

Abschlussbericht

ROBEHA

Nutzung des Rohstoffpotenzials von Bergbau- und Hüttenhalden
unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes

Zuwendungsempfänger: Dorfner Analysenzentrum und Anlagenplanungsgesellschaft mbH (ANZAPLAN)	Förderkennzeichen: 033R105G
Vorhabenbezeichnung: ROBEHA - Nutzung des Rohstoffpotenzials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes Arbeitspaket 3.2 - Aufbereitung TP5: Aufbereitung Nichtmetallfraktion	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2012 – 31.10.2015	Berichtszeitraum: 01.08.2012 – 31.10.2015

Bearbeitung

PD Dr. Reiner Haus

Dr. Sebastian Prinz

B.Eng. Thomas Felbinger

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Siegert

Hirschau, 28. April 2015

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht	
3. Titel BMBF Förderschwerpunkt r³ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. „Nutzung des Rohstoffpotenzials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes (Robeha)“ – AP 3.2 Aufbereitung, TP5: Aufbereitung Nichtmetallfraktion		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] PD Dr. Reiner Haus Dr. Sebastian Prinz Dipl. (FH) Johannes Siegert B.Eng. Thomas Felbinger	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.15	6. Veröffentlichungsdatum 28.04.2016
	7. Form der Publikation	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Dorfner Analysenzentrum und Anlagenplanungsgesellschaft mbH (ANZAPLAN) Scharhof 1 92242 Hirschau	
12 Fördernde Institutionen (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 033R105G	
	11. Seitenzahl 176	
16. Zusätzliche Angaben	13. Literaturangaben 26	
	14. Tabellen 72	
	15. Abbildungen 68	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Mit dem beantragten Forschungsvorhaben sollte eine umfassende Bewertung von Bergbau- und Hüttenhalden geprüft werden, für die einerseits aus rohstoffwirtschaftlicher Sicht und andererseits aus einer umweltbezogenen Betrachtung ein Haldenrückbau in Frage kommt. Dorfner ANZAPLAN hat seinen Schwerpunkt in der Nutzbarmachung der nichtmetallhaltigen Haldenreststoffe. Angestrebt wird die Erschließung von neuen Märkten für die durch innovative Aufbereitungstechniken (u.a. elektrodynamische Zerkleinerung, sensorbasierte Sortierung) weiterveredelten nichtmetallischen Haldenreststoffe, die einen erheblichen Anteil des Haldenmaterials darstellen und deren Miteinbeziehung in die Nutzung einen nicht zu vernachlässigenden positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Haldenrückbaus haben könnte. Als Verwertungsmöglichkeiten kann die Nutzung des Materials als Sekundärrohstoff (rezyklierter Zuschlagstoff) in Betracht gezogen werden. Hierunter fallen unter anderem folgende Anwendungen: Asphaltgranulat, Betongranulat oder Mischabbruchgranulat. Würde man das Pochsandhaldenmaterial als „rezyklierten Brechsand“ (≤ 4 mm) ansehen, so würde dieser nach der Aufbereitung nach DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ die Spezifikationen für die bis jetzt analysierten Parameter erfüllen; die Verwendungsfähigkeit vor dem Hintergrund der erhöhten Bleigehalte im Feststoff müsste jedoch noch geklärt werden..		
19. Schlagwörter Erzbergbauhalden, Pochsandhalde, innovative Aufbereitungsmethoden, elektrodynamische Zerkleinerung, sensorbasierte Sortierung, Nutzbarmachung der Nichtmetallfraktion ,		
20. Verlag	21. Preis	

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report	
3. title BMBF Funding Priority r³ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. (Innovative Technologies for Resource Efficiency – Strategic Metals and Minerals) „Using the Raw Material Potential of Mining and Mill Stockpiles While Taking Sustainability into Account, Example West Harz (ROBEHA)“ – AP 3.2 Processing TP5: Processing of not metal fraction		
4. author(s) (family name, first name(s)) PD Dr. Reiner Haus Dr. Sebastian Prinz Dipl. (FH) Johannes Siegert B.Eng. Thomas Felbinger	5. end of project 31.10.15	
	6. publication date 28.04.2016	
	7. form of publication	
8. performing organization(s) (name, address) Dorfner Analysenzentrum und Anlagenplanungsgesellschaft mbH (ANZAPLAN) Scharhof 1 D - 92242 Hirschau	9. originator's report no.	
	10. reference no. 033R105G	
	11. no. of pages 176	
12 sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 26	
	14. no. of tables 72	
	15. no. of figures 68	
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract A comprehensive evaluation of mining stockpiles should be covered with the requested research project. Dorfner ANZAPLAN has focused on the utilization of non-ferrous stockpile materials. Aim of the process is the development of new markets by application of innovative processing techniques (electrodynamic fragmentation, sensor-based sorting) for further processed non-ferrous shares of the stockpiles. The share of non-ferrous ingredients in the stockpiles is significant and further processing may have a positive influence on economics. One possible application is the usage as secondary raw material, covering following applications: asphalt granulate, concrete granulate. Stamp mill sand hill material as "recycled crushed sand" (≤ 4 mm) would fulfill requirements of DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“, but show a elevated lead content compared to LAGA.		
19. keywords stockpiles, stamp mill sand hills, innovative processing methods, electrodynamic comminution, sensor based sorting, utilization of non metal fraction		
20. publisher	21. price	



Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund.....	12
2	Angewandte Techniken und Prozeduren	15
2.1	Mineralogische Untersuchungen	16
2.1.1	Röntgenbeugungsanalyse	16
2.1.2	Mineral Liberierungs-Analyse (MLA)	17
2.2	Chemische Untersuchungen	18
2.2.1	Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie	18
2.2.2	Spurenelementanalytik	20
2.2.3	Meßprinzip des ICP- Emissionsspektrometers :.....	21
2.3	Mineralische Aufbereitung	21
2.3.1	Klassifikation	21
2.3.2	Sensorbasierte Sortierung	22
2.3.3	Zerkleinerung	23
2.3.3.1	Walzenbrecher	23
2.3.3.2	Elektrodynamische Zerkleinerung	23
2.3.4	Attrition	25
2.3.5	Flotation.....	25
2.3.6	Magnetscheidung	26
2.3.6.1	Bandmagnetscheidung	26
2.3.6.2	Suspensionsmagnetscheidung.....	27
2.3.7	Elektrostatische Sortierung.....	27
2.3.8	Nassherd (Rütteltisch)	28
3	Analysen und Ergebnisse der Versuche	29
3.1	Chemische Analyse des Ausgangsmaterials	29



3.2 Aufbereitungsversuche	32
3.2.1 Sensorbasierte Sortierung	33
3.2.2 Konventionelle Zerkleinerung (Walzenbrecher).....	36
3.2.3 Attrition	39
3.2.4 Elektrodynamische Zerkleinerung	41
3.2.5 Vergleich konventionelle Zerkleinerung mit elektrodynamischer Zerkleinerung (Mineralische Liberierung).....	46
3.2.6 Magnetscheidung	55
3.2.6.1 Bandmagnetscheidung	55
3.2.6.2 Suspensionsmagnetscheidung.....	59
3.2.7 Flotation.....	63
3.2.8 Nassherd.....	67
3.2.9 Elektrostatische Sortierung	69
3.3 Kombinierte Aufbereitungsversuche	73
3.4 Aufbereitung der Reststoffe aus der Aufbereitung / Nutzbarmachung der Metallfraktion.....	75
3.5 Eluationsversuche.....	75
4 Verwertungsmöglichkeiten	77
4.1 Mineralische Nichtmetall Produkte.....	77
4.1.1 Quarz	77
4.1.2 Dolomit.....	77
4.1.3 Baryt	78
4.2 Sekundärrhstoff (Recyclingbaustoffe)	78
5 Zusammenfassung und Fazit.....	81
6 Literaturverzeichnis	84
7 Hinweis zum Verfahren und den Ergebnissen (Disclaimer)	88



8 Anhang (Versuchsparameter und Analysenergebnisse) 89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Chemische Charakterisierung der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt (14 Probenahmestellen), gemessen mittels RFA und ICP	31
Tabelle 2:	Analysenergebnisse der Fraktion > 1 mm nach optischer Sortierung, gemessen mittels RFA.....	36
Tabelle 3:	Chemische Analyse des Ausgangsmaterials nach Siebung und konventioneller Zerkleinerung, gemessen mittels RFA und ICP	38
Tabelle 4:	Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Attrition, gemessen mittels RFA und ICP	40
Tabelle 5:	Einstellungen und Massenverteilung der elektrostatischen Sortierungen	43
Tabelle 6:	Chemische Analyse der Fraktion > 0,3 mm zerkleinert mittels elektrodynamische Fragmentierung (Versuch V1-V3) , gemessen mittels RFA und ICP	44
Tabelle 7:	Chemische Analyse der Fraktion > 0,3 mm zerkleinert mittels elektrodynamische Fragmentierung (Versuch V4) , gemessen mittels RFA und ICP.....	45
Tabelle 8:	Mineralogische Hauptbestandteile bestimmt mittels MLA	48
Tabelle 9:	Übersicht über die Versuchsparameter der Bandmagnetscheidungen	56
Tabelle 10:	Massenverteilung der Bandmagnetscheidungen	56



Tabelle 11:	Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Bandmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP	57
Tabelle 12:	Chemische Analyse der selektiv fragmentierten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Bandmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP	58
Tabelle 13:	Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,04 – 0,1 mm nach Suspensionsmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP.....	61
Tabelle 14:	Chemische Analyse der selektiv fragmentierten Fraktion 0,04 – 0,1 mm nach Suspensionsmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP.....	62
Tabelle 15:	Übersicht über die Versuchsparameter der Flotationen, Fraktion 0,1 - 0,3 mm.....	65
Tabelle 16:	Chemische Analyse der mittels konventioneller und elektrodynamischer Zerkleinerung hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm, gemessen mittels RFA und ICP	65
Tabelle 17:	Übersicht über die Versuchsparameter der Flotationen, Fraktion 0,04 – 0,1.....	66
Tabelle 18:	Chemische Analyse der mittels konventioneller und elektrodynamischer Zerkleinerung hergestellten Fraktion 0,04 – 0,1 mm nach Flotation, gemessen mittels RFA und ICP	66
Tabelle 19:	Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Nassherd Aufbereitung, gemessen mittels RFA und ICP	68



Tabelle 20:	Einstellungen und Massenverteilung der elektrostatischen Sortierungen	71
Tabelle 21:	Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach elektrostatischer Sortierung, gemessen mittels RFA und ICP	72
Tabelle 22:	Übersicht über die Versuchsparameter der Flotationen.....	74
Tabelle 23:	Chemische Analyse der mittels elektrodynamischer Zerkleinerung hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm und 0,04 – 0,1 mm nach Flotation, gemessen mittels RFA und ICP	74
Tabelle 24:	Chemische Analyse von Eluationsversuchen (S4 Eluat) verschieden aufbereiteter Fraktionen aus der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt, gemessen mittels ICP	76
Tabelle 25:	Chemische Analyse von Eluationsversuchen (S4 Eluat) verschieden aufbereiteter Fraktionen aus der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt verglichen mit DIN 4226-100, gemessen mittels ICP	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Luftbild der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt (Gebiet Clausthal, Landkreis Goslar) [1]	13
Abbildung 2:	Ausschnitt einer Landkarte, abgebildet ist die Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt (Gebiet Clausthal, Landkreis Goslar) [1]	14
Abbildung 3:	Drei PANalytical MPD Pro Röntgenpulverdiffraktometer zur mineralogischen Analyse von Gesteinen und speziellen Tonen [2].....	17
Abbildung 4:	Schematische Darstellung einer optischen Sortiereinheit für feinkörnige Produkte (links) und Innenansicht einer Sortiereinheit zur Visualisierung des Sortierprozesses (rechts)	23
Abbildung 5:	Elektrodynamische Labor-Zerkleinerungs Anlage (SELRAG AG) [13].....	24
Abbildung 6:	Röntgenbeugungsanalyse einer Durchschnitprobe der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt	30
Abbildung 7:	Korngrößen-Summenkurve des Ausgangsmaterials Bergwerkswohlfahrt	30
Abbildung 8:	Prozessschritte Aufbereitung Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt	33
Abbildung 9:	Prinzipskizze der optischen Sortierung	34
Abbildung 10:	Vergleich der Fraktionen Eject (links, hell) und Reject (rechts, dunkel) nach der optischen Sortierung	35
Abbildung 11:	Vergleich der Mineral Liberation Analysis der konventionell gebrochenen (links) und der mittels elektrodynamischer Zerkleinerung (rechts) erhaltenen Fraktion 0,1-0,3 mm (V1-V3)	46



Abbildung 12: Balkendiagramm der Massenverteilung von Quarz (MLA) 49

Abbildung 13: Balkendiagramm der Massenverteilung von Baryt (MLA) 50

Abbildung 14: Balkendiagramm der Massenverteilung von Fe-Dolomit (MLA) 51

Abbildung 15: Balkendiagramm des Liberierungs Grades von Quarz (Unlocked, MLA) 52

Abbildung 16: Balkendiagramm des Liberierungs Grades von Baryt(Unlocked, MLA) 53

Abbildung 17: Balkendiagramm des Liberierungs Grades von Fe-Dolomit (Unlocked, MLA) 54

Abbildung 18: Vergleich der Fraktion 0,04 – 0,1 mm Mag (links, dunkel) und NonMag (rechts, hell) nach der Suspensionsmagnetscheidung des elektrodynamisch zerkleinerten Materials 60

Abbildung 19: Prinzipskizze eines Freifallscheiders mit positiver und negativer Elektrode und den Splittern am Boden 70

1 Hintergrund

Das Projekt „ROBEHA: Nutzung des Rohstoffpotentials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes“ ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Projekt, mit dem Förderschwerpunkt r³ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Strategische Metalle und Mineralien. Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, die unterschiedlichen Aspekte des Haldenrückbaus aus rohstoffwirtschaftlicher und umweltbezogener Sicht zu einer Gesamtbewertung im Sinne der Nachhaltigkeit zusammenzuführen. Mit dem beantragten Forschungsvorhaben soll eine umfassende Bewertung von Bergbau- und Hüttenhalden möglich werden, für die einerseits aus rohstoffwirtschaftlicher Sicht und andererseits aus einer umweltbezogenen Betrachtung ein Haldenrückbau in Frage kommt. Durch die mögliche Übertragung der Ergebnisse auf Haldenstandorte in anderen Ländern sowie mit anderen Rohstoffinhalten erlangt das beantragte Forschungsvorhaben eine besondere Bedeutung.

Eine Halde im Harz wurde als Beispielraum für die Aufbereitungsversuche gewählt, da eine gute Datengrundlage vorliegt und die Daten zur Bewertung von Halden exemplarisch berücksichtigt werden können. Die Projektpartner haben sich darauf geeinigt, die Pochsandhalde „Bergwerkswohlfahrt“ in Clausthal als Beispielhalde für physikalische Aufbereitungsversuche zu verwenden (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Die Halde erstreckt sich auf eine Fläche von 1,5 ha und besitzt ein Volumen von ca. 50.000 m³. Ausschlagend sind hier nicht die Rohstoffreserven sondern die Bearbeitungsmöglichkeiten. Hauptbestandteil der Halde ist Quarz (SiO₂). Außerdem wurden Spuren von Galenit (PbS), Cerrusit (PbCO₃), Baryt (BaSO₄), Ankerit (CaFe[CO₃]₂) und Muskovit (KAl₂[(OH,F)₂AlSi₃O₁₀]) in der Halde nachgewiesen.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde von dem Projektpartner „Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik“ (IFAD) eine Probe genommen und dort von Dorfner ANZAPLAN abgeholt. Die Gesamtmenge des Probenmaterials betrug ca. 100 kg. Am Freitag, den 08.11.2013 traf die Probe der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt für die Aufbereitungsversuche in Hirschau ein.

