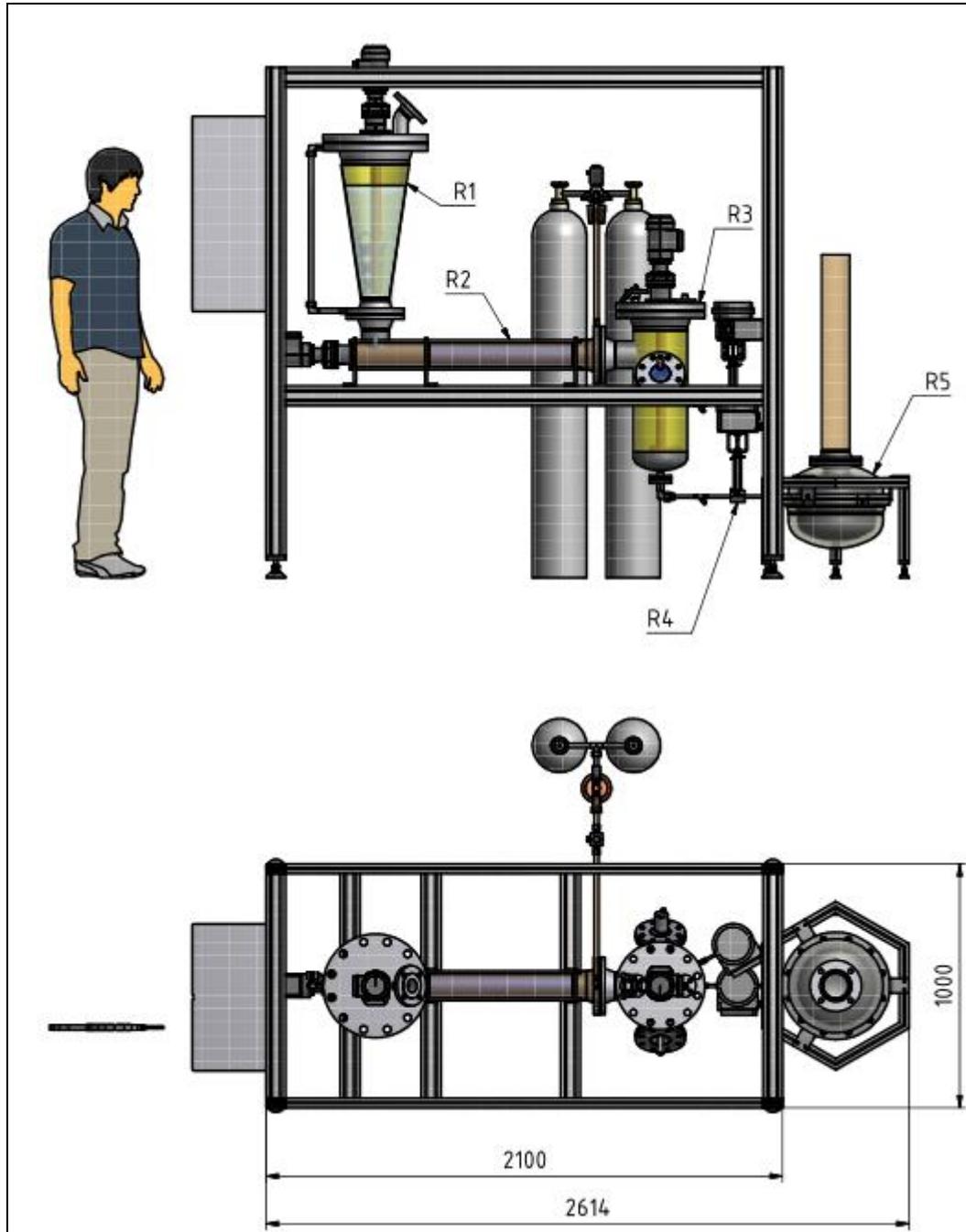


Abbildung 5-19 Hochdruckversuchsstand mit optionaler Nutzung von Kohlendioxid aus Flaschenversorgung

In der Abbildung ist zu sehen, dass die Versorgung mit überkritischem Kohlendioxid CO₂ aus Flaschen mit Tauchrohranschluss erfolgt.

Vorratsbehälter / Dosierung R1

In dem Vorratsbehälter wird das Rohmaterial mit Wasser gemischt und verdichtungsfähig konditioniert. Der Behälter benötigt eine Füllstandsregelung und eine Einheit zum Rühren. Es sind ausreichend hohe Drehzahlen zu wählen, dass es nicht Sedimentationserscheinungen im Mischer kommt

- Durchmesser innen ca. 400 mm (konisch nach unten laufend)
- Rührwerk mit Drehzahlsteuerung

Verdichter R2

Der Verdichter muss das Gemisch kontinuierlich auf einen höheren Druck als das überkritische Kohlendioxid CO₂ hat verdichten. Dazu sind bei Raumtemperatur etwa 6 MPa Überdruck notwendig. Die überkritische Gaszuführung erfolgt in einer Zwischenstufe um eine gute Durchmischung zu erreichen.

- Exzenterpumpe (Antriebsleistung ca. 6 kW)
- Edelstahlausführung / Drehzahlsteuerung

Hauptreaktionsbehälter R3

Im Hauptreaktionsbehälter sorgt ein installiertes Rührwerk für ausreichende Durchmischung. Zusätzlich könnte die Durchmischung noch erhöht werden, wenn man von unten durch den Reaktor das überkritische Kohlendioxid einströmen lässt.

- Druckbehälter (Druckgeräterichtlinie DB Kat. II Modul A1)
- Werkstoff 1.4571 o.ä.
- Inspektionsstutzen mit Schauglasöffnung und Füllstandsregelung
- Sicherheitsventil mit Abblasung ins Freie

Druckregelung R4

Die Druckregelung erfolgt mit Ventilen in der Abströmung. Um die zu erwartenden Prozessparametervariation zu erreichen, ist es notwendig mindestens zwei Ventile einzusetzen. Vor den Ventilen sind Filter vorzusehen.

- Regelventil für Hochdruckanwendungen (z.B. Fa. Samson)

- Werkstoff 1.4571 o.ä. mit variablen Regelkegel

Der Feststoffaustrag muss über eine weitere Schleuse erfolgen. Hier wäre zum Beispiel der Einsatz von 2 Quetschventilen möglich. Diese müssen so geschaltet werden, dass es nicht zur unkontrollierten Schnellentspannung kommen kann.

Entgaser R5

In dem kann die ausgetragene Flüssigphase noch nachentgasen. Das ist notwendig, weil gelöstes Kohlendioxid CO₂ noch eine geringe Zeit austreten kann.

Generell ist der Einsatz von Kohlendioxid an der Versuchsanlage nicht kritisch. Es müssen aber organisatorisch Sicherheitsregeln eingehalten werden. Hintergrund ist, dass Kohlendioxid zwar nicht toxisch ist, aber schwerer als Luft. Bei unsachgemäßer Anwendung kann das Kohlendioxid sich in nicht bzw. schlecht belüfteten tieferliegenden Gebäudeteilen (wie Keller, Kabelkanäle, Inspektionsschächten, etc.) sammeln. Hier ist dringend eine umfassende Raumlufüberwachung zu planen.

Insgesamt kann die Versuchsanlage neben den kontinuierliche Aufschlussuntersuchungen unter hohem Druck auch als Batch-Reaktor verwendet werden. Dann würde die kontinuierliche Befüllung und Entgasung entfallen.

Insgesamt sind für so einem Versuchsstand ca. 300.000 € notwendig. Für Sicherheitseinrichtungen und Entgasungsableitung sind je nach Standort weitere 15.000 € zu veranschlagen.

6 Zusammenfassung

6.1 Überblick über Meilensteine im Projekt

Es wurden alle Meilensteine erreicht:

Im Arbeitspaket 4.1.1.7 (Anlagentechnische Vorkonzeption Zinnwalditaufschluss) werden primäre Aufschlussverfahren dargestellt und können als Zuarbeit für Arbeiten in Arbeitspaket 4.2.1.4 genutzt werden.

Im Arbeitspaket 4.1.2.4 (Anlagentechnische Vorkonzeption Schlackeaufschluss) sind Verfahrensschemata erstellt. Im Rahmen der energetischen Bilanzierung ist ein Programm vorhanden in dem ständig neue Kennzahlen nachgetragen werden können, damit die energetische Bilanzierung auch zukünftig detailliert werden kann. Diese primären Aufschlussverfahren können als Zuarbeit im Arbeitspaket 4.2.1.4 genutzt werden.

Im Arbeitspaket 4.5.1.2 (Anlagenbau Metallurgie) hat die Bilanzierung gezeigt, welche Energie- und Stoffströme in den Teilprozessen zu erwarten sind.

Eine Einsatzmöglichkeit alternativer Energieträger ist derzeit nicht absehbar. Lediglich Abwärme aus anderen Prozessen sollte unbedingt zum Trocknen der Erze eingesetzt werden, da dort auch mit Niedertemperaturwärme eine sinnvolle Einkopplung erfolgen kann.

Das Erreichen des Projekt Meilensteines kann als Zuarbeit in den Arbeitspaketen AP 4.5.2.2 und AP 4.5.3.2 verwendet werden.

6.2 Allgemeine Betrachtung

Aus anlagentechnischer Sicht ist eine Umsetzung der Verfahrensketten derzeit möglich. Die Hybride Nutzung von primären und sekundären Li-Stoffströmen kann technisch umgesetzt werden. Dafür sind 2 Technikumsanlagen entwickelt und können technisch realisiert werden.

Zukünftig müssen die Verfahrensketten bei Hybridbetrieb aber bezüglich einer kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Einschleusung von Sekundärmaterial untersucht werden.

Hierbei ist bei ständigem Wechsel des Angebotes aus dem Sekundärkreislauf (Li-Akkus der verschiedensten Bauweisen) eine Abschätzung der Umsetzung immer nur noch im Einzelfall möglich. Hintergrund ist dabei, dass ein Einschleusen in den konventionellen Prozess nur dann sinnvoll ist, wenn die daraus entstehende Abfälle (z.B. Filterkuchen, Abwässer, etc.) durch den sekundären Stoffstrom nicht zu Stoffen werden, die nur noch in einer Sonderverwertung entsorgt werden können.

Das Ergebnis der Bilanzierung und der Anlagentechnischen Auslegung ist verkürzt:

- Zinnwaldit kann zur Li-Gewinnung gefördert, aufbereitet, aufgeschlossen und konzentriert werden – technische Konzepte liegen nun vor
- Nasschemische und thermische Aufschlussverfahren sind gleichberechtigt mit leichtem Vorteil der thermischen Verfahren
- Die energetische Bilanzierung hat gezeigt:
 - Am Förderort Zinnwaldit Abscheiden und Konzentrieren
 - Material dorthin transportieren, wo bei thermischen Aufschluss die Abwärme genutzt werden kann
- Für hybriden Weg die sekundären Einsatzstoffe dezentral sammeln und in einen geeigneten Prozess einschleusen