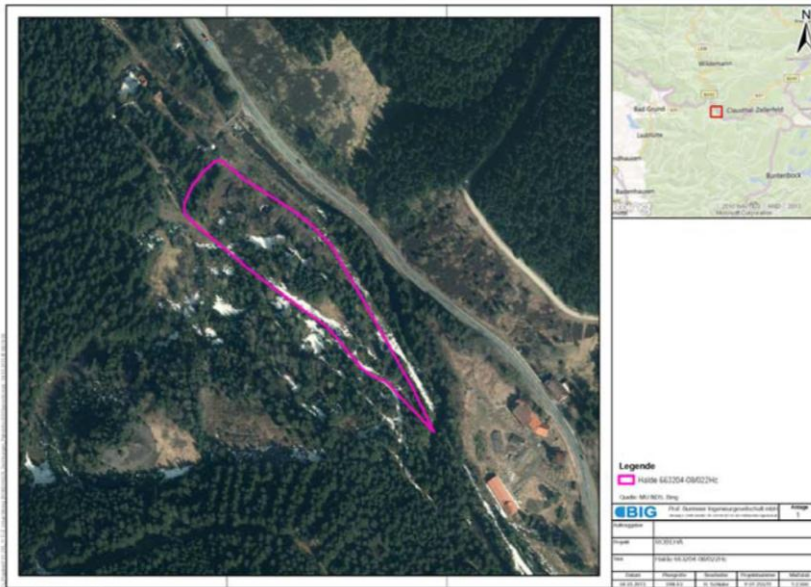


Abbildung 1: Luftbild der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt (Gebiet Clausthal, Landkreis Goslar) [1]

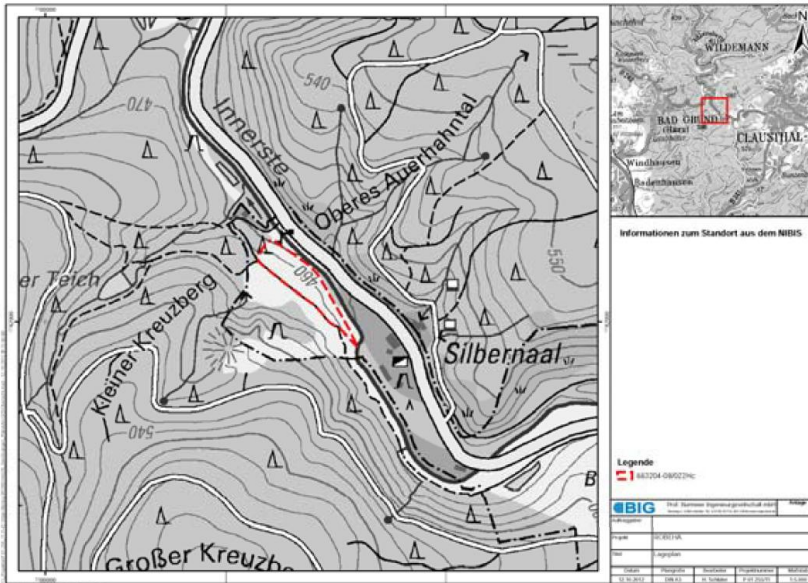


Abbildung 2: Ausschnitt einer Landkarte, abgebildet ist die Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt (Gebiet Clausthal, Landkreis Goslar) [1]

Neben der Pochsandhalde wurde noch ein zweiter Haldentyp, eine Schlackenthalde mineralogisch und geophysikalisch untersucht. Die Wahl fiel auf die Schlackenthalde Ochsenhütte am Granestausee mit einer Fläche von rund 9.080 m². Von einer physikalischen Aufbereitung der nicht metallhaltigen Haldenreststoffe wurde aufgrund der homogenen und fein verteilten Wertbestandteile abgesehen.

Eine besondere Bedeutung erlangt das beantragte Forschungsvorhaben durch die mögliche Übertragung der Ergebnisse auf Standorte in anderen Ländern. Aufgrund der steigenden Nachfrage des Weltmarktes nach Rohstoffen, gewinnt die Idee der Rückgewinnung von Ressourcen aus anthropogenen Lagern, die lange als zu unwirtschaftlich galt, immer mehr an Bedeutung. Der Begriff des „urban mining“ erfasst den geordneten Rückbau von Deponien und Altablagerungen, den Zugriff auf Gebäude- und Infrastrukturbestand, sowie die Nutzbarmachung von Bergbau- und Hüttenhalden als Rohstoffquelle. Damals aufgeschüttete Gewinnungs- und Verarbeitungsrückstände lassen teilweise noch Metallgehalte in

nennenswerten Größenordnungen erwarten (Beispiel: Zink z.T. größer 10 Ma.-%). Andererseits können von Halden erhebliche Einwirkungen auf Umweltmedien resp. Schutzgüter ausgehen, etwa in Form von belastetem Sickerwasser oder durch eine Verfrachtung fester Schadstoffe durch Erosionsvorgänge. In jedem Fall stellt der Haldenrückbau einen Eingriff in die Natur und die Landschaft dar, dessen Auswirkungen genauso zu berücksichtigen sind wie die entstehenden Emissionen und Abfälle.

Zentraler Baustein des Vorhabens ist die Entwicklung und der Aufbau eines multikriteriellen Bewertungskonzepts. Grundlage für die Bewertung im Sinne der Nachhaltigkeit sind dabei Informationen zum Wertstoffpotential der Halden, zu den Indikatoren aus dem ökologisch-/gesellschaftlichen Bereich und zu den rückbau- und aufbereitungsbezogenen Randbedingungen.

Dorfner ANZAPLAN verbindet modernste Analysemethoden, hochqualifizierte Ingenieurdienstleistungen und wissenschaftliche Kenntnisse auf dem Gebiet der Aufbereitungs- und Verfahrenstechnik von mineralischen Rohstoffen. Im Zuge der Aufbereitung sollen für die Nutzbarmachung der vorliegenden Materialien und der Gewinnung neuer Zielprodukte verschiedene Verfahren auf ihre spezifische Eignung in Kombination mit neu zu entwickelnden Prozessketten geprüft werden. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt für die ANZAPLAN in der Nutzbarmachung der Nichtmetallfraktion.

2 Angewandte Techniken und Prozeduren

Sämtliche Analysen wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt.

2.1 Mineralogische Untersuchungen

2.1.1 Röntgenbeugungsanalyse

Zur Identifikation der Kristallstruktur wurden Röntgenbeugungsanalysen (XRD) nach DIN 13925 bei der BGR durchgeführt.

Für die Röntgenographische Phasenanalyse (XRD) stehen dort drei PANalytical MPD Pro (Abbildung 3) zur Verfügung. Die drei PANalytical-Geräte arbeiten jeweils mit Doppeldetektoren. Ohne mechanische Umbauten können diese softwaregesteuert Messungen mit Proportionalitätszählrohr (incl. fokussierendem Monochromator) bzw. einem Si-basierten ortsempfindlichen Detektor („scientific X’Celerator“) fahren. Ein Gerät wird mit Cu-Strahlung und scientific X’Celerator (Gesteinsanalysen mit Probenwechsler; Abbildung 3 rechts), eines mit Co-Strahlung und scientific X’Celerator (spezielle Tonmineralanalysen mit Probenwechsler; Abbildung 3 mittleres Gerät) und das dritte Gerät mit Cu-Strahlung und PIXcel-Detektor (heizbare Klimakammer von Anton Paar; Abbildung 3 links) betrieben.

Routinemäßig werden mit diesen Geräten an Pulvern (ca. 1-2 g Material) Röntgenbeugungs-Untersuchungen durchgeführt und von erfahrenen Mitarbeitern ausgewertet. Nützliche Hilfen für die Interpretation sind:

- Vorkenntnisse über die Art bzw. Fundort der Probe und
- Zusatzdaten, z.B. Mikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie (REM) oder Röntgenfluoreszenz-Analyse (XRF).

Zur weiterführenden Bearbeitung nach der Identifikation (qualitative und soweit möglich quantitative Analyse) werden verschiedene Software-Pakete genutzt. [2]



Abbildung 3: *Drei PANalytical MPD Pro Röntgenpulverdiffraktometer zur mineralogischen Analyse von Gesteinen und speziellen Tonen [2]*

2.1.2 Mineral Liberierungs-Analyse (MLA)

Zur Bestimmung des Liberierungsgrades der einzelnen Minerale wurde eine Mineral Liberierungs-Analyse (MLA) durchgeführt.

Geowissenschaftler ziehen mikroanalytische Methoden zur Lösung vieler Fragestellungen heran. Solche Verfahren erlauben es, chemische, kristallographische oder strukturelle Parameter orts aufgelöst und zerstörungsfrei zu bestimmen.

Zusätzlich zur konventionellen Mikroskopie im Durch- und Auflicht nutzen die Mineralogen der BGR auch Methoden, die auf der Anregung mit Elektronen- oder Röntgenstrahlung beruhen. Solche Analysen können beispielsweise an Gesteinen, Erzen, Schlacken oder Bodenproben, die im Mineralseparations-Labor aufbereitet wurden, durchgeführt werden.

Chemische Kartierungen von Probenoberflächen, vom Bohrkern- bis in den Mikrometerbereich, werden mittels Elektronenmikroskop und Elektronenstrahlmikrosonde durchgeführt. Mithilfe der Mikrosonde wird die chemische Zusammensetzung von Mineralen mit hoher Genauigkeit bei gleichzeitig hoher Ortsauflösung bestimmt.

Eine quantitative Auswertung des Mineralbestandes, der Korngrößenverteilung und des Verwachsungsgrades ist mittels der Spezial-Software "Mineral Liberation Analysis" (MLA) möglich. [3]

Bei dieser Methode können Dünnschliffe oder Sandproben automatisch analysiert werden. Hierzu muss die Probe zunächst in Epoxidharz eingebettet werden, um sie später anschleifen und polieren zu können. Um eine Agglomeratbildung zu verhindern wird in diesem Schritt zusätzlich Graphit eingebracht. Eine Kohlenstoff Bedampfung ist für die ebene Oberfläche von Nöten. Die für die Analyse notwendigen Back Scattered Electrons werden über einen Elektronenstrahl freigesetzt und von einem Detektor gemessen. Vor jeder Messung muss ein Standardspektrum aufgenommen werden, um Minerale charakterisieren zu können. In einem Zeitraum von ca. 6h erfolgen ca. 200.000 vollautomatisierte Messungen auf den verschiedenen Partikeln der Probe. Die Software ermittelt automatisch verschiedene Daten, wie die quantitative Analyse des Mineralbestandes, die Korngrößenverteilung der gesamten Probe und den Verwachsungsgrad verschiedener Phasen in einem Korn und stellt diese als .xls-File oder Diagramm dar. [4]

2.2 Chemische Untersuchungen

2.2.1 Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Gesteinen, Erzen, Böden, Sedimenten und Reststoffen:

Für die quantitative Bestimmung der Element-Gesamtgehalte von Feststoffen wird die Röntgenfluoreszenz-Analytik eingesetzt, da dieses Verfahren unabhängig von der Löslichkeit der verschiedenen Elemente arbeitet. Die Proben werden in Form von Schmelztabletten analysiert, um eine homogene Elementverteilung sicherzustellen.

Probenvorbereitung :

1 g des feingemahlten Probenmaterials (Partikelgröße < 40 µm) wird in einem Porzellantiegel im Muffelofen bei 1030°C für 10 min. geglüht, um flüchtige Bestandteile freizusetzen (z.B. Wasser, organischen Kohlenstoff und Karbonate als CO₂, Schwefelverbindungen als SO₂). Aus dem dabei auftretenden Gewichtsverlust der Probe wird der Glühverlust "loss on ignition" (LOI) errechnet.

Herstellung der Schmelztabletten :

Die geglühten Proben werden mit je 5 g Lithiummetaborat (bei Glühverlusten > 25% mit 2,5 g Lithiummetaborat und 2,415 g Lithiumtetraborat) und 25mg Lithiumbromid gemischt und in Platintiegeln in einem automatischen Schmelzofen bei 1200°C für 20 min. geschmolzen. Während des Schmelzvorgangs werden die Tiegel zur besseren Durchmischung der Proben geschwenkt.

RFA- Multielementanalyse :

Mit zwei wellenlängendispersiven-RFA-Geräten wurden 10 Hauptelemente und 31 Spurenelemente sequentiell bestimmt (siehe Periodensystem der Elemente).

Bei den Hauptbestandteilen ist es üblich, die Gehalte als Oxide in Gewichtsprozent anzugeben (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ und Sulfatschwefel als SO₃). Die Gehaltsangabe der Spurenelemente erfolgt in mg/kg oder ppm (parts per million (ppm = mg/kg)).

Für die beiden Sequenzgeräte wurden Programme der Messabläufe und -parameter erarbeitet und optimiert. Die Messungen erfolgen mit einer Rhodium- und einer Chromröhre. Die Kalibrierung der Geräte erfolgt mit

Hilfe internationaler Referenzproben, die Auswertung und Matrixkorrektur mit der alpha-Korrektur nach de Jongh, bzw. nach dem Philips-Modell.

Für die RFA existiert die DIN Norm 51418 (Teile 1 und 2). [5]

2.2.2 Spurenelementanalytik

Für die Analyse von Spurenelementen in Lösungen in den Konzentrationsbereichen mg/L bis $\mu\text{g/L}$ wird die Optische Emissionsspektrometrie mit dem induktiv gekoppelten Plasma (ICP-OES) eingesetzt. Das Verfahren ermöglicht prinzipiell die gleichzeitige Bestimmung aller Metalle und einiger Nichtmetalle (bis zu 60 Elemente) aus angesäuerten, wässrigen Lösungen bis zu einem Gesamtgehalt an gelöster Substanz von ca. 10 g/L. Das im Referat B 4.15 eingesetzte Gerät erlaubt die Analyse von 45 Elementen simultan (DIN 38406 Teil 22).

Probenentnahme und Probenvorbereitung :

Feste Probenmaterialien (Gesteine, Erze, Minerale, Sedimente, Reststoffe usw.) werden unterschiedlichen Aufschlussverfahren unterworfen:

- durch einen Druckaufschluss mit HF/HCl bzw. HF/HNO₃ in Teflongefäßen wird die Probe vollständig in Lösung gebracht. Silikate und überschüssige Säure werden durch Abrauchen mit HClO₄ entfernt. Die resultierende klare Lösung wird je nach Problemstellung auf eine Endkonzentration von 10-50 g/L verdünnt und analysiert oder
- durch einen Königswasser-Aufschluß (HCl/HNO₃) wird der maximal lösliche Anteil einer Probe in Lösung gebracht. Ungelöste Rückstände werden abgetrennt, die Lösung wird in einer Verdünnung von 10 g/L auf Elemente analysiert.

- durch einer Eluatanalyse kann die Schadstoffbelastung durch Auslaugung getestet werden. Hierbei wird eine bestimmte Menge der Probe einer Korngröße < 32 mm mit destilliertem Wasser im Verhältnis Flüssigkeits-Feststoff von 10:1 versetzt. Die Dauer des Versuchs beträgt 24 h. Das Eluat wird anschließend auf Schadstoffe analysiert.

2.2.3 Meßprinzip des ICP- Emissionsspektrometers :

Bei der ICP-OES Analytik wird die Probenlösung über ein pneumatisches Zerstäubersystem in ein induktiv gekoppeltes Argonplasma eingebracht. Bei einer Temperatur von 5000-7000 K im Plasma werden die in der Lösung enthaltenen Elemente atomisiert und zu Lichtemission angeregt. Das emittierte Licht wird bei der simultanen Analyse über einen Polychromator in elementspezifische Wellenlängen aufgespalten und die Lichtintensität mittels einer Reihe von fest installierten Photomultipliern detektiert. Zusätzlich besteht noch die Möglichkeit, einzelne Wellenlängen im Emissionsspektrum mit einem sequentiell arbeitenden Monochromator hoher Auflösung zu erfassen. Die Lichtintensität ist proportional der Menge der im Plasma angeregten Atome eines Elements. Zur quantitativen Bestimmung des Elementgehalts einer Lösung wird das Gerät mit synthetischen Lösungen bekannten Gehalts kalibriert. Zur Kontrolle der Ergebnisse werden kommerziell erhältliche Referenzlösungen eingesetzt. [6]

2.3 Mineralische Aufbereitung

2.3.1 Klassifikation

Klassierprozesse dienen zur Trennung von Körnerkollektiven in Produkte unterschiedlicher Größenzusammensetzung. Beim Siebklassieren erfolgt die Trennung nach charakteristischen Längen der Partikeln Die Methode

der Trockensiebung diene zur Separierung des Materials in definierte Korngrößen. der Korngrößen 0,1 – 0,3 mm und 0,040 – 0,1 mm von zu großen bzw. zu kleinen Partikeln. Dazu wurde eine Siebmaschine mit austauschbaren Siebdecks verwendet. [7] [8] [9]

2.3.2 Sensorbasierte Sortierung

Sensorgestützte Sortiergeräte erkennen charakteristische Eigenschaften von einzelnen Partikeln um Minerale zu sortieren, wie z.B. Farbe, Chemische Zusammensetzung, Kontraste oder Formen. Vor dem Sortieren, wird das Rohmaterial auf einen Vibrorinne aufgegeben, welche eine konstante Aufgabegeschwindigkeit gewährleistet und somit für eine homogene Verteilung des Materials sorgt (Mono Layer).

Die Vibrorinne transportiert das Probenmaterial zur Scanlinie, an der ein Detektionssystem das Material scanned. Die Information des Detektionssystems wird von einem Computer ausgewertet und an die Hochdruckluftdüsen weitergeleitet. Das System trennt über einzelne Luftstöße spezifische von nicht-spezifischen Partikeln.

Für das Sortieren des Materials wurde eine technisch sensorgestützte Sortiereinheit verwendet (Abbildung 5). Die Grobfraktion (>1 mm) wurde über einen optischen Sorter sortiert, welcher speziell für das Sortieren von feinkörnigen Material entwickelt wurde (Abbildung 5). Der Sortierer ist mit einem hochpräzisen Farblinien-Detektionssystem mit einer Farbentiefe von 36 bit und flüssiggekühlten Hochleistungs-LED Beleuchtungstechnik ausgestattet. Der optische Unterschied zwischen dunkelkörnigem Erz (braun) und hellem körnigem Erz (weiß) wurde als Sortierkriterium angewandt [10] [11] [12].