7 Anlagen

7.1 Anlagen zum Fachbericht

7.1.1 Grundfließschemata: Trockenmagnetscheidung mit Röstung

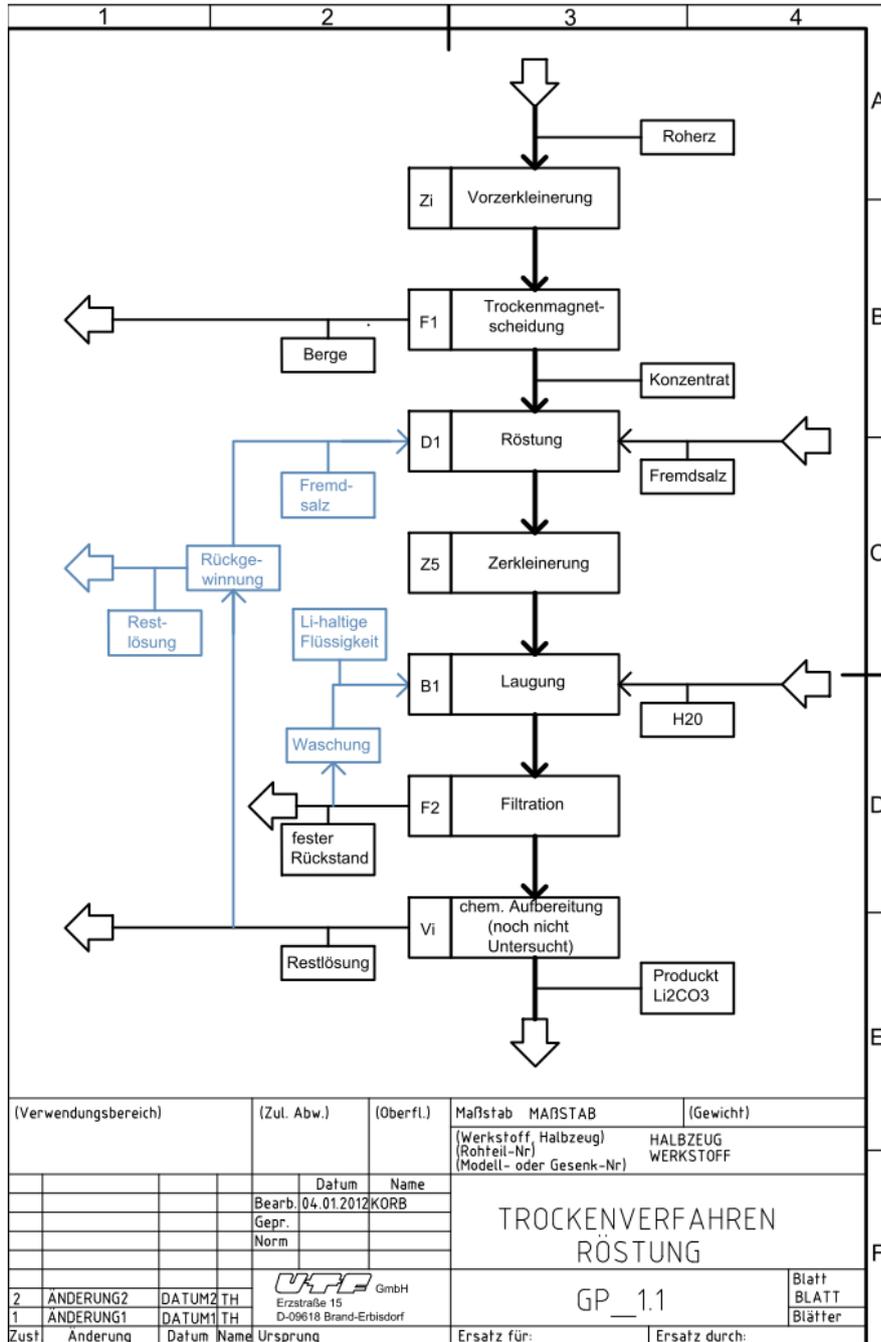


Abbildung 7-1 Abbildung Prozesskette GP_1.1

7.1.2 Grundfließschemata: Trockenmagnetscheidung mit Säureaufschluss

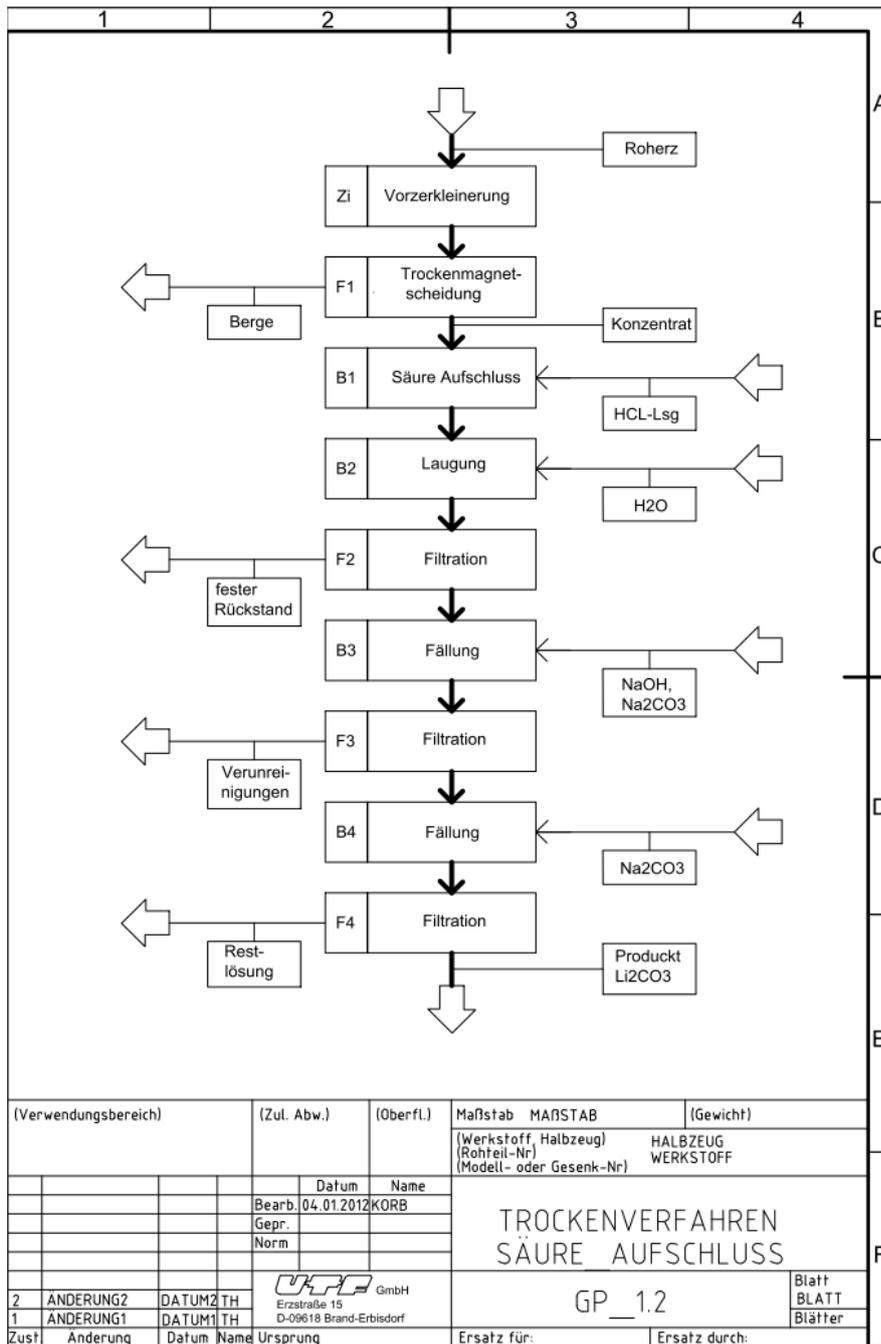


Abbildung 7-2 Abbildung Prozesskette GP_1.2

7.1.3 Grundfließschemata: Nassmagnetscheidung mit Röstung

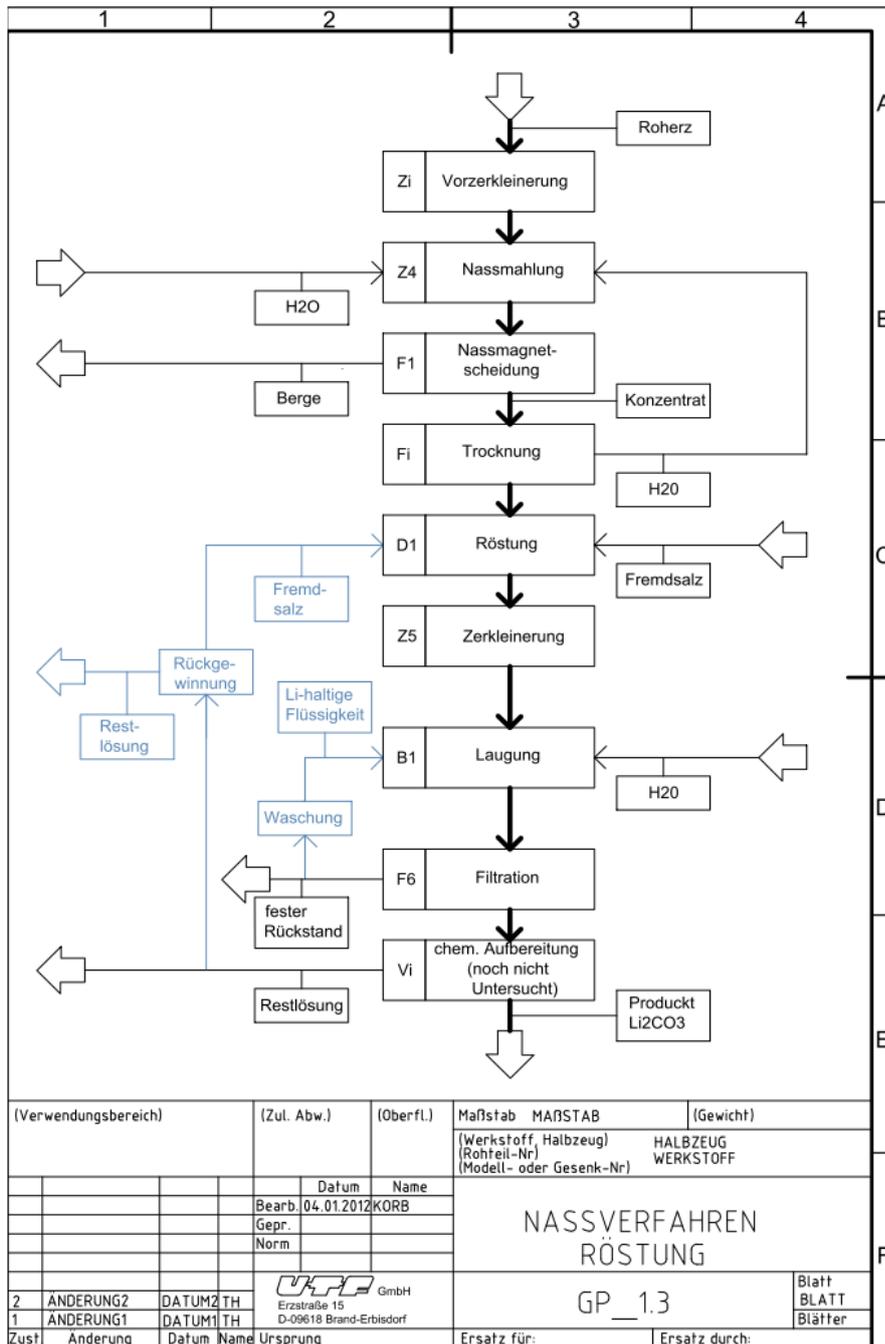


Abbildung 7-3 Abbildung Prozesskette GP_1.3

7.1.4 Grundfließschemata: Nassmagnetscheidung mit Säureaufschluss

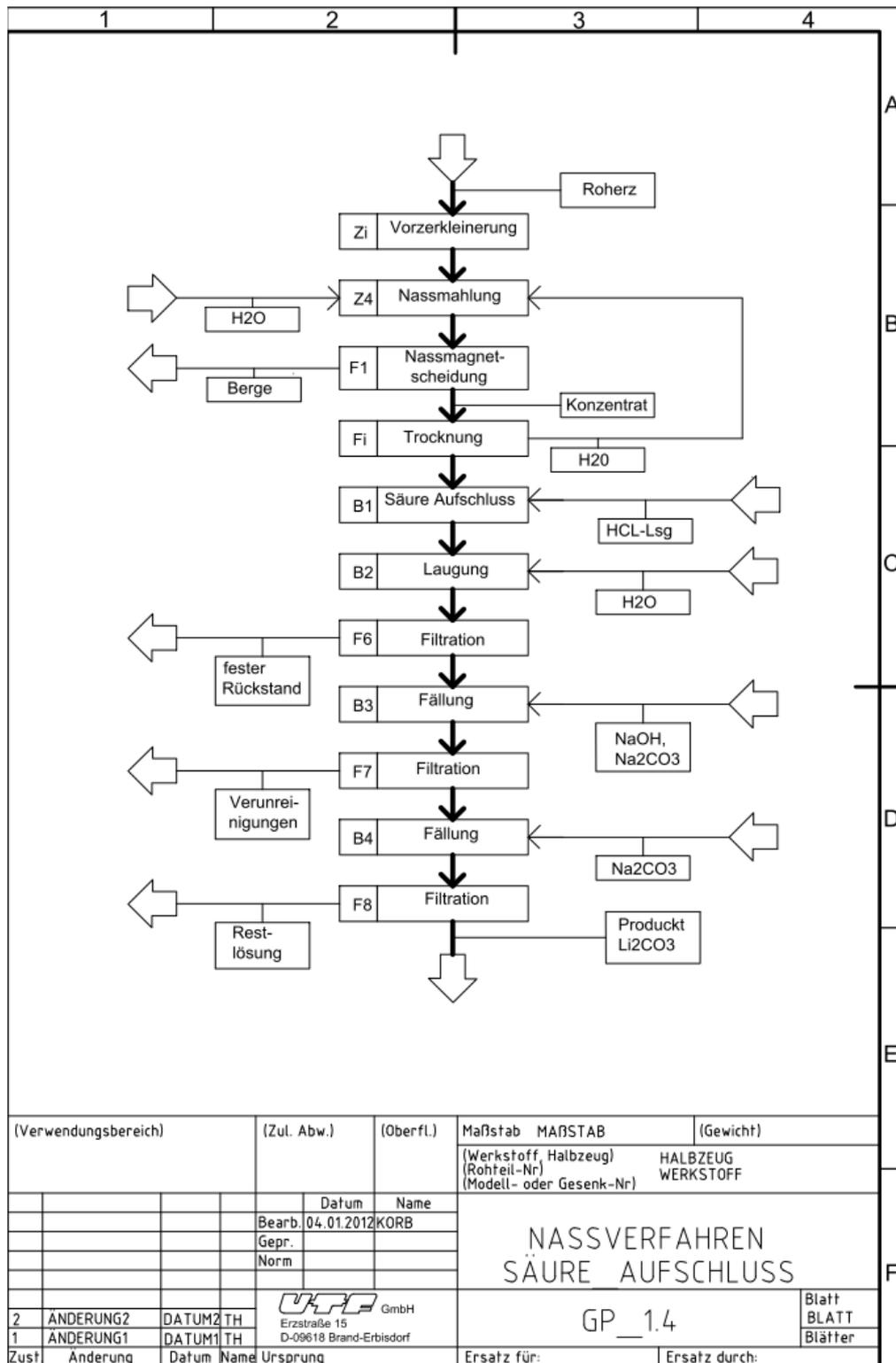


Abbildung 7-4 Abbildung Prozesskette GP_1.4

7.1.5 Zusammenstellung: Trockenmagnetscheidung mit Röstung

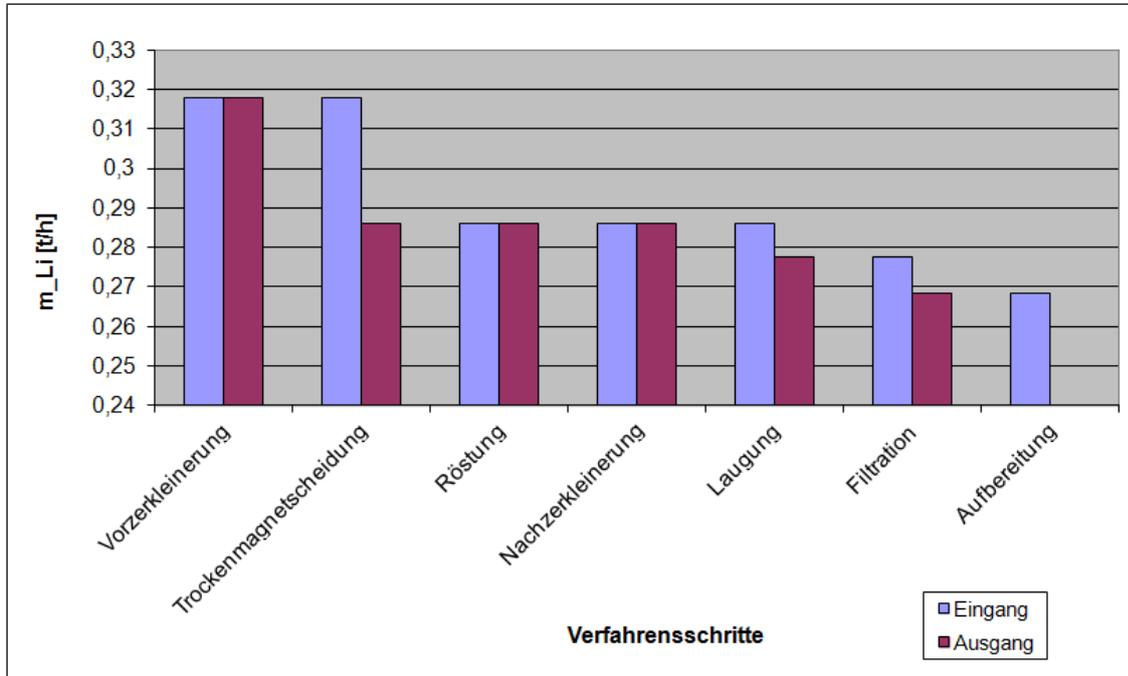


Abbildung 7-5: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h

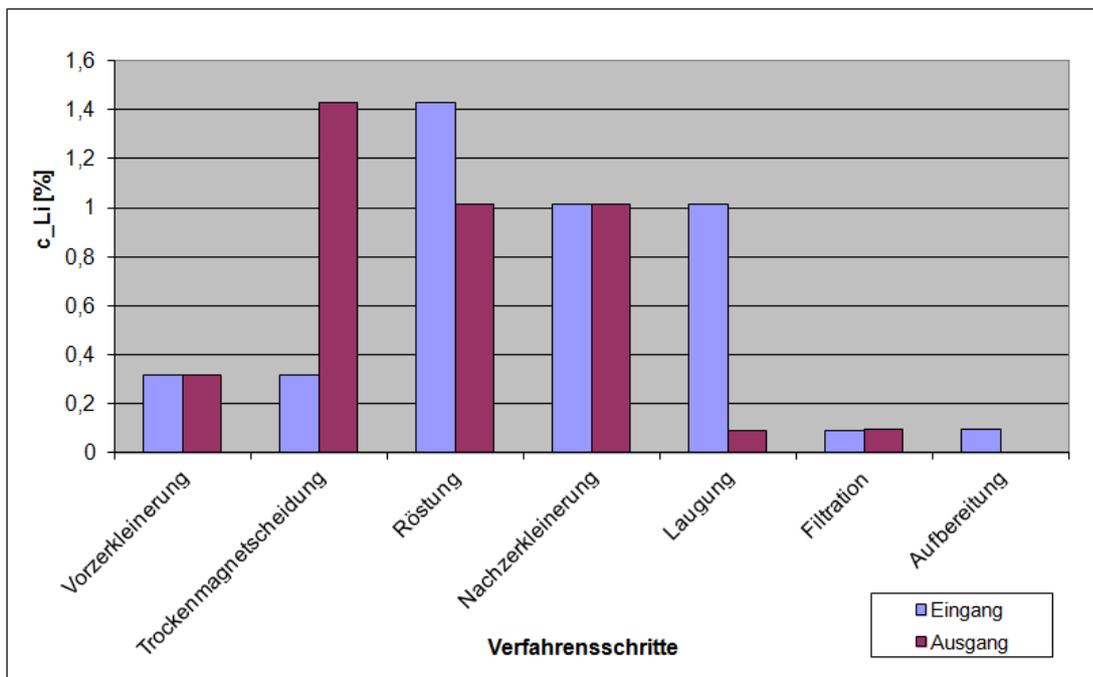


Abbildung 7-6: Lithium Konzentration im Verfahren

7.1.6 Zusammenstellung: Trockenmagnetscheidung mit Säureaufschluss