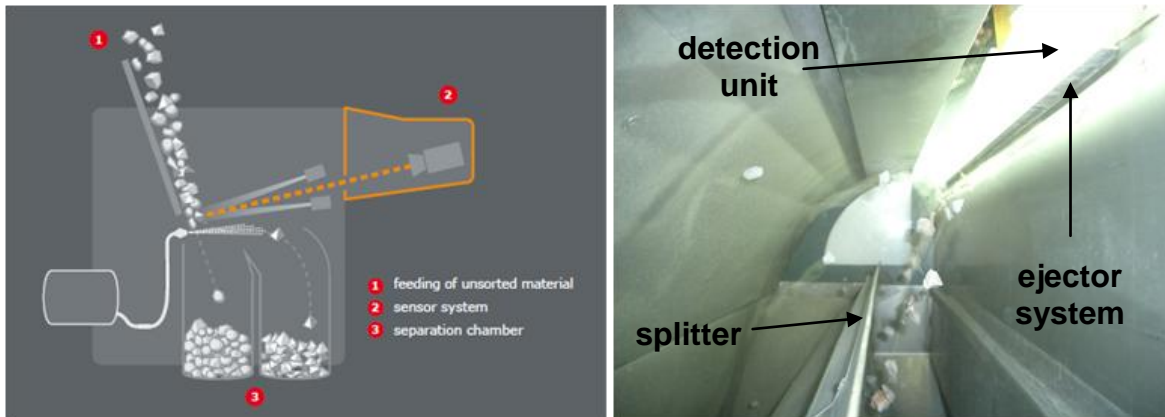


Abbildung 4: Schematische Darstellung einer optischen Sortiereinheit für feinkörnige Produkte (links) und Innenansicht einer Sortiereinheit zur Visualisierung des Sortierprozesses (rechts)

2.3.3 Zerkleinerung

Mit Hilfe eines Walzenbrechers bzw. der elektrodynamischen Zerkleinerung wurde das Material, das größer als 0,3 mm war, in die gewünschte Korngröße zerkleinert.

2.3.3.1 Walzenbrecher

Beide Rollen des Walzenbrechers bestehen aus verschleißfestem Stahl und werden in unterschiedlicher Richtung angetrieben. Der Abstand zwischen den Walzen wurde nach jedem Mahlgang verringert. Außerdem wurde das zerkleinerte Material nach jedem Mahlgang gesiebt, so dass der gewünschte Korngrößenbereich abgetrennt werden konnte. [9]

2.3.3.2 Elektrodynamische Zerkleinerung

Basierend auf gepulsten elektrischen Entladungen wird Material, das in ein Dielektrikum, z.B. Wasser, eingetaucht ist, entlang von Fehlstellen im Kristallgitter oder an Korngrenzen gespalten.

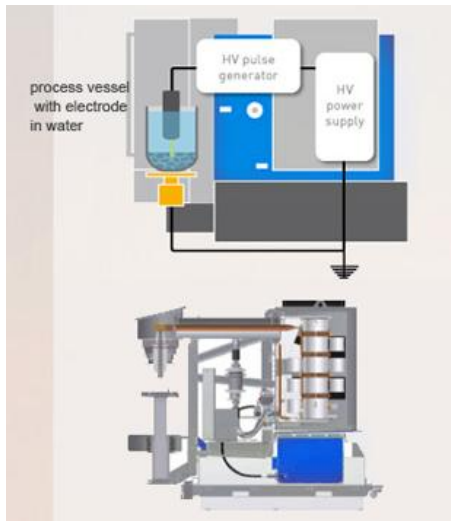


Abbildung 5: Elektrodynamische Labor-Zerkleinerungs Anlage (SELFRAG AG) [13]

Die Fragmentierung der Materialien erfolgt durch mehrere sehr kurze, aber starke elektrische Impulse von bis zu 400 000 Volt – dem Zweitausendfachen dessen, was eine gewöhnliche Steckdose liefert. Diese elektrische Energie wird im Material in Schockwellen umgewandelt, die eine hohe Belastung für das Material zur Folge haben. Der Effekt ist ähnlich wie bei TNT oder anderen chemischen Sprengmitteln, die in einem Bohrloch gezündet werden. An jeder Grenze, die zwei unterschiedliche Materialien trennt, stoßen die Schockwellen auf erhöhten Widerstand. Deswegen werden dort die elektrischen Felder verstärkt, die sich dort auch entladen. Die entstehenden Schockwellen führen zu lokalen Drücken von bis zu 10000 bar. Durch diese Effekte erreicht man eine Aufspaltung in einzelne Minerale und eine verunreinigungsfreie Zerkleinerung.

Die gepulste Hochspannungs-Technologie erleichtert die Sortierung und verbessert die Wiederverwertung, was in einer Ertragssteigerung resultiert. Im Vergleich zu herkömmlichen Zerkleinerungsverfahren liegt ein großer Vorteil in der kontaminationsfreien Zerkleinerung, da es ein berührungsfreies Verfahren ist. [13] [14] [15] [16] [17]

2.3.4 Attrition

Die Attrition wurde sowohl zur Reinigung der Oberfläche der Partikel als auch zur Desagglomeration des Materials durchgeführt. Dadurch wurden kleinere Partikel, die an der Oberfläche von größeren Partikeln hafteten, abgerieben und in der beigefügten Waschflüssigkeit gelöst. Zur Durchführung wurde das Material mit Wasser als Waschflüssigkeit in eine achteckige Attritionszelle gefüllt und bei einem Feststoffgehalt von mindestens 65% mittels eines mehrphasigen Rührwerks eine bestimmte Zeit lang intensiv verrührt und anschließend bei der unteren gewünschten Korngröße gesiebt. [8]

2.3.5 Flotation

Die Schaumflotation wird zur selektiven Abtrennung von Mineralen verwendet. Diese Prozesse laufen im Fein- bzw. Feinstkornbereich ab, weswegen die Flotation auch für fein verwachsene Minerale verwendet werden kann. Die Trennung erfolgt mittels Oberflächeneigenschaften, die sich durch Adsorptionsvorgänge verändern lassen. Das Funktionsprinzip beruht auf der unterschiedlichen Hydrophobie der einzelnen Minerale. Dabei werden die Oberflächen der abzutrennenden Minerale durch Behandlung mit selektiven Reagenzien hydrophob (wasserabweisend) gemacht. Die hydrophoben Partikel heften sich an Luftbläschen, die von unten eingeblasen werden, und gelangen so zur Schaumschicht, die auf der Flüssigkeit schwimmt. Dadurch werden sie von den hydrophilen (nassen) Partikeln getrennt. Einflussfaktoren auf die Trennung sind unter anderem der pH-Wert oder das Vorhandensein anderer Ionen. Flotationsprozesse werden unterschiedlich durchgeführt, hauptsächlich abhängig vom Mineral, dem Grad des Aufschlusses und der gewünschten Produktqualität.

Zur Durchführung der Flotationstests wurde eine Laborflotationszelle verwendet, bei der der Schaum manuell abgetrennt wurde. Der Feststoffgehalt lag bei ca. 20%. [8] [18] [19] [20] [21]

2.3.6 Magnetscheidung

Bei der mineralischen Aufbereitung wird die Magnetscheidung verwendet, um Schwerminerale von den nichtmagnetischen Teilchen abzutrennen. Die meisten Schwerminerale besitzen aufgrund der enthaltenen Metalle paramagnetische oder sogar ferromagnetische Eigenschaften. Wegen der magnetischen Kraft, die auf diese Partikel wirkt, werden sie zum Magnetfeld hin gezogen. Diese Kraft beeinflusst ferromagnetische Minerale sehr stark, weswegen nur mäßige Magnetfeldstärken zur Abtrennung erforderlich sind. Für die Abtrennung von paramagnetischen Mineralen werden höhere Magnetfeldstärken benötigt. Diamagnetische Partikel, z.B. Quarz, werden von Magnetfeldern nicht beeinflusst. [18]

2.3.6.1 Bandmagnetscheidung

Bei den Partikeln mit einer Größe von 0,1 – 0,3 mm wurde die Magnetscheidung mit einem Bandmagnetscheider mit verstellbarer Geschwindigkeit des Förderbands und verstellbarer Splitterstellung durchgeführt. Die Partikel wurden mit Hilfe einer Vibrationsrinne auf das Förderband aufgegeben. Diese ermöglicht eine konstante Materialaufgabe und eine gleichmäßige Verteilung der Partikel. Das Aufgabegut wurde über einen Trommelmagneten gefahren, wobei während jedes Trennschrittes eine Aufteilung in zwei Fraktionen erfolgte. Die NONMAG-Fraktion beinhaltet das Material, das durch das Magnetfeld nicht beeinflusst wurde, die MAG-Fraktion wurde durch das Magnetfeld abgetrennt. Dabei muss die Kraft des Magnetfelds die Summe der äußeren Kraftkomponenten, z.B. die Schwerkraft oder Widerstandskraft, übersteigen. Die Tests wurden in 3 Stufen durchgeführt, wobei dabei die Geschwindigkeit des Förderbands verändert wurde. [8] [18] [19]

Wichtigste Technische Daten:

Dicke des Förderbandes: 0,15 mm

Breite des Förderbandes: 150 mm

Konfiguration der Magnetrolle: 6/1,5

Hersteller: Eriez Magnetics, UK

2.3.6.2 Suspensionsmagnetscheidung

Das Magnetfeld bei der Suspensionsmagnetscheidung wurde durch einen supraleitenden Elektromagnet, der in der Prozesseinheit befestigt ist, erzeugt. Die Prozesskammer enthielt Stahlwolle als Matrix. Das für die Abtrennung der schwach magnetischen Partikel benötigte starke Magnetfeld wurde während des Abtrennvorgangs mittels der Spule des Elektromagneten angelegt. Die magnetischen Partikel lagern sich dadurch in der Matrix an, die nichtmagnetischen Partikel gelangten durch das Magnetfeld. Nach der Abtrennung des Materials wurden die magnetischen Partikel mit Wasser aus der Matrix gewaschen, wobei das Magnetfeld abgeschaltet wurde.

Ein Suspensionsmagnetscheider der Fa. Eriez Magnetics wurde für die Testläufe verwendet. Das nominale maximale Magnetfeld des Magnetscheiders beträgt 2 Tesla. [8] [18]

2.3.7 Elektrostatische Sortierung

Bei der elektrostatischen Sortierung wird die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit der Minerale ausgenutzt. Dabei wirken elektromechanische Kräfte, die die Partikel je nach deren Ladung unterschiedlich ablenken.

Die zwei Elektroden, die den verwendeten Kammscheider auf beiden Seiten begrenzen, wurden durch Anlegen einer elektrischen Spannung positiv bzw. negativ aufgeladen. Sobald die Partikel in den Raum zwischen den beiden Elektroden gelangten, wurden sie nach ihrer Eigenladung

entweder zur positiven oder zur negativen Elektrode hin abgelenkt. Ungeladene Partikel fielen geradlinig nach unten. Zur Verbesserung des Trenneffekts wurde das Aufgabegut auf Temperaturen zwischen 100 und 200 °C erwärmt. [18] [19]

2.3.8 Nassherd (Rütteltisch)

Auf einer in Längsrichtung schwingenden Platte, die in Querrichtung geneigt ist, wird aufgegebenes Material nach der Dichte sortiert. Schwereres Material wird durch die Rüttelbewegung weiter nach vorne transportiert, wodurch es vom leichten Material abgetrennt werden kann. Kleinere Partikel (unabhängig von der Dichte) gelangen jedoch auch weiter nach vorne als größere, was durch die auf der Oberfläche vorhandenen Rillen und den Querwasserstrom verhindert wird: Sie befinden sich vor allem in den oberen Stoffschichten, wodurch leichte Partikel vermehrt vom Querwasserstrom erfasst und nach unten transportiert werden. Durch Veränderung von Stärke und Anzahl der Hübe, Querneigung und Querstromwassermenge kann der Trennprozess beeinflusst werden. [18] [19]

3 Analysen und Ergebnisse der Versuche

3.1 Chemische Analyse des Ausgangsmaterials

In Voruntersuchungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist die Halde Bergwerkswohlfahrt mittels 14 Einzelproben an unterschiedlichen Probenahmestellen charakterisiert worden. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 1 dokumentiert und gelistet. Die chemischen Analysen weisen einen teilweise deutlichen Schwankungsbereich der Minima und Maxima auf. Ein Extrembeispiel dafür ist SiO_2 , das einen Unterschied von 26 Ma.-% aufweist. Auch Eisen weist eine große Schwankungsbreite auf. Der chemische Hauptbestandteil der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt ist SiO_2 mit 59 Ma.-%. Die zwei nächstgrößten Gehalte sind Eisenoxid mit 11 Ma.-% und Aluminiumoxid mit 6,5 Ma.-%. Noch besonders hervorzuheben ist der PbO Gehalt mit 5,9 Ma.-% und der BaO Gehalt mit 4,0 Ma.-%.

Die mineralogische Zusammensetzung wurde mittels Röntgendiffraktometrie ermittelt und ist in Abbildung 6 dargestellt. Der mineralogische Hauptbestandteil der Halde ist Quarz (SiO_2). Außerdem sind Spuren von Galenit (PbS), Cerrusit (PbCO_3), Baryt (BaSO_4), Ankerit ($\text{CaFe}[\text{CO}_3]_2$) und Muskovit ($\text{KAl}_2[(\text{OH},\text{F})_2|\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$) in der Halde nachgewiesen worden.

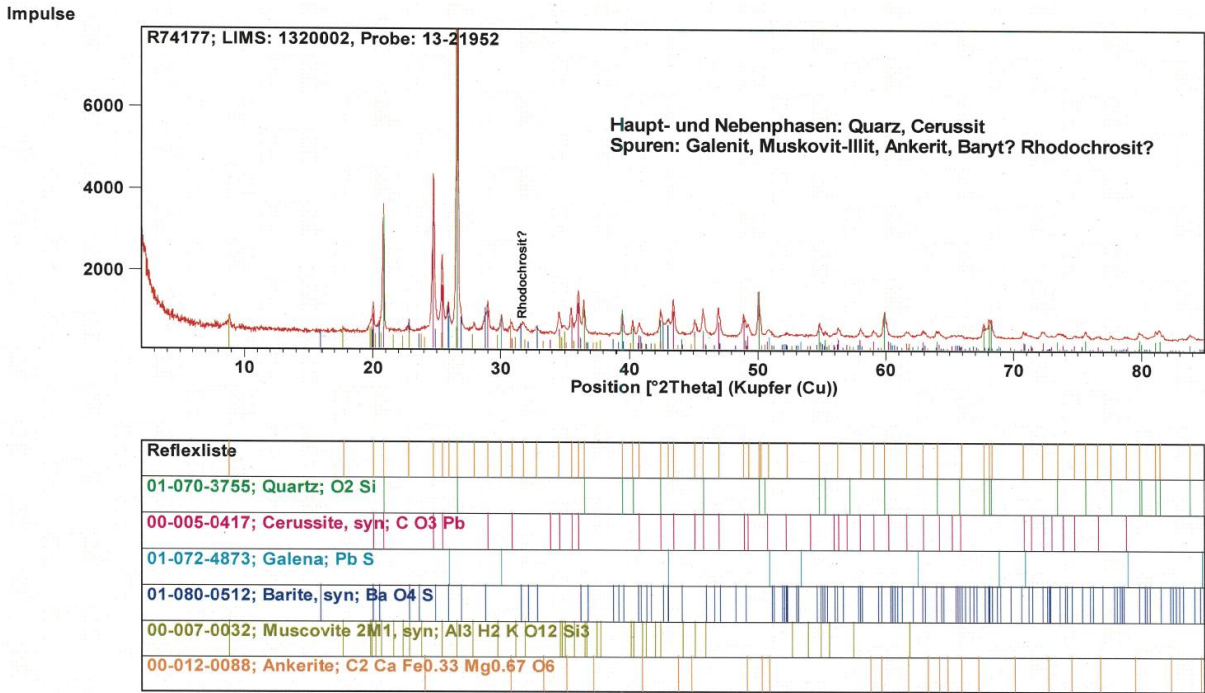


Abbildung 6: Röntgenbeugungsanalyse einer Durchschnittsprobe der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt

Die Korngrößenverteilung der Halde ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Probe weist einen D50 Wert von ca. 1 mm auf.

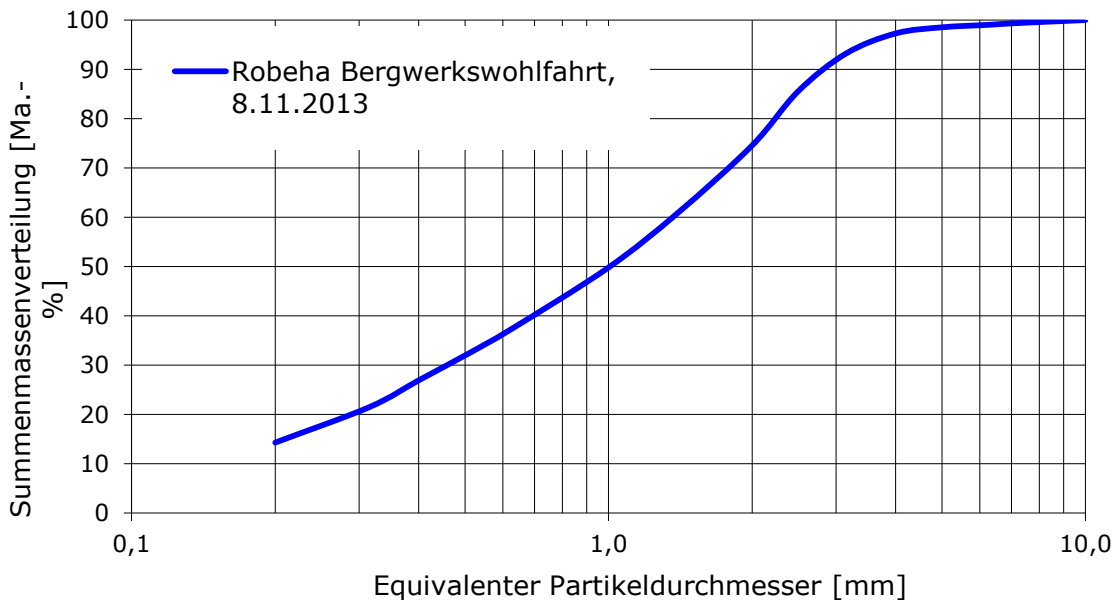


Abbildung 7: Korngrößen-Summenkurve des Ausgangsmaterials Bergwerkswohlfahrt



Tabelle 1: Chemische Charakterisierung der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt (14 Probenahmestellen), gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]	PbO [MA.-%]
Bergwerkswohlfahrt								
Mittelwert	-	59	0,3	6,5	11	1,5	0,6	5,9
Minimum	-	44	0,2	4,5	6,0	0,7	0,3	3,7
Maximum	-	70	0,4	8,0	19	3,0	1,0	10,1
STABW	-	7	0,1	0,9	4,0	0,7	0,3	1,8
Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
Bergwerkswohlfahrt								
Mittelwert	-	0,7	0,2	1,5	0,06	1,9	4,0	6,7
Minimum	-	0,10	0,05	1,0	0,05	0,6	0,7	5,2
Maximum	-	1,7	0,3	1,8	0,10	3,0	7,3	11
STABW	-	0,6	0,07	0,2	0,01	0,8	2,5	1,6

3.2 Aufbereitungsversuche

In Abbildung 8 sind alle Prozessschritte, die während der Aufbereitung des Pochsandhaldenmaterials Bergwerkswohlfahrt durchgeführt wurden visuell dargestellt. Diese Aufbereitungsverfahren sollen für die vorliegenden Materialien und z. T. neue Zielsubstanzen erstmals auf ihre spezifische Eignung in Kombination neu zu entwickelnder Prozessketten adaptiert und ggf. modifiziert werden.

Im Einzelnen wurden folgende Innovationen berücksichtigt:

- Feinkornzerkleinerungsverfahren für den Erzaufschluss wie elektrodynamische Zerkleinerung
- Sensor-basierte Sortierung
- Elektrostatische Sortierung
- Flotation

Die Kombination von elektrodynamischer Fragmentierung und optischer Sortierung kann erheblich zur Effizienzsteigerung der Aufbereitung der verschiedenen Halden beitragen und die nachgeschalteten aufbereitungstechnischen Schritte reduzieren helfen. Da die nicht metallhaltigen Haldenreststoffe den weitaus größeren Anteil am Gesamtvolumen ausmachen, soll die Verwertung dieser Rohstoffquelle ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Die grau hinterlegten Schritte wurden von Dorfner ANZAPLAN durchgeführt und haben ihren Schwerpunkt in der Nutzbarmachung der Nichtmetallfraktion. Nachfolgend werden alle grau hinterlegten Prozessschritte beschrieben und diskutiert.

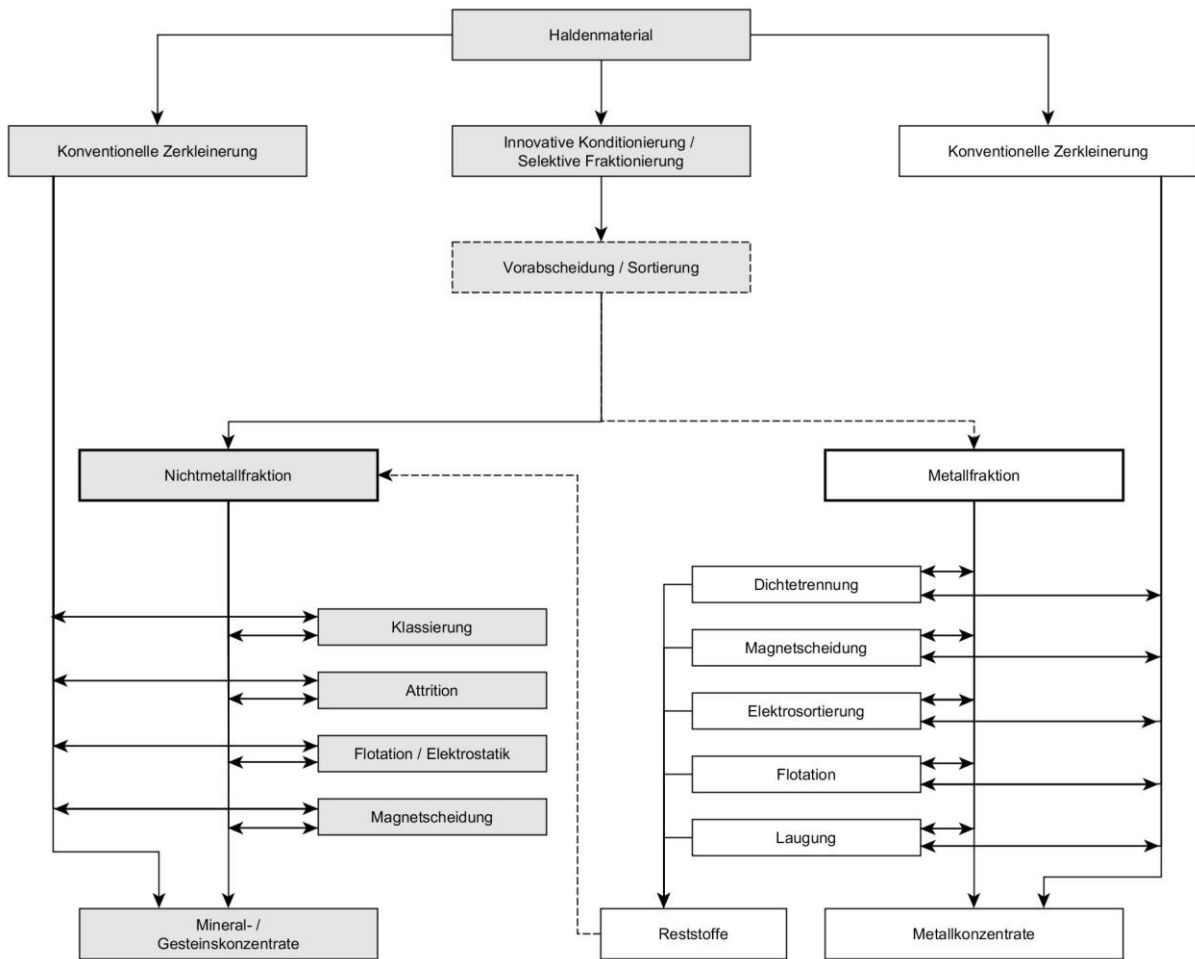


Abbildung 8: Prozessschritte Aufbereitung Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt

3.2.1 Sensorbasierte Sortierung

Aufgrund der feinen Korngrößenverteilung ($D_{50} \approx 1 \text{ mm}$, Abbildung 7), des Pochsandhaldenmaterialies konnte von einer vorgeschalteten selektiven Zerkleinerung mittels elektrodynamischer Fragmentierung abgesehen werden, da die Detektoren der sensorbasierten Sortierung erst ab einer Korngröße von 1 mm die Partikel erkennen können. Dies ist der Fall bei der optischen Sortierung. Die Funktionsweise ist in Abbildung 9 dargestellt. Andere sensorbasierte Sortierverfahren wie z.B. Röntgentransparenz (XRT), Röntgenfluoreszenz (XRF), Spektralempfindlichkeit im Nahinfrarotbereich (NIR) und

elektromagnetische (EM) haben ihre Detektionsgrenze bei mindestens 5 mm.

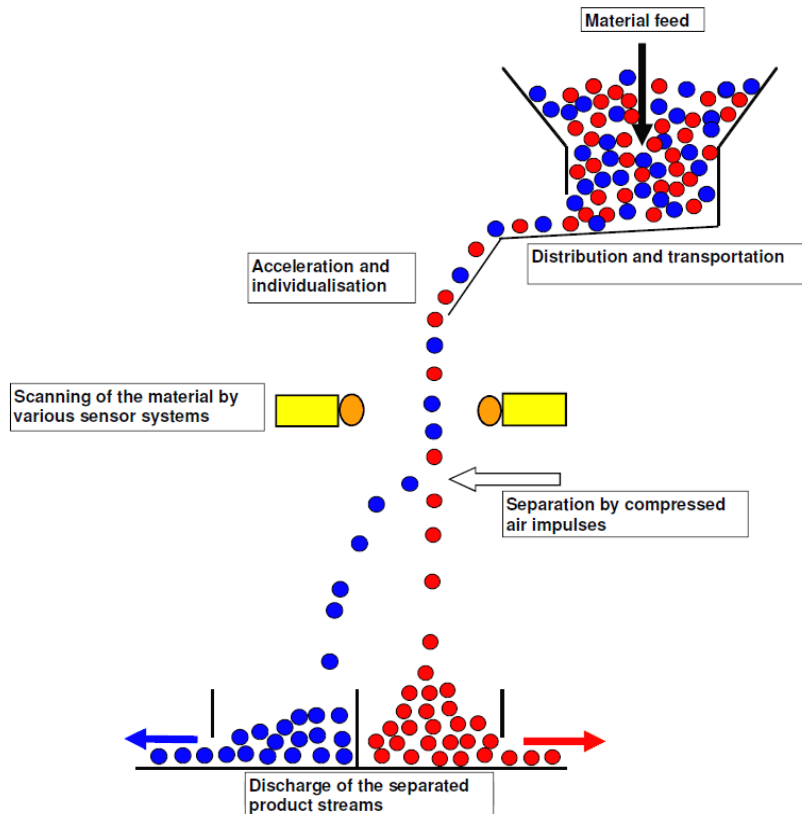


Abbildung 9: Prinzipskizze der optischen Sortierung

Aus dem Probenmaterial wurde eine Teilmenge mit der Fraktion > 1 mm mittels Siebung abgetrennt und für Versuche an einer optischen Sortiereinheit verwendet. Die optische Erfassung des Materials erfolgt durch hochauflösende CCD-Kameras. Die erhaltenen Meßsignale werden durch Bildverarbeitung und -analyse in Echtzeit von einem Rechner ausgewertet. Über einen Auswertemodus werden anschließend Luftdüsen zur Ausblasung der abzuscheidenden Partikel angesteuert.

Für die Herstellung eines Vorkonzentrats der Nichtmetallfraktion wurden helle Partikel (siliziumhaltig) von dunklen Partikeln getrennt.

Abbildung 10 zeigt die beiden Fraktionen „Eject“ (links, hell) und „Reject“ (rechts, dunkel) nach der optischen Sortierung. In der Fraktion „Eject“ wurden helle Partikel aus dem Aufgabematerial abgetrennt.

Die Analysenergebnisse und die Massenverteilung des Versuchs sind in Tabelle 2 dokumentiert.

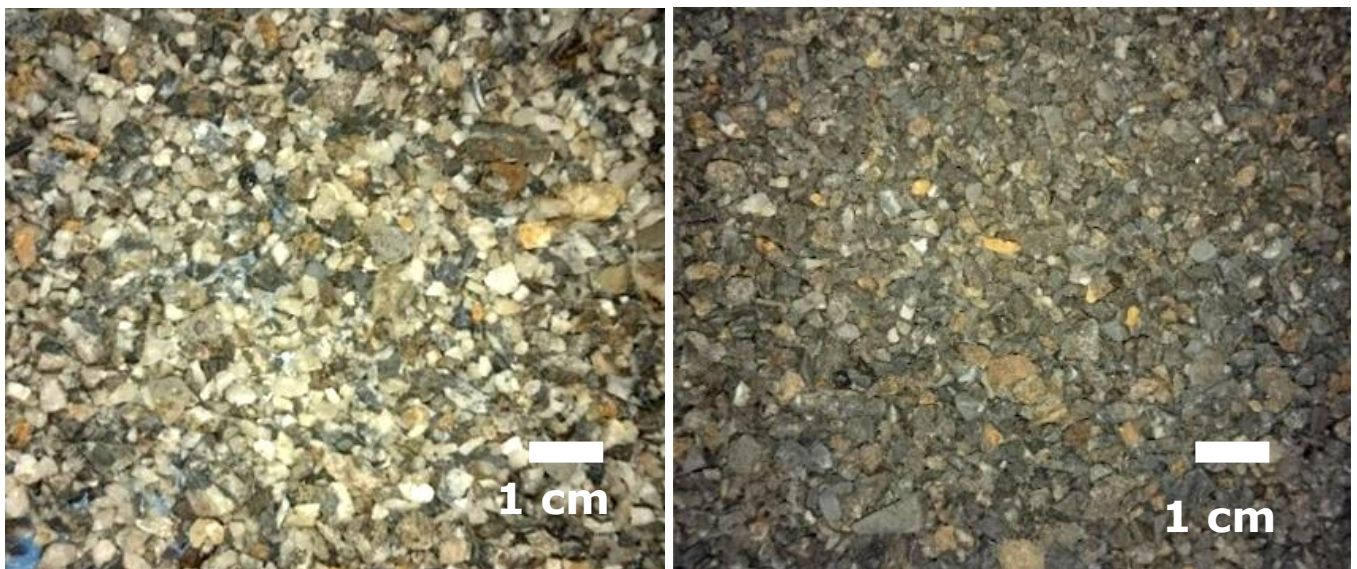


Abbildung 10: Vergleich der Fraktionen Eject (links, hell) und Reject (rechts, dunkel) nach der optischen Sortierung

Tabelle 2: *Analysenergebnisse der Fraktion > 1 mm nach optischer Sortierung, gemessen mittels RFA*

Fraktion > 1 mm		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	BaO	PbO	mass
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
Aufgabe		67,4	6,3	8,0	0,62	4,4	
grade	Reject	66,1	6,7	8,5	0,38	4,5	90,5
	Produkt (Eject)	80,1	3,3	2,8	2,85	3,2	9,5
recovery	Reject	88,7	95,1	96,7	56,2	93,0	
	Produkt (Eject)	11,3	4,9	3,3	43,8	7,0	

Mittels optischer Sortierung konnte eine Anreicherung der Nichtmetallfraktion des Haldenmaterials Bergwerkswohlfahrt erzielt werden. Der SiO₂ und BaO Gehalt konnte bei gleichzeitiger Reduzierung des Aluminium- und Eisengehaltes in der Eject-Fraktion (Produkt) erhöht werden. In der Produkt Fraktion wurden in 9,5 Ma.-% der Masse 43,8 Ma.-% des BaO angereichert. Detaillierte Analysenergebnisse sind im Anhang unter Kapitel 8 gelistet. Der Vorteil gegenüber konventionellen Anreicherungsverfahren ist eine wesentlich kosteneffizientere Aufbereitung, da durch eine vorgeschaltete sensorbasierte Sortierstufe nachfolgende Aufbereitungsprozesse entscheidend entlastet und teilweise sogar ersetzt werden können.

3.2.2 Konventionelle Zerkleinerung (Walzenbrecher)

Ein Teil des Ausgangsmaterials der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt, das am 08.11.2013 in Hirschau eintraf wurde in folgende drei Fraktionen 0,1 – 0,3 mm; 0,04 – 0,1 mm und < 0,04 mm gesiebt. Die Fraktionen 0,1 - 0,3 mm und 0,04 – 0,1 mm wurden gewählt, da es sich hierbei um typische Korngrößenverteilungen für den Einsatz in nichtmetallhaltigen Produkten, wie z.B. Quarzsand für die Glasproduktion handelt. Der Teil

des Ausgangsmaterials, der sich in der Fraktion > 0,3 mm befand, wurde auf eine Korngrößen von < 0,3 mm zerkleinert und auf die gerade eben genannten Fraktionen aufgeteilt. Eine repräsentative Durchschnittsprobe der einzelnen Fraktionen wurde analysiert. Die Analyseergebnisse (Hauptbestandteile), die mittels Röntgenfluoreszenzanalyse und ICP-OES Messung analysiert wurden sind in Tabelle 1 gelistet.

In der Fraktion 0,1 – 0,3 mm ist mit 70 Ma.-% ein gegenüber den anderen beiden Fraktionen höherer SiO₂ Wert gemessen worden. Ein weiterer positiver Aspekt dieser Fraktion ist, dass gegenüber der Aufgabe ein reduzierter Bleigehalt nachgewiesen wurde. Blei ist in vielen Anwendungen ein kritisches Element und kann die Verwertung als Sekundärrohstoff einschränken. Ein Wert von 13 Ma.-% Bleioxid wurde in der Fraktion 0,04 – 0,1 mm detektiert, was eine deutliche Anreicherung des Bleigehaltes darstellt. Das BaO wird in der Feinfraktion < 0,04 mm angereichert. Detaillierte Analyseergebnisse und Röntgenbeugungsanalysen sind im Kapitel 8 im Anhang gelistet.