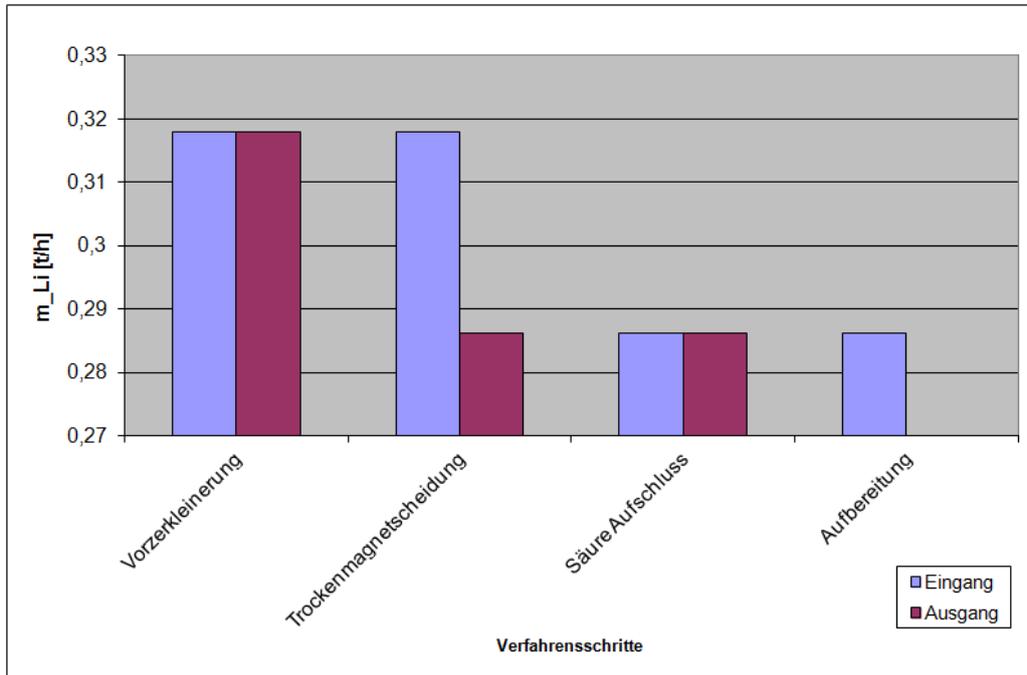


Abbildung 7-7: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h

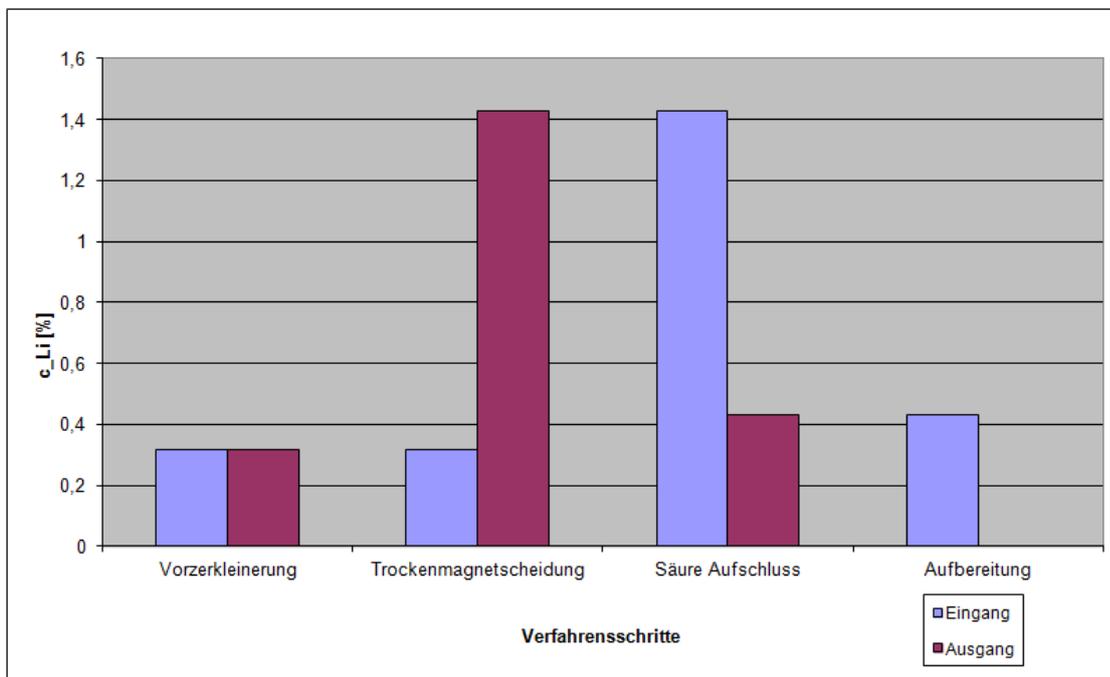


Abbildung 7-8: Lithium Konzentration im Verfahren

7.1.7 Zusammenstellung: Nassmagnetscheidung mit Röstung

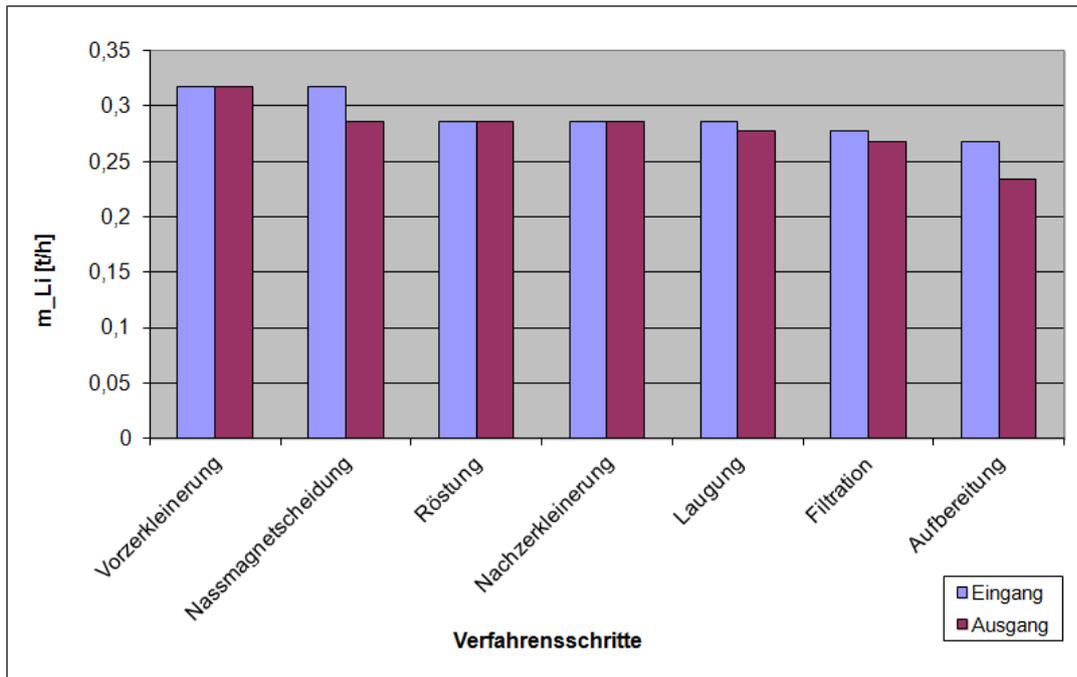


Abbildung 7-9: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h

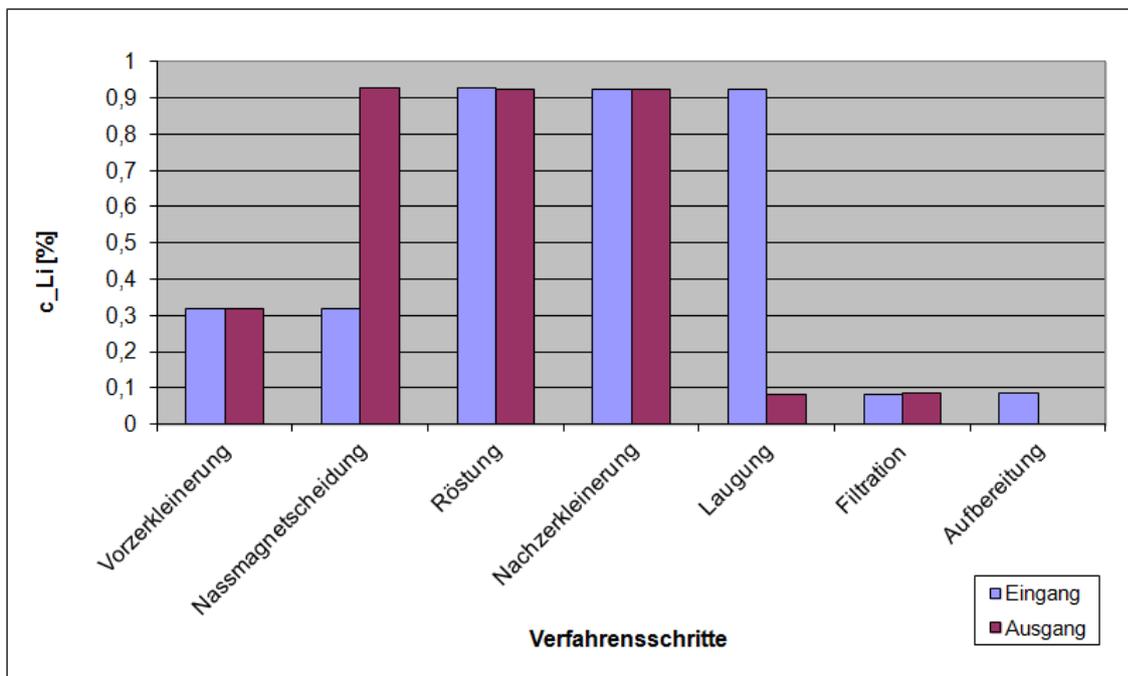


Abbildung 7-10: Lithium Konzentration im Verfahren

7.1.8 Zusammenstellung: Nassmagnetscheidung mit Säureaufschluss

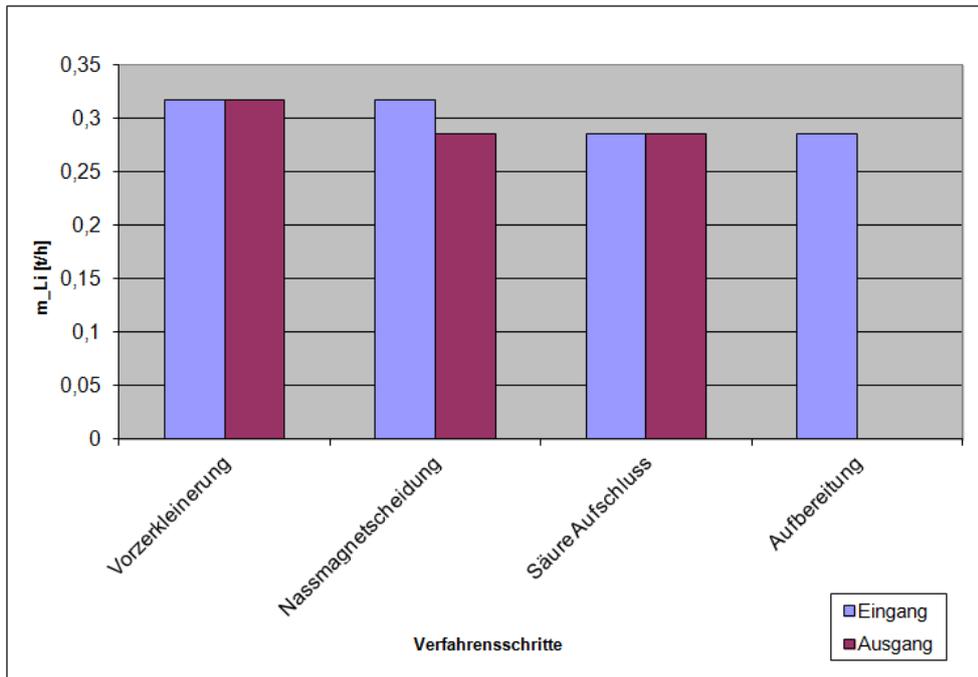


Abbildung 7-11: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h

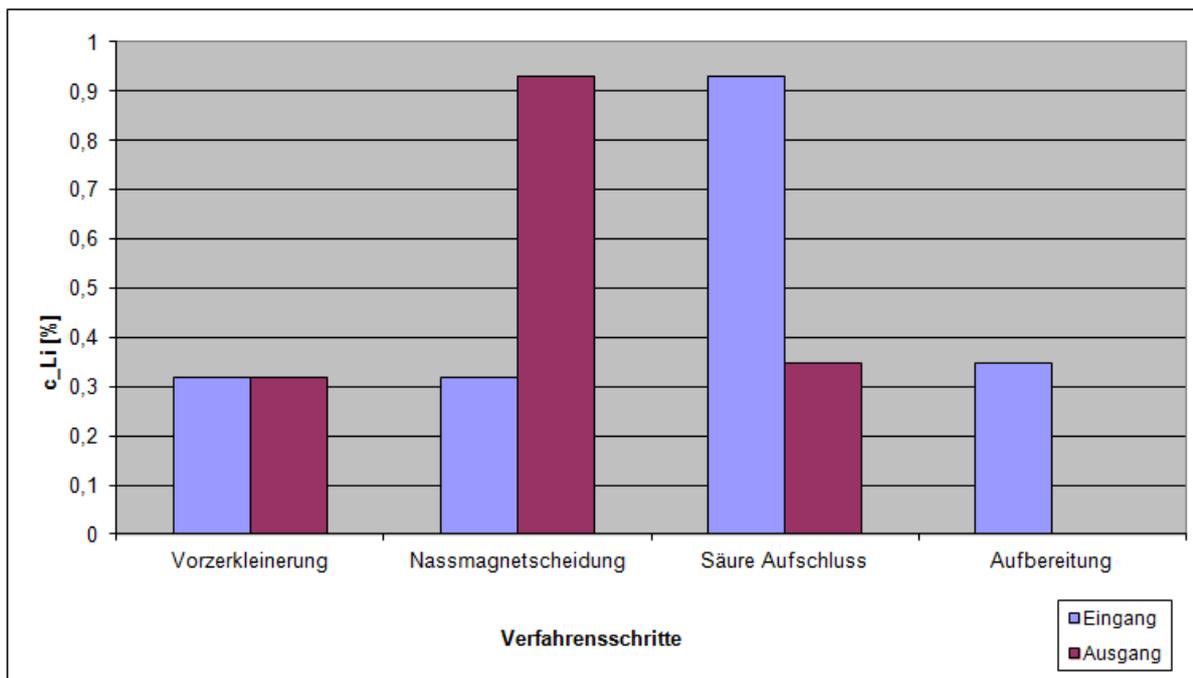


Abbildung 7-12: Lithium Konzentration im Verfahren

7.1.9 Detailaufstellung: Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225

Tabelle 7-1 Detaillierte Aufstellung der Bewertungsgrößen für die technische-wirtschaftliche Bewertung nach VDI2555