Das Hauptaugenmerk der Bearbeitung liegt auf dem Korngrößenbereich von 0,1 – 0,3 mm, da Partikel in dieser Korngröße in der Produktion von z.B. Glas oder Keramiken eingesetzt werden. Auch die Fraktion 0,04 – 0,1 mm kann in Anwendungen mit höheren Anforderungen und Spezifikationen eingesetzt werden. Ein weiteres Argument, was für die beiden Fraktionen spricht ist eine bessere Aufbereikbaarheit in beiden Kornbändern.

Die Massenverteilung für die einzelnen Fraktionen wurde wie folgt ermittelt:

Fraktion 0,1 – 0,3 mm	31 Ma.-%
Fraktion 0,04 – 0,1 mm	19 Ma.-%
Fraktion < 0,04 mm	50 Ma.-%



Tabelle 3: Chemische Analyse des Ausgangsmaterials nach Siebung und konventioneller Zerkleinerung, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Ausbringen [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
Feed (berechnet)			60	0,4	7,3	7,2	0,9	0,7
Feed 0,1-0,3mm	13-21951	31	70	0,2	4,9	7,6	1,0	0,7
Feed 0,04-0,1mm	13-21952	19	56	0,3	6,1	7,1	1,3	0,6
Feed <0,04mm	13-21953	50	54	0,5	9,2	7,1	0,8	0,7

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
Feed (berechnet)		0,9	0,15	1,6	4,2	7,5	6,5
Feed 0,1-0,3mm	13-21951	1,0	0,13	1,0	1,5	4,5	5,3
Feed 0,04-0,1mm	13-21952	0,8	0,15	1,3	3,6	13	7,6
Feed <0,04mm	13-21953	0,9	0,17	2,1	6,0	7,3	6,8

3.2.3 Attrition

Das Material der Korngröße 0,1 – 0,3 mm, welches über konventionelle Zerkleinerung generiert wurde, wurde in einer Attritionszelle intensiv behandelt. Dabei wurden kleine Partikel sowohl desagglomeriert als auch von der Oberfläche der größeren Partikel abgeschabt. Anschließend wurde das Material bei der unteren Korngröße von 0,1 mm gesiebt, um die Verunreinigungen < 0,1 mm zu entfernen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse gelistet.

Aufgrund der Oberflächenreinigung wird eine Erhöhung des SiO₂ Wertes von 70 Ma.-% auf 74 Ma.-% verzeichnet. Der Bleigehalt wird in der Fraktion 0,1 – 0,3 mm von 4,5 Ma.-% auf 3,7 Ma.-% reduziert. Ein höherer SiO₂ Wert und ein geringerer Bleigehalt liefern eine bessere Ausgangssituation für die anschließende Aufbereitung im Hinblick auf die Verwertungsmöglichkeiten z.B. in der Glasindustrie. Außerdem werden aufgrund der gereinigten Oberflächen die anschließenden Aufbereitungsversuche selektiver. Die Verunreinigungen werden in der Feinfraktion < 0,1 mm angereichert.

Ein Massenanteil von ungefähr 19 Ma.-% wird in die Feinfraktion ausgetragen.



Tabelle 4: Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Attrition, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
Aufgabe		70	0,2	4,9	7,6	1,0	0,7		
grade	Attr 0,1-0,3mm	74	0,1	3,3	8,1	1,0	0,6		
	Attr <0,1 mm (calc.)	55	0,6	11,9	5,6	1,0	0,9		
rec	Attr 0,1-0,3mm	85	53	54	86	81	75		
	Attr <0,1 mm (calc.)	15	47	46	14	19	25		

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
Aufgabe		1,0	0,1	1,0	1,5	4,5	5,3	
grade	Attr 0,1-0,3mm	1,0	0,1	0,7	1,4	3,7	4,6	80,9
	Attr <0,1 mm (calc.)	1,1	0,2	2,6	2,0	7,9	8,5	19,1
rec	Attr 0,1-0,3mm	81	68	52	74	67	70	
	Attr <0,1 mm (calc.)	19	32	48	26	33	30	

3.2.4 Elektrodynamische Zerkleinerung

Die elektrodynamische Zerkleinerung wurde mit einer Teilmenge der Fraktion $> 0,3$ mm durchgeführt, um eine möglichst hohe Liberierung der einzelnen Minerale zu erhalten. Dieser Prozess soll bei den nachfolgenden Aufbereitungsversuchen eine selektivere und verbesserte Abtrennung der Nichtmetallfraktion erzielen. Die Ergebnisse der chemischen Analyse sind in diesem Kapitel aufgeführt, die Ergebnisse der mineralischen Liberierungs-Analyse befinden sich im Kapitel 3.2.5.

Insgesamt wurden vier unterschiedliche Testreihen mit modifizierten Prozessparametern durchgeführt. Die Parameter der Versuche sind in Tabelle 5 dokumentiert. Testreihe V1 bis V3 wurden in einem geschlossenen Prozessgefäß durchgeführt. Hierbei wurde eine definierte Zahl an Impulsen auf das Probenmaterial abgegeben. Da die Massenverteilung aller drei Versuche ähnlich war, wurden diese zur Bewertung als ein Versuch angesehen.

Versuch V4 wurde in einem offenen Prozessgefäß durchgeführt. Hierbei ist am Boden des Prozessgefäßes ein Sieb angebracht und das im Prozessgefäß befindliche Material wird solange zerkleinert, bis das gesamt aufzubereitende Material durch das Sieb abgeführt wird. Bei Versuch V4 wurde ein 0,4 mm Sieb gewählt.

Die Versuche im geschlossenen Prozessgefäß wurden durchgeführt um eine Vergleichsmöglichkeit der gewählten Parameter zu gewährleisten. In diesem Fall wirkt auf das prozessierte Material ein definierter Energieeintrag.

Die Versuche im offenen Prozessgefäß mit Siebboden wurden durchgeführt um in kürzerer Zeit eine größere Menge an elektrodynamisch zerkleinertem Material zu generieren. Dieses Material wurde für anschließende Aufbereitungsversuche benötigt. Bei diesen Versuchen verlässt das Material nachdem es eine vorgegebene Korngröße erreicht

hat (Test V4, 0,4 mm) das Prozessgefäß und wird in einem Auffangbehälter gespeichert. Sobald dies geschehen ist erfährt das entsprechende Partikel keinen Energieeintrag mehr.

In Versuch V1-V3 wurde eine Reduzierung der Unterkornfraktion (< 0,04 mm) auf von 50 Ma.-% auf 38 Ma.-% und im Versuch V4 auf 45 Ma.-% erreicht. Zusätzlich wurde in Fraktion 0,1 – 0,3 mm eine Steigerung des Massenausbringens verzeichnet. In Versuch V1-V3 wurde eine Steigerung von 16 Ma.-% und in Versuch V4 um 7 Ma.-% nachgewiesen. In Fraktion 0,1 – 0,3 mm wurde der SiO₂ Gehalt auf 73 Ma.-% bzw. auf 81 Ma.-% in Versuch V4 angereichert. In Versuch V4 wird in der Fraktion 0,1 – 0,3 mm eine signifikante Reduzierung des PbO Gehaltes auf 1,6 Ma.-% erreicht.

In den elektrodynamisch Zerkleinerungsversuchen kann eine eindeutige nachweisbare Anreicherung der Nichtmetallfraktion in den Korngrößen 0,04 – 0,1 mm und 0,1 – 0,3 mm nachgewiesen werden. Ein höherer Ausgangswert in den Nichtmetallfraktionen liefert eine bessere Ausgangssituation für die anschließende Aufbereitung im Hinblick auf die Verwertungsmöglichkeiten.



Tabelle 5: *Einstellungen und Massenverteilung der elektrostatischen Sortierungen*

	Test V1	Test V2	Test V3	V1-V3	Test V4	V1-V4
Spannung [kV]	150	150	150		150	
Anzahl Impulse [-]	10	30	60		-	
Prozess-gefäß	geschlossen	geschlossen	geschlossen		offen mit 0,4 mm Sieb	
Massen Ausbringen						
0,1-0,3 mm [Ma.-%]	46	46	51	47	39	45
0,04-0,1 mm [Ma.-%]	15	15	14	15	16	15
< 0,04 mm [Ma.-%]	39	39	35	38	45	40



Tabelle 6: Chemische Analyse der Fraktion > 0,3 mm zerkleinert mittels elektrodynamische Fragmentierung (Versuch V1-V3) , gemessen mittels RFA und ICP

	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
Aufgabe	67	0,3	6,3	8,4	1,0	0,9		
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	73	0,2	3,6	8,5	1,1	0,8		
grade 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	67	0,2	4,3	8,4	1,1	1,0		
<0,04 mm n.el.Z. V4	59	0,5	10,5	8,3	1,0	1,1		
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	49	28	28	54	56	46		
rec 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	14	12	11	17	18	18		
<0,04 mm n.el.Z. V4	32	65	66	42	41	54		

	CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
Aufgabe	1,5	0,1	1,4	0,9	4,7	5,9	
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	1,4	0,1	0,7	0,8	3,1	5,1	47,3
grade 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	1,8	0,1	0,9	1,1	5,9	6,0	14,9
<0,04 mm n.el.Z. V4	1,6	0,2	2,4	0,8	6,2	6,9	37,8
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	56	40	26	44	33	46	
rec 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	22	14	10	18	20	17	
<0,04 mm n.el.Z. V4	48	46	70	34	54	50	



Tabelle 7: Chemische Analyse der Fraktion > 0,3 mm zerkleinert mittels elektrodynamische Fragmentierung (Versuch V4) , gemessen mittels RFA und ICP

	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
Aufgabe	70	0,3	6,0	7,4	0,9	0,8		
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	81	0,1	2,7	6,3	0,8	0,5		
grade 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	74	0,2	3,3	7,4	1,0	0,8		
<0,04 mm n.el.Z. V4	59	0,4	9,8	8,3	1,0	1,1		
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	45	17	18	33	33	25		
rec 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	17	10	9	16	17	15		
<0,04 mm n.el.Z. V4	38	73	74	51	49	60		

	CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
Aufgabe	1,2	0,1	1,3	0,9	4,1	5,5	
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	0,9	0,1	0,5	0,4	1,6	3,9	38,8
grade 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	1,5	0,1	0,6	1,1	3,2	5,2	15,8
<0,04 mm n.el.Z. V4	1,4	0,2	2,2	1,3	6,6	7,0	45,3
0,1-0,3 mm n.el.Z. V4	29	33	16	17	14	29	
rec 0,04-0,1 mm n.el.Z. V4	19	16	8	19	12	16	
<0,04 mm n.el.Z. V4	52	52	76	65	69	61	

3.2.5 Vergleich konventionelle Zerkleinerung mit elektrodynamischer Zerkleinerung (Mineralische Liberierung)

Die elektrodynamische Zerkleinerung wurde durchgeführt, um eine möglichst hohe Liberierung der einzelnen Minerale zu erhalten. Positive Ergebnisse konnten mit dieser Zerkleinerung erzielt werden. Der Vorteil gegenüber konventionellen Zerkleinerungsmethoden ist die ausgesprochen selektive Zerkleinerung des Materials entlang Korngrenzen bzw. Schwächezonen. Dies ermöglichte eine selektivere Liberierung einzelner Mineralphasen (siehe Abbildung 11) und stellt somit eine optimale Konditionierung für die folgenden Aufbereitungsschritte dar.

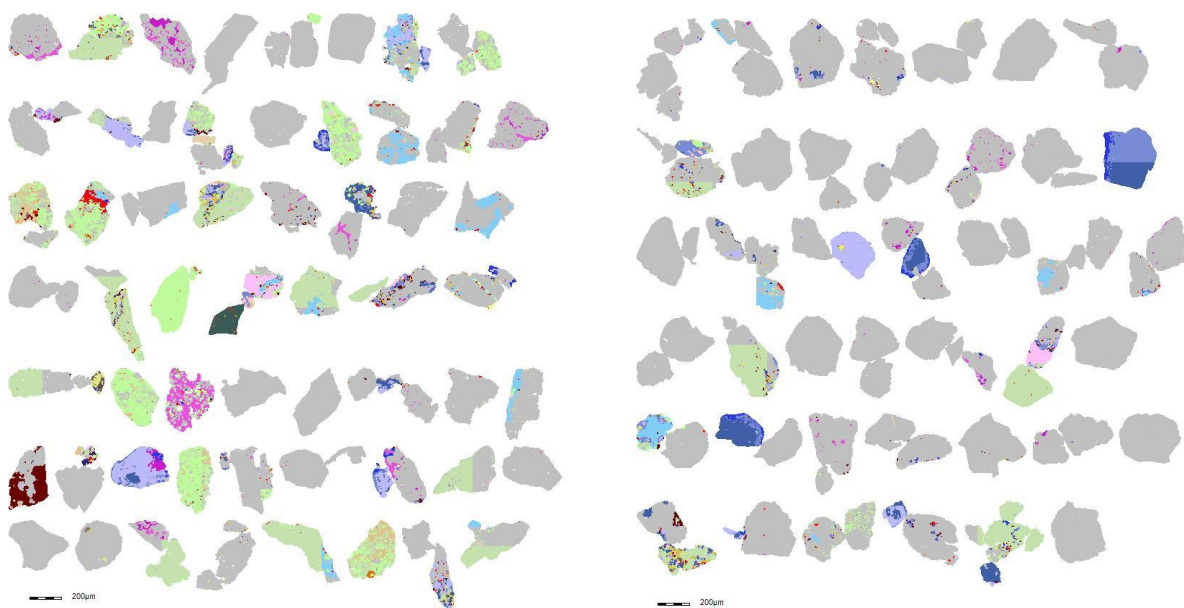


Abbildung 11: Vergleich der Mineral Liberation Analysis der konventionell gebrochenen (links) und der mittels elektrodynamischer Zerkleinerung (rechts) erhaltenen Fraktion 0,1-0,3 mm (V1-V3)

In Tabelle 8 sind die mineralogischen Hauptbestandteile der mittels Mineralogischer Liberierungs Analyse (MLA) untersuchten Fraktionen dokumentiert. (Im Anhang unter Kapitel 8 findet sich eine visuelle

Darstellung der Massenverteilung der jeweiligen Einzelfraktion). In Abbildung 12 bis Abbildung 14 ist die Verteilung der nichtmetallhaltigen Minerale Quarz, Baryt und Dolomit in den einzelnen Fraktionen dargestellt.

Der Quarz Gehalt ist in der Fraktion 0,1 – 0,3 mm V4 (elektrodynamische Zerkleinerung) mit 71,1 Ma.-% am höchsten analysiert worden. Dieser Wert ist um 15 Ma.-% höher als in dem konventionell zerkleinerten Material (Fraktion 0,1 – 0,3 mm). Baryt ist wie schon aufgrund der Chemie vermutet primär in der Fraktion < 0,04 mm (konventionelle Zerkleinerung) angereichert worden (Abbildung 13). Der Dolomit ist leicht in der Fraktion 0,04 – 0,1 mm elektrodynamische Zerkleinerung Test V1-V3 angereichert.

In Abbildung 15 bis Abbildung 17 ist der Verwachsungsgrad dieser drei Minerale visualisiert. Das Mineral Quarz wird mittels elektrodynamischer Zerkleinerung wesentlich besser liberiert. Der beste Liberierungsgrad wird in der Fraktion 0,1 – 0,3 mm V4 (elektrodynamische Zerkleinerung) mit 71,8 Ma.-% am erreicht. Auch nach Attrition der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm ist eine Verbesserung des Verwachsungsgrades, also eine Reduzierung zu erkennen. Bei den Mineralen Baryt und Dolomit wird dagegen keine Verbesserung der Liberierung mittels elektrodynamischer Zerkleinerung erreicht.

Zusammenfassend sind drei positive Effekte mittels der elektrodynamischen Zerkleinerung zu verzeichnen:

- eine deutliche Verringerung des Verwachsungsgrades
- Steigerung des Quarzgehaltes in den Zielfractionen
- Steigerung des Ausbringens in den Zielfractionen

Alle drei Effekte führen zu einer Steigerung der Effizienz in den nachgeschalteten aufbereitungstechnischen Schritten.


Tabelle 8: Mineralogische Hauptbestandteile bestimmt mittels MLA

Mineral		Feed 0,1-0,3mm	Feed 0,04-0,1mm	Feed <0,04mm	0,1-0,3 mm n. Attr.	0,04-0,1 mm elektrod. Zerkl. V1-V3	0,04-0,1 mm elektrod. Zerkl. V4	0,1-0,3 mm elektrod. Zerkl. V1-V3	0,1-0,3 mm elektrod. Zerkl. V4
Galena	[MA.-%]	1,32	0,91	1,17	2,1	3,71	2,54	1,78	0,75
Cerussite	[MA.-%]	3,13	17,18	8,41	2,67	1,03	0,75	0,83	0,52
Zn-Pyrite	[MA.-%]	0,17	0,21	0,54	0,15	0,21	0,15	0,15	0,10
Fe-Oxihydroxides +Mn, Pb (Zn)	[MA.-%]	2,33	2,09	1,13	3,2	2,44	2,32	1,81	1,50
Fe-oxyhydroxide +Pb+Zn	[MA.-%]	1,15	3,8	4,49	1,43	0,61	0,61	0,49	0,42
Quartz	[MA.-%]	55,08	37,37	32,70	59,39	57,07	66,02	62,07	71,10
Mixture Quartz- Muscovite	[MA.-%]	14,28	10,49	10,58	10,15	9,31	6,81	12,27	10,39
Barite	[MA.-%]	1,23	4,71	10,21	3,18	1,24	1,52	0,92	0,49
Orthoclase	[MA.-%]	1,00	0,80	0,93	0,42	0,47	0,31	0,58	0,28
Kaolinite	[MA.-%]	0,34	0,36	0,63	0,15	0,35	0,21	0,24	0,10
Muscovite	[MA.-%]	7,39	10,72	18,12	3,07	6,03	3,81	3,71	1,71
Almandine	[MA.-%]	0,63	0,48	0,66	0,59	0,74	0,60	0,70	0,52
Albite	[MA.-%]	0,71	1,4	1,74	0,68	0,82	0,79	0,70	0,64
Fe-Dolomite	[MA.-%]	2,24	1,31	1,31	2,02	3,97	2,94	3,09	1,77
Siderite	[MA.-%]	4,03	2,95	3,41	5,62	6,01	5,53	4,95	4,43
Zn-Silcate +Al-Mg- Pb-(Na) (Zinalsite)	[MA.-%]	0,21	0,94	0,57	0,08	0,27	0,23	0,14	0,06
Slag Fe-Silicate (Ca-Al-Pb-Zn-Na)	[MA.-%]	0,35	0,72	0,77	0,42	0,29	0,32	0,29	0,30
Rest	[MA.-%]	4,41	3,56	2,63	4,68	5,43	4,54	5,28	4,92

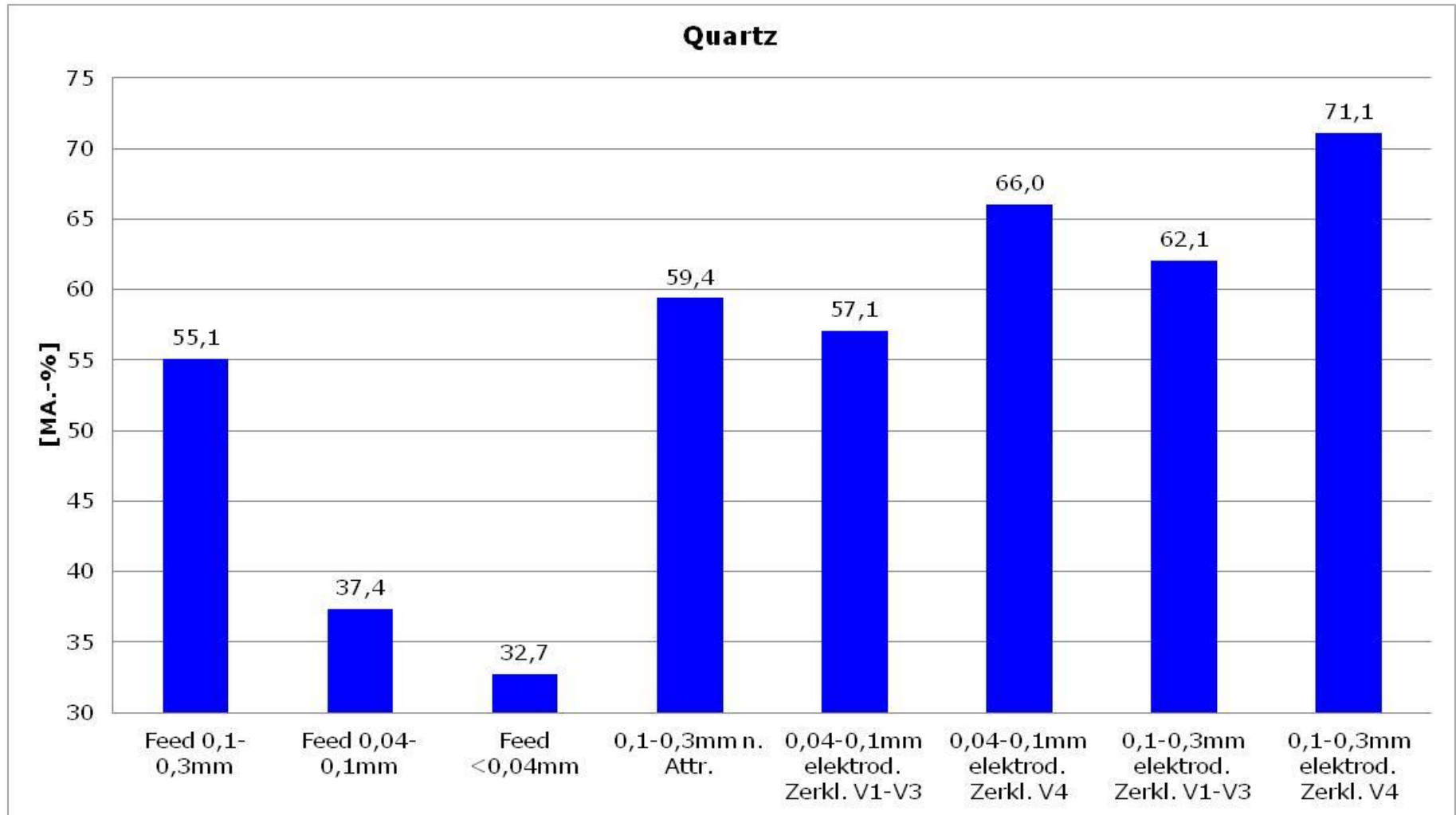


Abbildung 12: Balkendiagramm der Massenverteilung von Quarz (MLA)

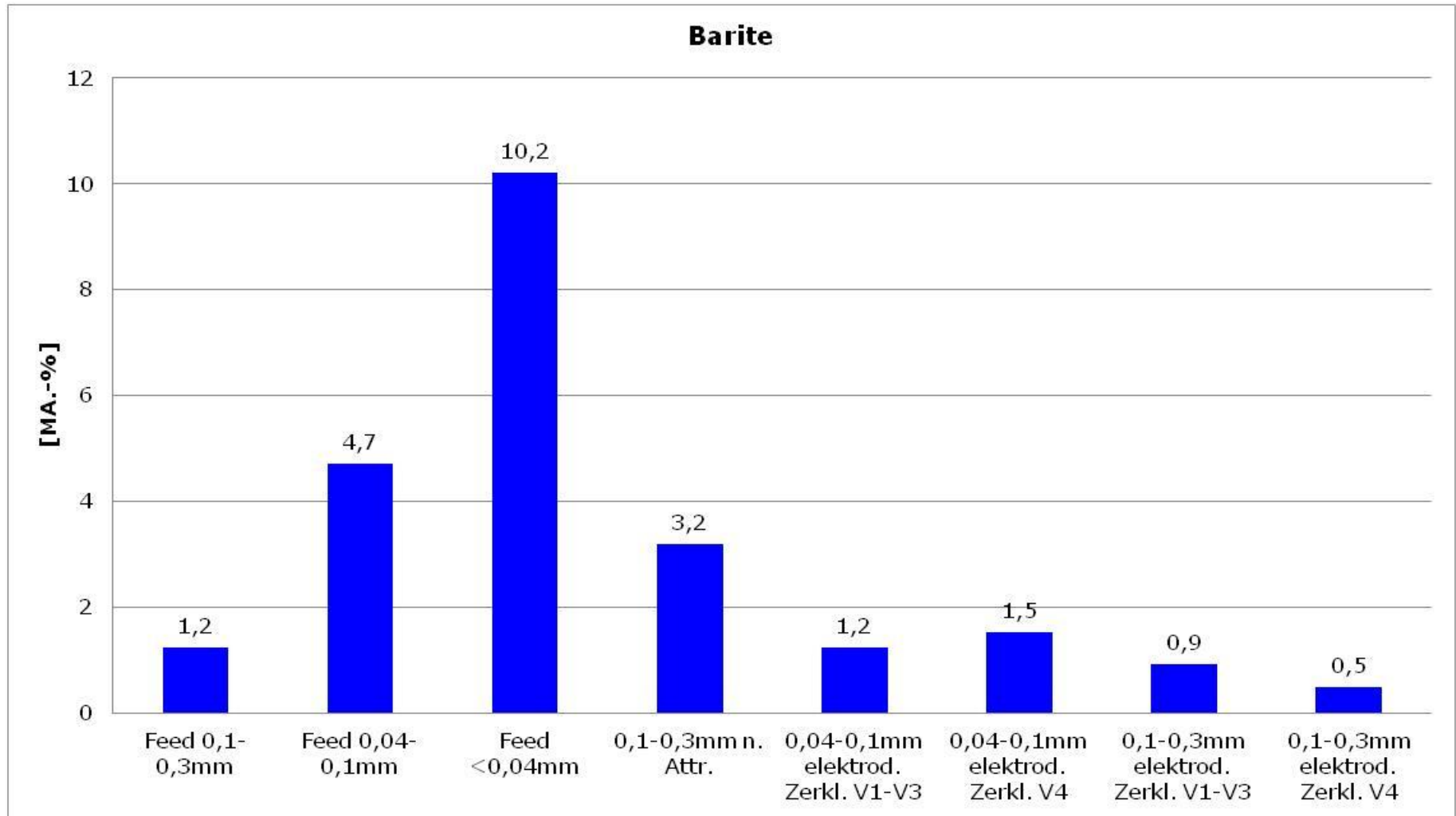


Abbildung 13: Balkendiagramm der Massenverteilung von Baryt (MLA)

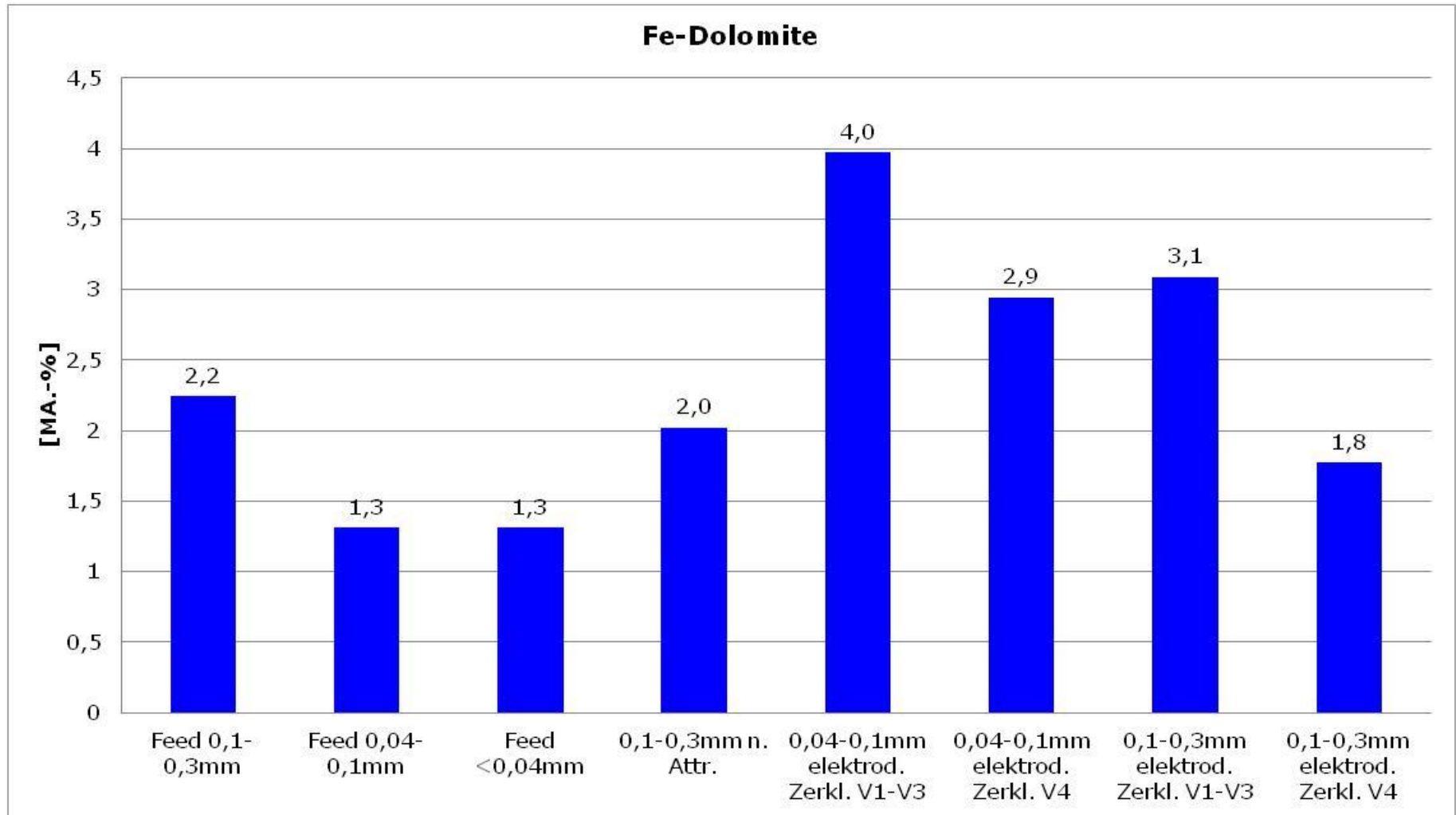


Abbildung 14: Balkendiagramm der Massenverteilung von Fe-Dolomit (MLA)

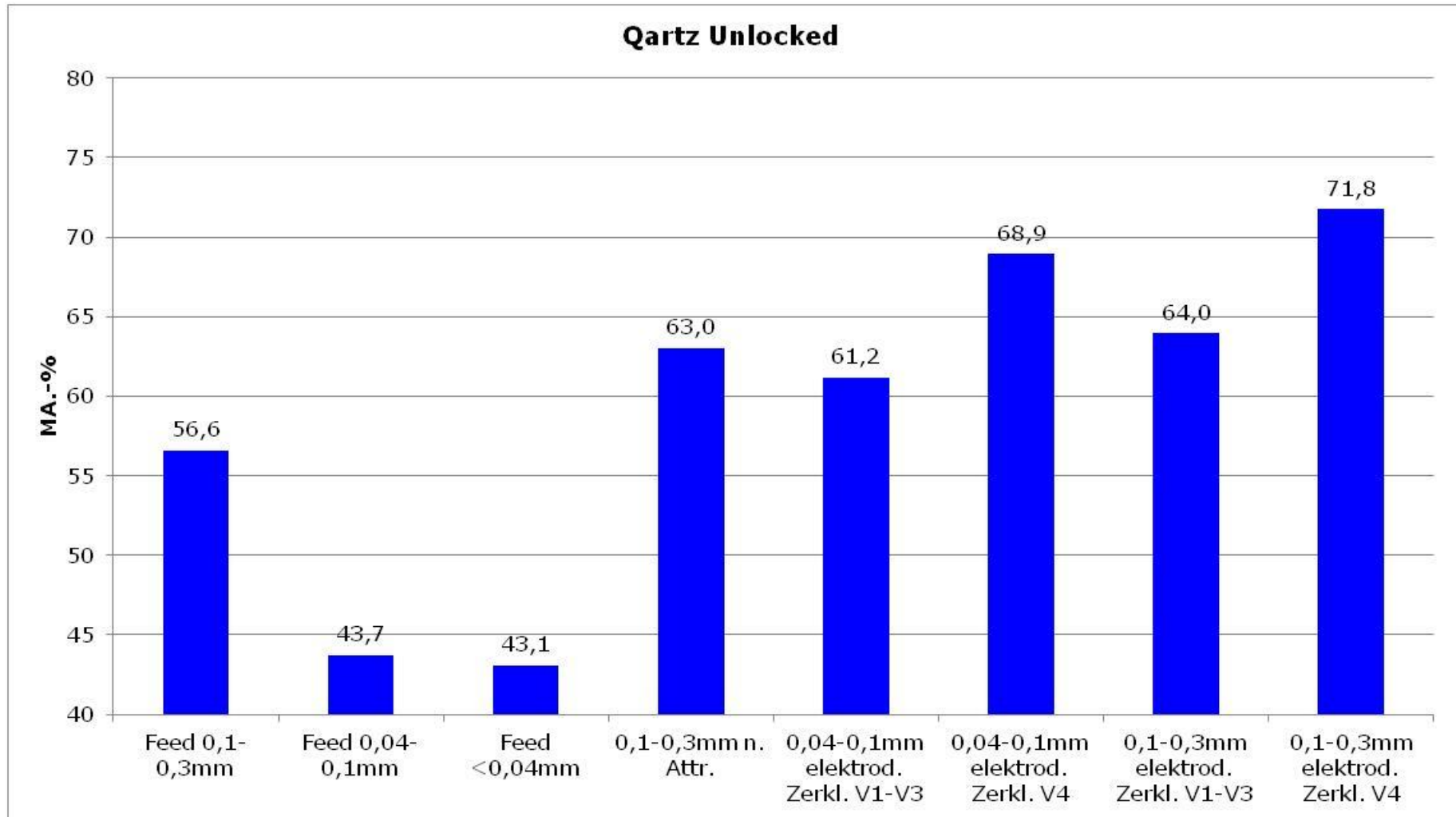


Abbildung 15: Balkendiagramm des Liberierungs Grades von Quarz (Unlocked, MLA)