		Trockene Aufbereitung mit Röstung	Nasse Aufbereitung mit Röstung	Trockene Aufbereitung mit Säureaufschluss	Nasse Aufbereitung mit Säureaufschluss
		GP_1.1	GP_1.3	GP_1.2	GP_1.4
	100%	2,93	2,76	2,38	2,24
Technologie	60%	3,00	2,88	2,13	2,00
Druck		4	4	1	1
Temperatur		3	3	3	3
Mehrstufigkeit		3	3	2	2
Chemischer Aufwand		3	3	2	2
Entwicklungsaufwand		3	3	1	1
Masseströme		3	2	3	2
Hybridisierung		3	3	2	2
Pilotierbarkeit		2	2	3	3
Umweltrelevanz	20%	2,67	2,17	3,17	2,83
Abprodukte (fest)		2	2	3	3
Abprodukte (gasförmig)		2	2	3	3
Abprodukte (flüssig)		4	2	4	2
Einbindbarkeit in bestehende Ketten		4	3	3	3
Energieaufwand (primär)		2	2	4	4
Energieaufwand (sekundär)		2	2	2	2
Wirtschaftlichkeit	10%	3,00	3,00	2,00	2,00
Erlöse für Zwischenprodukte		3	3	2	2
Appartive Aufwand		3	3	2	2
Regionale Umsetzbarkeit	10%	3,00	3,00	2,75	2,75
Prozesskette		4	4	3	3
Produkte / Edukte		3	3	3	3
Arbeitskräfte / Know How		4	4	4	4
Einbindung überkritisches CO2		1	1	1	1