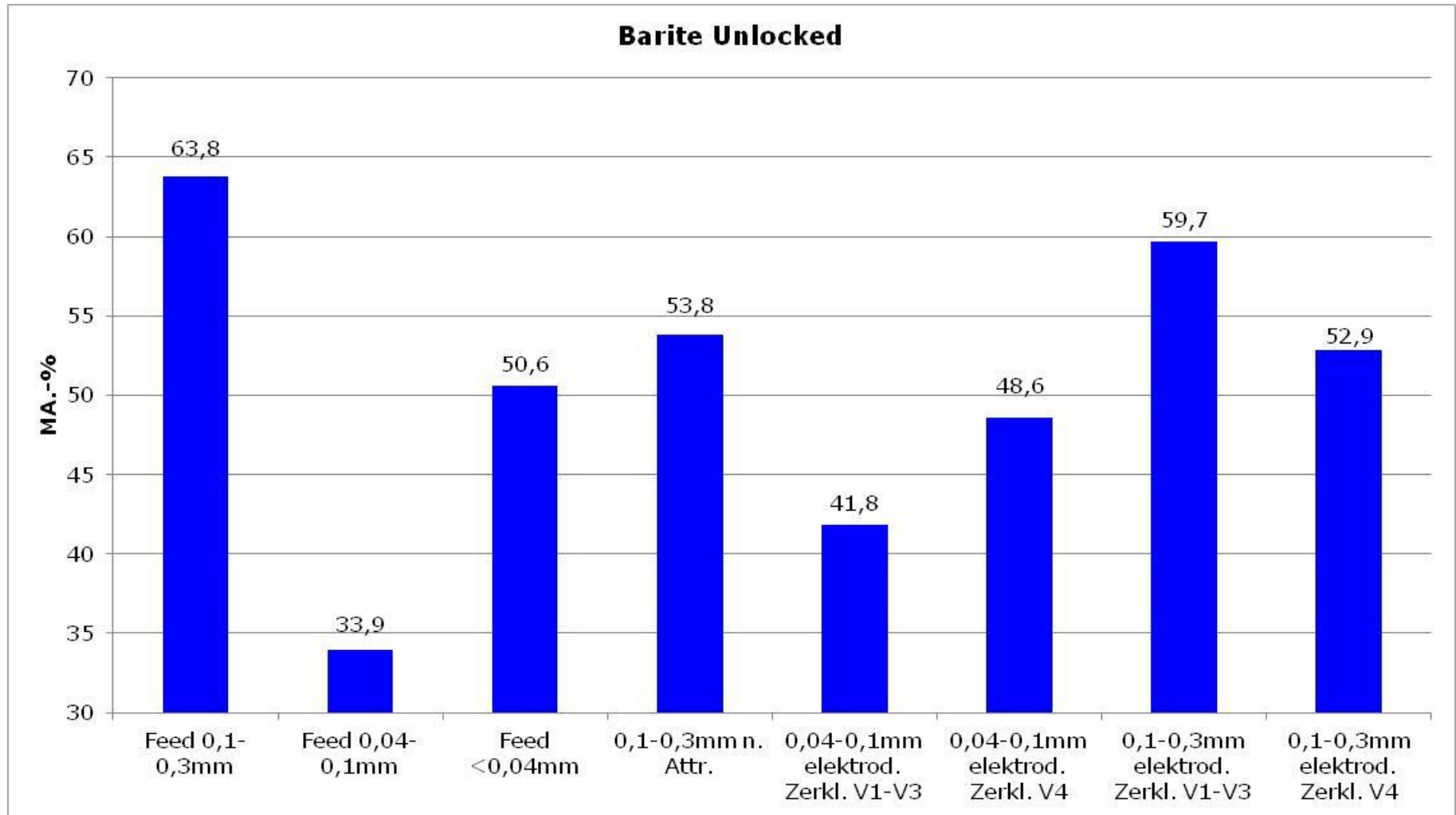


Abbildung 16: Balkendiagramm des Liberierungs Grades von Baryt(Unlocked, MLA)

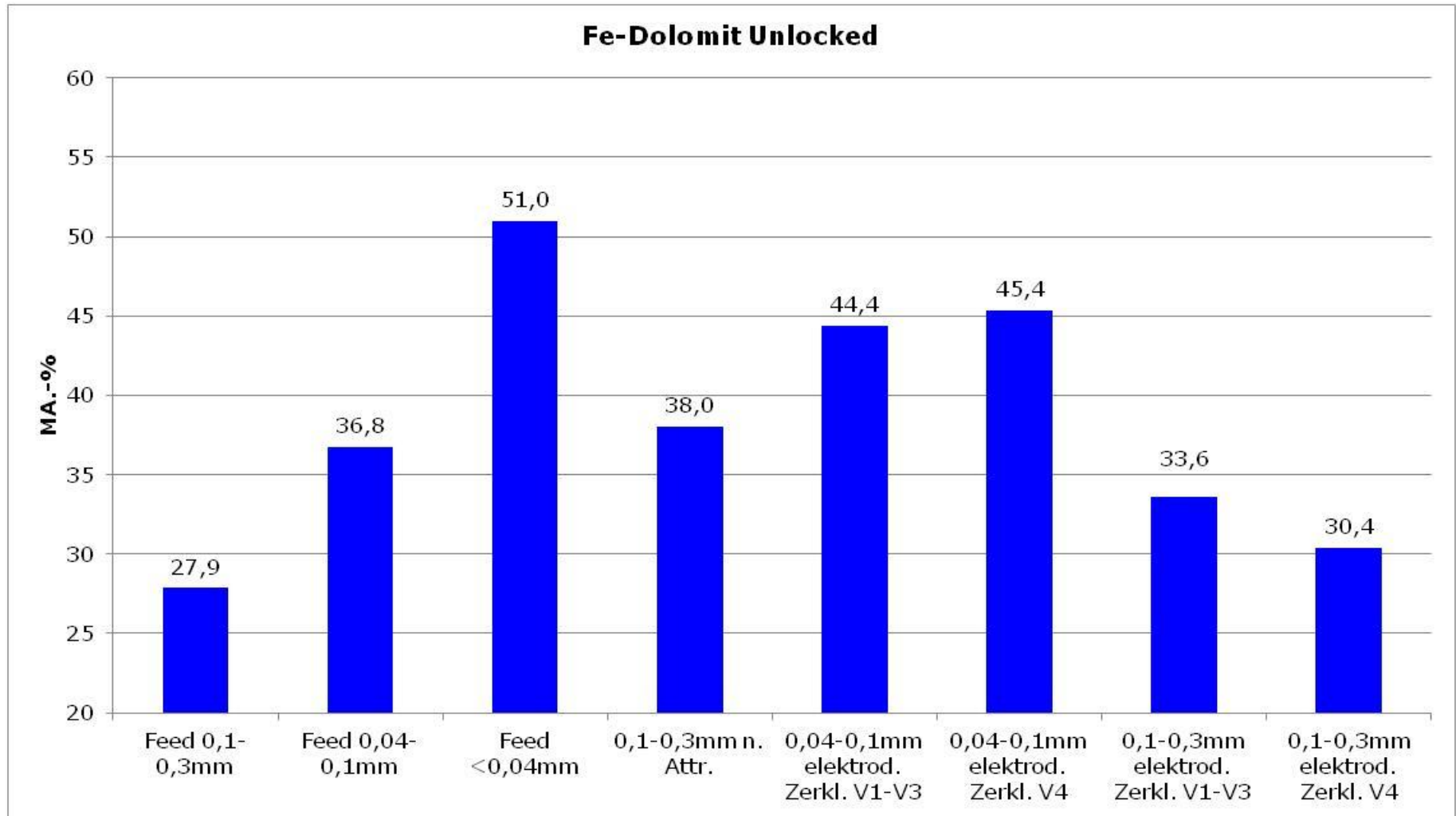


Abbildung 17: Balkendiagramm des Liberierungs Grades von Fe-Dolomit (Unlocked, MLA)

3.2.6 Magnetscheidung

3.2.6.1 Bandmagnetscheidung

Hochgradient Magnetscheidung (HGMS) wurde an der sowohl konventionell als auch an der elektrodynamisch zerkleinerten Fraktion 0,1 – 0,3 mm durchgeführt. Der Fokus hier lag auf einer Reduzierung der Verunreinigungen (Z.B. Fe) und damit einer zeitgleichen Anreicherung des SiO₂ Gehaltes. Durch Einsatz einer optimierten Magnetscheidung konnte eine Voranreicherung von Quarz in der nicht-magnetischen Fraktion mit einer Steigerung des Ausbringens erreicht werden. Hierbei wurde die magnetische Fraktion erneut über den Magnetscheider gefahren, um das Quarz-Ausbringen um 20 Ma.-% zu verbessern.

Die Versuchsparameter sind in Tabelle 9 und die Massenverteilung in Tabelle 10 dokumentiert. Alle Tests wurden dreistufig und mit unterschiedlichen Bandgeschwindigkeiten durchgeführt.

Die Analysenergebnisse der Bandmagnetscheidung sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 gelistet.

Vergleicht man die konventionelle und die elektrodynamische Zerkleinerung, die beide mit gleichen Parametern aufbereitet wurden, so liefert das elektrodynamisch zerkleinerte Material mit 80 Ma.-% Massenausbringen einen leicht höheren Wert. Zudem ist die Selektivität der Magnetscheidung hierbei höher, was man im finalen SiO₂ Wert erkennen kann. Dieser ist mit 90 Ma.-% um 7 Prozent höher als der bei dem konventionell hergestellten Material. Auch der Eisen Wert ist bei dem selektiv Fragmentierten Material mit 33,5 Ma.-% Fe₂O₃ (gegenüber 29,9 Ma.-%, konventionell) höher. Beide Fakten weisen auf eine verbesserte Liberierung des Materials hin, wie schon in Kapitel 3.2.5 diskutiert.

Abschließend kann zu der Bandmagnetscheidung festgestellt werden, dass das elektrodynamisch zerkleinerte Material Vorteile in Bezug auf Selektivität und Ausbringen aufweist. Eine Selektivität bei Blei aufgrund von Verwachsungen mit z.B. eisenhaltigen Mineralen konnte bei beiden Versuchen nicht erzielt werden.

Tabelle 9: Übersicht über die Versuchsparmeter der Bandmagnetscheidungen

Trennschritt	D1	D2	D2	D3
Drehgeschwindigkeit [rpm]	180	170	170	160
Splitter Einstellung	I	I	I	I

Tabelle 10: Massenverteilung der Bandmagnetscheidungen

Sample I.D.		0,1 – 0,3 mm Konventionell	0,1 – 0,3 mm Selfrag
Separation Step	Fraction	[Ma.-%]	[Ma.-%]
D1	NonMag 1	68,4	72,8
D2	NonMag 2	7,1	5,0
D3	NonMag 3	2,9	2,2
	Sum of NonMag fractions	78,4	80,0
D3	Mag	21,6	20,0



Tabelle 11: Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Bandmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	73	0,2	3,6	8,0	1,0	0,6
grade	NONMAG	83	0,2	3,9	2,0	0,2	0,4
	MAG	38	0,1	2,6	29,9	4,0	1,6
rec	NONMAG	89	84	84	20	15	45
	MAG	11	16	16	80	85	55

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	1,0	0,1	0,8	1,3	3,4	5,4	
grade	NONMAG	0,6	0,1	0,8	1,4	3,3	3,1	78,4
	MAG	2,8	0,0	0,5	0,8	4,1	13,9	21,6
rec	NONMAG	42	93	85	86	74	45	
	MAG	58	7	15	14	26	55	



Tabelle 12: Chemische Analyse der selektiv fragmentierten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Bandmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	78	0,1	2,3	7,6	1,0	0,6
grade	NONMAG	90	0,1	2,3	1,1	0,1	0,2
	MAG	31	0,1	2,5	33,5	4,5	2,5
rec	NONMAG	92	78	79	11	7	22
	MAG	8	22	21	89	93	78

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	1,2	0,1	0,4	0,6	2,5	4,8	
grade	NONMAG	0,3	0,1	0,4	0,7	2,6	1,9	80,0
	MAG	4,7	0,1	0,4	0,5	2,0	16,5	20,0
rec	NONMAG	21	90	81	85	84	31	
	MAG	79	10	19	15	16	69	

3.2.6.2 Suspensionsmagnetscheidung

Die feinere Fraktion 0,04 – 0,1 mm (konventionell hergestellt) wurde mittels Suspensionsmagnetscheidung aufbereitet. Die Analyseergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle 13 nachzulesen. In der nichtmagnetischen Fraktion wurden nur 5,6 Ma.-% der Masse ausgetragen. Was ein geringer Wert ist. Zudem wird nur ein SiO₂ Wert von 81 Ma.-% erreicht.

Blei wird zwar in der Mag Fraktion mit 12,6 Ma.-% angereichert, ist aber in der NonMag Fraktion mit 5,4 Ma.-% immer noch erhöht.

Auf Basis der Ergebnisse des besten Versuches aus der Aufbereitung des konventionell zerkleinerten Materials wurde das elektrodynamisch zerkleinerte Material aufbereitet.

Dieser Versuch ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Fraktionen 0,04 – 0,1 mm nach der Suspensionsmagnetscheidung. Mittels dieses verfahrenstechnischen Schrittes gelang es, in der magnetischen Fraktion (links) dunkle Partikel aus dem Aufgabematerial abzutrennen. Die hellen Partikel befinden sich eher in der nichtmagnetischen Fraktion. Das Massenausbringen der für die Nichtmetallaufbereitung interessanteren hellen nichtmagnetischen Fraktion beläuft sich auf 34,8 Ma.-%, was eine Steigerung des Ausbringens um fast 30 Prozent gegenüber der konventionellen Zerkleinerung ist. Die Analyseergebnisse des Versuchs sind in Tabelle 14 gelistet. Die SiO₂ Wert wurde um 10 Prozent auf 91 Ma.-% verbessert und der Fe₂O₃ Wert wurde von schon niedrigen 0,5 Ma.-% (konventionell) nochmals verringert und es wurde ein Eisenoxid Wert von 0,17 Ma.-% generiert. Bei Blei hingegen konnte kaum ein Split erreicht werden.



Abbildung 18: Vergleich der Fraktion 0,04 – 0,1 mm Mag (links, dunkel) und NonMag (rechts, hell) nach der Suspensionsmagnetscheidung des elektrodynamisch zerkleinerten Materials



Tabelle 13: Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,04 – 0,1 mm nach Suspensionsmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
	Aufgabe	57	0,3	6,1	7,0	1,3	0,6		
grade	NONMAG	81	0,1	2,5	0,5	0,1	0,1		
	MAG	55	0,3	6,3	7,4	1,4	0,6		
rec	NONMAG	8	2	2	1	1	1		
	MAG	92	98	98	99	99	99		

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	0,8	0,2	1,3	3,4	12,2	7,6	
grade	NONMAG	0,2	0,1	0,5	3,9	5,4	3,6	5,6
	MAG	0,9	0,2	1,4	3,4	12,6	7,9	94,4
rec	NONMAG	2	4	2	6	2	3	
	MAG	98	96	98	94	98	97	



Tabelle 14: Chemische Analyse der selektiv fragmentierten Fraktion 0,04 – 0,1 mm nach Suspensionsmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	71	0,2	3,4	8,3	1,0	0,9
grade	NONMAG	91	0,1	1,6	0,17	0,01	0,04
	MAG	60	0,2	4,3	12,6	1,6	1,3
rec	NONMAG	45	12	16	1	0	2
	MAG	55	88	84	99	100	98

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	1,6	0,1	0,7	1,0	4,5	6,2	
grade	NONMAG	0,2	0,1	0,3	1,1	3,0	2,0	34,8
	MAG	2,4	0,2	0,9	0,9	5,3	8,4	65,2
rec	NONMAG	3	24	14	38	23	11	
	MAG	97	76	86	62	77	89	

3.2.7 Flotation

Es wurden insgesamt 20 Flotationsversuche mit verschiedenen Flotationsreagenzien durchgeführt. Alle Flotationen liefen nach folgenden Schritten ab:

- Probe in destilliertem Wasser aufrühren
- Einstellung des pH-Wertes durch Zugabe von Natronlauge (NaOH) für pH-Werte > 7
- Zugabe des Flotationsmittels (Kollektor)
- Konditionierung von Probe und Reagenz für 3 min
- Flotation und Abtrennung der störenden/erwünschten Minerale zusammen mit dem Schaum; Schaumentfernung mit destilliertem Wasser
- Entwässern der beiden Fraktionen
- Trocknen bei 105 °C

Die Flotation wurde sowohl an der konventionell als auch an der elektrodynamisch zerkleinerten Zielfraktion durchgeführt. In Tabelle 15 und Tabelle 17 sind die Versuchsparameter der beiden aussagekräftigsten Flotationsversuche dokumentiert. Die Versuchsparameter und Analysen der restlichen Versuche sind im Anhang in Kapitel 8 gelistet. Primäres Ziel war es mittels Flotation nichtmetallische Minerale wie Quarz und Baryt auf zu konzentrieren und im optimalen Fall zu einem verwertbaren Produkt zu verbessern. Ein zweiter Gesichtspunkt der flotativen Versuche war es Kritische Minerale wie Blei oder Zink zu reduzieren.