7.2 Übersicht Zeitplanung AP4 und Meilensteinplanung

Information: Aufführung nur Arbeitspaket 4

	Projektmonate																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
AP 1: Erschließung der Primärrohstoffe, Lagerstätten und Abbauszenarien																									
AP 4: Alternative Chemische Verfahren und Anlagenkonzepte																									
4.1. Alternative Aufschlussverfahren mit CO ₂																									
4.1.1. Aufschluss von Primärrohstoffen																									
4.1.2. Aufschluss von Schlacke																									
4.2. Gewinnung von Lithiumcarbonat																									
4.2.1. Vorbehandlung und chemische Prozessierung der Rohstoffströme																									
4.2.2. Reinigungsverfahren zur Herstellung handelsfähigen Lithiumcarbonats																									
4.3. Wertstoffe auf Fluorid-Basis																									
4.3.1. Verwertung von HF und Hexafluorkieselsäure																									
4.3.2. Verfahren für Trennung und Reinigung der Fluorsalze																									
4.4. Charakterisierung der Restlaugen zur Verwertung der Anfallprodukte																									
4.4.1. Potential von Cobalt und Nickel																									
4.4.2. Potential von Rubidium und Cäsium																									
4.4.3. Potential von Reinstquarz																									
4.4.4. Diskussion möglicher Trennverfahren für metallische Fraktionen																									
4.4.5. Produktanalytik und -charakterisierung																									
4.5. Anlagenkonzept für die Hybride Lithiumgewinnung																									
4.5.1 Konzeptstudie „Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht“																									
4.5.2. Energiebilanzierung und Integration																									
4.5.3 Abschätzung von Anlagenkosten																									

GEFÖRDERT VOM

7.3 Literatur

Diese Quellenangabe gilt kumulativ und stellt eine gekürzte Auswahl der verwendeten Literatur dar.

- [1] Scholz, R.; Beckmann, M.; Schulenburg, F.: Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. Wiesbaden: B.G. Teubner GmbH, 2001
- [2] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3460 Emissionsminderung – Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung. Düsseldorf: Beuth-Verlag GmbH, 2007
- [3] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2225 Konstruktionsmethodik / Technisch-wirtschaftliches Konstruieren / Technisch-wirtschaftliche Bewertung. Düsseldorf: Beuth-Verlag GmbH, 1998
- [4] DIN 2403 (Mai 2007). Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff.
- [5] DIN 51622 (Dezember 1985). Flüssiggase - Propan, Propen, Butan, Buten und deren Gemische – Anforderungen.
- [6] DIN 51857 (März 1997). Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase - Berechnung von Brennwert, Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex von Gasen und Gasgemischen.
- [7] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes: 13. BImSchV (Stand: 27.01.2009). Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen.
- [8] Spliethoff, H. (2000). Verbrennung fester Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung – Verfahren und Stand der Technik – Wirkungsgrad, Betrieb, Emissionen und Reststoffe. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 6, Nr. 443. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH

7.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Schematische Darstellung von spezifischen Investitionskosten für Anlagen ..	17
Abbildung 5-1: Einsatzgrenzen für Aufbereitungsmaschinen zur Zerkleinerung von Gesteinen	27
Abbildung 5-2 Beispiel für eingehenden und ausgehende Stoffströme	28
Abbildung 5-3: Beispiel für Excel-Bilanzierungsschritt Vorzerkleinerung (Z1-Z4)	29
Abbildung 5-4: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h im Verfahren Trockene Aufbereitung mit Röstung	30
Abbildung 5-5 Einstufige Abscheidung mit Magnetabscheider	31
Abbildung 5-6 Erweiterung der Bilanzierung bei Mehrstufigkeit	32
Abbildung 5-7: Material-Austrag in Stufe 1 und Stufe 2 – Stufe 3 nicht darstellbar	34
Abbildung 5-8 Prozessoptimierung einstufiger (Fall 1), zweistufiger (Fall 2) und dreistufiger (Fall3) Magnetabscheidung	35
Abbildung 5-9 Berechnungsbeispiel als Ausschnitt aus Globalbilanzierung (Drehrohrofen) ..	36
Abbildung 5-10: Wesentliche Energiebedarf der Trockene Aufbereitung mit Röstung nicht normiert (linke Darstellung)	38
Abbildung 5-11: Wesentliche Energiebedarf der Trockene Aufbereitung mit Röstung normiert (rechte Darstellung)	38
Abbildung 5-12 Grafische Darstellung der Variation der Gewichtungsfaktoren	48
Abbildung 5-13: Konzept & Konstruktion für Reaktor zu Aufschlussuntersuchungen von Li-haltigen Roherzen	51
Abbildung 5-14 Übersichtsdarstellung Technikumsreaktor mit Schaltschrank	53
Abbildung 5-15: Übersichtszeichnung Technikumsreaktor - Ansicht von der Seite	54
Abbildung 5-16 Übersichtszeichnung Technikumsreaktor - Ansicht: von oben	54
Abbildung 5-17 Baugliedplan Technikumsanlage Roherz Aufschluss mit Säure	55
Abbildung 5-18 Übersichtsdarstellung der Hochdruckaufschluss Anlage mit Hybrid-Funktion	58
Abbildung 5-19 Hochdruckversuchsstand mit optionaler Nutzung von Kohlendioxid aus Flaschenversorgung	59
Abbildung 7-1 Abbildung Prozesskette GP_1.1	64
Abbildung 7-2 Abbildung Prozesskette GP_1.2	65
Abbildung 7-3 Abbildung Prozesskette GP_1.3	66

Abbildung 7-4: Abbildung Prozesskette GP_1.4	67
Abbildung 7-5: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h	68
Abbildung 7-6: Lithium Konzentration im Verfahren	68
Abbildung 7-7: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h	69
Abbildung 7-8: Lithium Konzentration im Verfahren	69
Abbildung 7-9: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h	70
Abbildung 7-10: Lithium Konzentration im Verfahren	70
Abbildung 7-11: Masseströme Lithium bei einem bilanzierten Durchsatz von 100 t/h	71
Abbildung 7-12: Lithium Konzentration im Verfahren	71

7.5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1 Nomenklatur Bilanzierung.....	31
Tabelle 5-2 Mögliche Zusätzliche Lithiumausbeute bei Mehrstufigkeit der Magnetabscheidung	33
Tabelle 5-3 Vergleichsfaktoren für energetische Bewertung	37
Tabelle 5-4 Energetischer Vergleich.....	39
Tabelle 5-5 Variantenvergleich nach VDI 2555.....	45
Tabelle 5-6 Gewichtungsfaktoren für Variantenvergleich nach DVI 2555	47
Tabelle 5-7 Ergebnisse der Variation der Gewichtung der Faktoren für Variantenvergleich..	48
Tabelle 5-8 Bezeichnung der Hauptkomponenten	54
Tabelle 5-9 Bezeichnung der Hauptkomponenten	58
Tabelle 7-1 Detaillierte Aufstellung der Bewertungsgrößen für die technische-wirtschaftliche Bewertung nach VDI2555.....	72

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Nicht geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlußbericht
3. Titel Wachstumskern Potenzial – Verbundprojekt: Hybride Lithiumgewinnung Teilprojekt 5: Technische Umsetzung aus anlagentechnischer Sicht	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Weigl, Sebastian	5. Abschlussdatum des Vorhabens Februar 2013
	6. Veröffentlichungsdatum Nicht geplant
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) UTF GmbH Erzstraße 15 09618 Brand-Erbisdorf Deutschland	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03WKP18C
	11. Seitenzahl 77
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 8
	14. Tabellen 10
	15. Abbildungen 32
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Für die Umsetzung einer kleintechnischen Lösung „Hybride Lithiumgewinnung“ (Technikumsmaßstab) ist eine Konzeptstudie zur Umsetzung der chemischen und hydrometallurgischen Verfahren entstanden. In dieser Studie wird ergebnisoffen auf Basis verschiedenster möglicher Reaktortypen und Prozessketten eine technische Umsetzung überprüft. Hierbei wurde im Detail auch die Machbarkeit einer großtechnischen Umsetzung überprüft und berücksichtigt. Die Energiebilanz ermöglicht die Bewertung von anfallenden Potentialen bzw. Enthalpieströmen bei verschiedenen Prozessen. Anhand der Schaltung der Prozesse und der Abschätzung konstruktiver Randbedingungen ist eine energetische Bilanzierung erfolgt. Darauf aufbauend ist eine Integration der Prozessketten erfolgt und die Einbindung peripherer Stoffströme – in dem Fall als Hybridisierung. Es hat sich gezeigt, dass Abwärme aus Hochtemperaturprozesse (z.B. Rösten) sinnvoll in Prozessen der Laugung eingebunden werden kann. Dadurch lässt sich nun der Einsatz von Primärenergieträgern reduzieren.	
19. Schlagwörter Bilanzierung Gesamtverfahren, Konzept kleintechnische Umsetzung	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN Not planend	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Wachstums-kern Potenzial – Collaborative Project: Hybrid lithium extraction Subproject 5: Technical implementation of investment-technical perspective	
4. author(s) (family name, first name(s)) Weigl, Sebastian	5. end of project February 2013
	6. publication date Not planed
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) UTF GmbH Erzstraße 15 09618 Brand-Erbisdorf Deutschland	9. originator's report no.
	10. reference no. 03WKP18C
	11. no. of pages 77
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 8
	14. no. of tables 10
	15. no. of figures 32
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract For a semi technical solution „Hybride Lithiumgewinnung“ is done a concept study based on chemical and hydro metallurgic processes. Different solutions are discussed based on different technical processes and reactors. All this is done by taking in account having later an industrial solution. A balance and energy calculation makes it possible to identify potentials, enthalpy levels at different processes. With the plan of processes and an approximation of design it is possible to have technical and energy calculations. Based on those basic processes it is done an energy integration and implementation of peripheral material and good streams – also called hybridisation. It is shown that over all processes it is necessary to recover heat and energy. This will reduce the impact of energy costs and raise the recovery of lithium.	
19. keywords Calculation main process, concept for a small technical solution	
20. publisher	21. price