Die Analysenergebnisse der chemischen Zusammensetzung sind in Tabelle 16 und Tabelle 18 gelistet. Eine Erhöhung des SiO_2 Gehaltes wurde in der 0,01 – 0,3 mm mit 90 Ma.-% und in der 0,04 – 0,1 mm Fraktion mit 88 Ma.-% nach der Flotation mit dem Flotationsreagenz K2C erreicht. Die

Vergleichswerte der konventionell produzierten Fraktionen sind bis zu 40 Ma.-% geringer. Der Gehalt des kritischen Elements Blei ist zusätzlich in beiden Konzentraten immer noch erhöht.

Für die Anreicherung von Baryt wurden auch Flotationsversuche durchgeführt. Der maximale BaO Wert dabei erreicht wurde war mit dem Flotationsversuch F15. Der BaO Gehalt wurde in diesem Konzentrat mit 28,5 Ma.-% analysiert, dies entspricht einem BaSO₄ Wert von 48,4 Ma.-%. Die Prozessparameter und detaillierten Analysenergebnisse sind im Anhang in Kapitel 8 zu finden.



Tabelle 15: Übersicht über die Versuchsparmeter der Flotationen, Fraktion 0,1 - 0,3 mm

Flotation	Korngröße [mm]	Reagenz	Kollektor- Zugabe [g/t]	pH-Wert [-]	Flotationszeit [min]
Flot F 4.2	0,1 - 0,3 konventionell	FS100	750	9-11	2 x 4
Flot F 17	0,1 - 0,3 Selfrag	FS100	750	9-11	2 x 4

Tabelle 16: Chemische Analyse der mittels konventioneller und elektrodynamischer Zerkleinerung hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm, gemessen mittels RFA und ICP

	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
Flot F 4.2 0,1 -0,3 mm konventionell	48	0,05	1,2	20	2,7	1,0		
Flot F 18 0,04 – 0,1 mm Selfrag	90	0,07	1,7	1,0	0,08	0,17		
	CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glüh- verlust	Aus- bringen	
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	
Flot F 4.2 0,1 -0,3 mm konventionell	1,8	0,02	0,2	6,4	4,9	10	13,5	
Flot F 17 0,04 – 0,1 mm Selfrag	0,3	0,10	0,3	1,3	2,6	1,5	1,3	



Tabelle 17: Übersicht über die Versuchsparmeter der Flotationen, Fraktion 0,04 – 0,1

Flotation	Korngröße [mm]	Reagenz	Kollektor- Zugabe [g/t]	pH-Wert [-]	Flotationszeit [min]
Flot F 5.3	0,04 - 0,1 konventionell	K2C	750	9,5-10,2	2 x 4
Flot F 18	0,04 - 0,1 Selfrag	K2C	750	9,5-10,2	2 x 4

Tabelle 18: Chemische Analyse der mittels konventioneller und elektrodynamischer Zerkleinerung hergestellten Fraktion 0,04 – 0,1 mm nach Flotation, gemessen mittels RFA und ICP

	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
Flot F 18 0,04 – 0,1 mm konventionell	76	0,23	5,0	6,0	0,7	0,8		
Flot F 18 0,04 – 0,1 mm Selfrag	88	0,11	2,6	1,4	0,14	0,19		
	CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glüh- verlust	Aus- bringen	
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	
Flot F 18 0,04 – 0,1 mm konventionell	1,5	0,13	1,0	0,23	1,3	6,2	6,1	
Flot F 18 0,04 – 0,1 mm Selfrag	0,22	0,10	0,5	0,09	4,0	2,0	17,0	

3.2.8 Nassherd

Um die Funktionsweise des Nassherdes mit dem Haldenmaterial Bergwerkswohlfahrt zu überprüfen wurde ein Orientierungsversuch mit der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm durchgeführt. Da das Sortierprinzip bei der Nassherdsortierung auf Dichteunterschieden basiert, war der Gedanke hinter diesem Aufbereitungsschritt dass sich kritische Schwerminerale aufkonzentrieren und so abtrennen lassen.

Bei den 4 abgetrennten Fraktionen des Nassherdes (Rütteltisch) wurden die ersten beiden Fraktionen (Leichtfraktion) wegen der geringen Menge zusammengefasst (T1+T2). Im Schwergut (T4) wurden kritische Elemente wie Blei und Mangan angereichert. Das Element Blei ist aber auch noch in hohen Konzentrationen (2,6 Ma.-%) in den Leichtfraktionen zu finden, was auf einen noch optimierungsfähigen Liberierungsgrad der Bleiminerale in dieser Fraktion hindeutet.

Bariumoxid konnte in der Schwerfraktion mit einem Gehalt von 2,3 Ma.-% nachgewiesen werden, was ein Ausbringen von 87 Ma.-% entspricht.

Außerdem wurde auch Eisen in der Schwerfraktion angereichert.

Abschließend kann zu dem Nassherd Versuch berichtet werden, dass keine signifikante Reduzierung kritischer Elemente (wie z.B. Blei) in der Leichtfraktion erreicht werden konnte, weil der Verwachsungsgrad der betreffenden Minerale noch zu hoch war.



Tabelle 19: Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach Nassherd Aufbereitung, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
grade	T1+2	79	0,2	3,6	6,5	0,8	0,6		
	T3	80	0,2	3,6	6,2	0,8	0,6		
	T4	68	0,1	3,1	10,0	1,3	0,6		
rec	T1+2	15	15	15	12	12	14		
	T3	49	49	49	37	36	45		
	T4	36	36	36	51	52	41		

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glüh- verlust	Aus- bringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
grade	T1+2	0,9	0,1	0,7	0,4	2,6	4,1	14,3
	T3	1,0	0,1	0,7	0,2	2,4	3,6	46,4
	T4	1,0	0,1	0,6	2,3	4,8	5,6	39,3
rec	T1+2	14	17	15	5	11	13	
	T3	45	48	49	8	33	37	
	T4	41	34	36	87	56	49	

3.2.9 Elektrostatische Sortierung

Die Funktionsweise eines Freifall-Elektroscheiders ist in Abbildung 19 dargestellt. Um die bestmögliche Trennung zu erzielen, wurden die Versuche mit maximaler Hochspannung durchgeführt (70.000 V). Das Aufgabegut fällt in den Spalt zwischen den Elektroden, wo es entsprechend seiner Eigenladung abgelenkt wird. Es entstehen drei Fraktionen: an der positiven Elektrode „F+“, in welcher typischer Weise z.B. Quarz angereichert wird, an der negativen Elektrode „F-“, in der z.B. Feldspat zu finden ist. Die Mittelfraktion „FM“ wurde nicht ausreichend durch das elektrostatische Feld beeinflusst und kann entweder noch einmal mit aufgegeben oder separat aufbereitet werden.

Insgesamt wurden vier elektrostatische Sortierversuche durchgeführt. Test Nummer 4 wurde zweistufig gefahren. Das Material auf der positiven Seite wurde abgetrennt, das Material auf der negativen Seite und der mittleren Fraktion wurde noch einmal aufgegeben. Bei der zweiten Stufe dieses Versuchs waren zwischen den Platten deutliche Blitze (Entladungen) sichtbar. An diesen Stellen blieb etwas Material des Aufgabeguts haften. In Tabelle 20 sind die Einstellungen und Massenausbringen dokumentiert.

Nachfolgend wird nur der aussagekräftigste Test V2 diskutiert. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in Tabelle 21 gelistet. Alle weiteren Analyseergebnisse befinden sich im Anhang im Kapitel 8.

In Fraktion F+ wird der SiO₂ Gehalt auf 79 Ma.-% angereichert. In der F-Fraktion wird das BaO auf 3,3 Ma.-% und Fe₂O₃ auf 11,2 Ma.-% aufkonzentriert. Durch diesen Versuch ist eine Anreicherung der Nichtmetallfraktion in der F+ Fraktion nachgewiesen worden, aber das Blei ist in allen Fraktionen in erhöhten Konzentrationen vertreten.

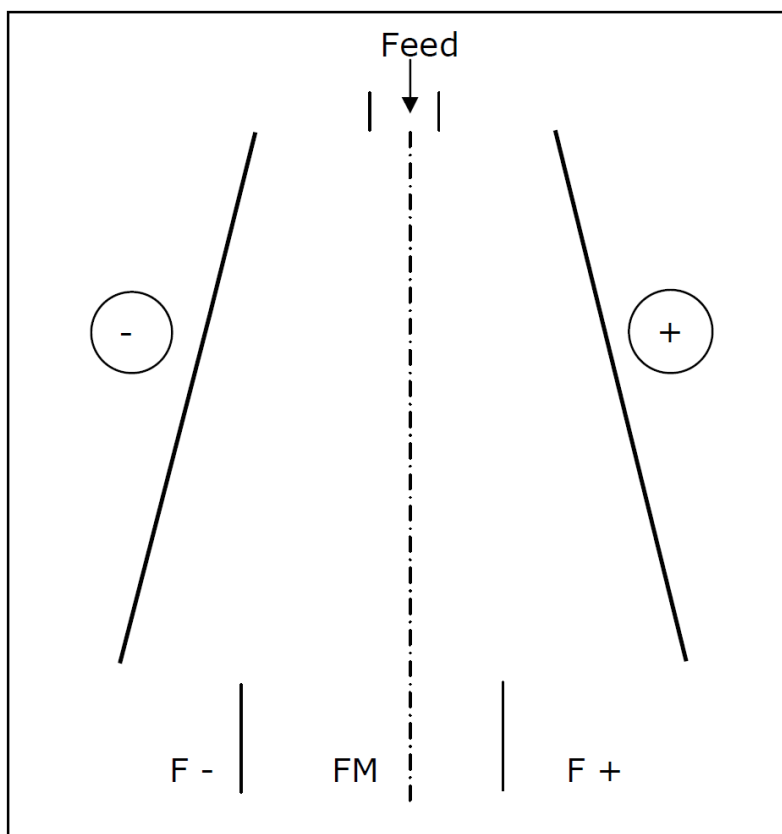


Abbildung 19: Prinzipskizze eines Freifallscheiders mit positiver und negativer Elektrode und den Splintern am Boden



Tabelle 20: Einstellungen und Massenverteilung der elektrostatischen Sortierungen

Test Nummer		V1	V2	V3	V4.1	V4.2
Temperatur Aufgabegut	[°C]	130	130	130	130	130
Negative Elektrode						
Länge	[m]	2	2	2	2	2
Entfernung der Elektrode zur Mitte, oben	[cm]	14	14	14	14	14
Entfernung der Elektrode zur Mitte, unten	[cm]	22	22	22	22	22
Hochspannung	[V]	-35000	-35000	-35000	-35000	-35000
Positive Elektrode						
Länge	[m]	2	2	2	2	2
Entfernung der Elektrode zur Mitte, oben	[cm]	10	10	10	10	10
Entfernung der Elektrode zur Mitte, unten	[cm]	31	31	31	31	31
Hochspannung	[V]	+35000	+35000	+35000	+35000	+35000
Splitter Position						
Entfernung Splitter F-/FM zur Mitte	[cm]	14	14	14	14	14
Entfernung Splitter FM/F+ zur Mitte	[cm]	10	10	10	10	10
Massenverteilung						
Fraktion F- (Feldspat)	[MA.-%]	29	22	20	29	31,0
Mittelfraktion FM	[MA.-%]	19	23	24	16	20,0
Fraktion F+ (Quarz)	[MA.-%]	52	55	56	56	49,0



Tabelle 21: Chemische Analyse der konventionell hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm nach elektrostatischer Sortierung, gemessen mittels RFA und ICP

		SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
	Aufgabe	74	0,2	3,4	7,9	1,0	0,6		
	F+	79	0,2	3,8	6,0	0,7	0,5		
grade	FM	71	0,1	2,9	9,4	1,2	0,6		
	F-	65	0,1	2,9	11,2	1,4	0,9		
	F+	59	61	61	42	41	44		
rec	FM	22	20	20	27	28	24		
	F-	19	19	19	31	32	33		

		CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glühverlust	Ausbringen
		[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]
	Aufgabe	1,0	0,1	0,7	1,2	3,6	4,7	
	F+	0,7	0,1	0,8	0,4	2,8	3,7	55,2
grade	FM	1,1	0,1	0,6	1,2	5,2	5,3	23,1
	F-	1,7	0,1	0,6	3,3	4,0	6,6	21,7
	F+	39	58	62	19	43	43	
rec	FM	24	22	20	23	33	26	
	F-	37	19	18	58	24	30	

3.3 Kombinierte Aufbereitungsversuche

Aufbauend auf den eben beschriebenen Versuchen und Erkenntnissen wurden Optimierungsversuche mit unterschiedlichen Kombinationen aus Magnetscheidung, Flotation und Elektrostatik mit angepassten Versuchsparametern durchgeführt. An dieser Stelle wird auf nur einen Versuch exemplarisch eingegangen. Bei diesen Versuchen werden die Grenzwerte für Sekundärrohstoffe eingehalten, aber es wurde kein Konzentrat generiert, deren Spezifikation sich in der Nähe von verwertbaren Produkten in Glas und Keramikanwendung befindet

Als erster Aufbereitungsschritt wurde in dem hier beschriebenen Beispiel die optimierte Magnetscheidung gewählt. Ziel dieses Schrittes war es eine zusätzliche Voranreicherung von Quarz mit erhöhtem Ausbringen in der nicht-magnetischen Fraktion zu erreichen. Dies wurde mit einer erneuten Aufgabe der Magnetischen Fraktion bewerkstelligt (siehe Analysenergebnisse Tabelle 12). Anschließend wurde eine Flotation mit dem Reagenz K2C durchgeführt den Quarzgehalt weiter zu steigern. Eine signifikante Erhöhung des SiO₂ Gehaltes wurde in der 0,01 – 0,3 mm mit 94 Ma.-% erreicht. Der Gehalt des kritischen Elements Blei ist in diesem Konzentrat immer noch erhöht.

Die Versuchsparameter und die Analysenergebnisse sind in Anhang in Kapitel 8 zu finden.



Tabelle 22: Übersicht über die Versuchsparmeter der Flotationen

Flotation	Korngröße [mm]	Reagenz	Kollektor- Zugabe [g/t]	pH-Wert [-]	Flotationszeit [min]
Flot F 17	0,1 - 0,3 SelFrag	K2C	750	9,5-10,2	2 x4

Tabelle 23: Chemische Analyse der mittels elektrodynamischer Zerkleinerung hergestellten Fraktion 0,1 – 0,3 mm und 0,04 – 0,1 mm nach Flotation, gemessen mittels RFA und ICP

	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO		
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]		
Flot F 17 0,1 -0,3 mm	94	0,02	0,7	0,4	0,03	0,03		
	CaO	Na₂O	K₂O	BaO	PbO	Glüh- verlust	Aus- bringen	
	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	[Ma.-%]	
Flot F 17 0,1 -0,3 mm	0,08	0,03	0,09	0,08	3,1	1,5	39,2	

3.4 Aufbereitung der Reststoffe aus der Aufbereitung / Nutzbarmachung der Metallfraktion

Eine Aufbereitung der Reststoffe aus der Nutzbarmachung der Metallfraktion konnte leider nicht ermittelt werden, da dieses Material seitens CUTEK für Flotations- und Laugungsversuche sehr fein aufgemahlen wurde ($< 30 \mu\text{m}$). Eine weitere Verbesserung des Materials mittels oben genannter verfahrenstechnischer Aufbereitungsschritte war deswegen nicht möglich. Die verbleibenden Kalziumsilikatrückstände haben die Qualität von Zementzuschlagstoffen und könnten insoweit verwertet werden.

3.5 Eluationsversuche

In Tabelle 24 sind die Analysenergebnisse unterschiedlicher S4 Eluate (24 h in destilliertem Wasser) dokumentiert. Eluationsversuche wurden sowohl am Ausgangsmaterial, als auch an verschiedenen Aufbereitungsstadien der hier diskutierten Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse der Eluationsversuche stellen eine wichtige Datengrundlage für die nachfolgende Bewertung der Verwertungsmöglichkeiten dar.

Kritische Eluatwerte wie Blei wurden mit einer Konzentration von 1,1 mg/l im Ausgangsmaterial unserer Probe der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt analysiert. Die Schwankungsbreite zwischen Minimum und Maximum Wert aller analysierten Proben erstrecken sich von 0,1 mg/l bis zu 1,1 mg/l. Zink und Cadmium wurde in keiner Probe nachgewiesen, diese lagen alle unterhalb der Nachweisgrenze..



Tabelle 24: Chemische Analyse von Eluationsversuchen (S4 Eluat) verschieden aufbereiteter Fraktionen aus der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt, gemessen mittels ICP

Parameter	As	Ba	Pb	Cd	Cl ⁻	Cr (ges)	Cu	Ni	So ₄ ²⁻	Zn
Einheit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Feed	< 0,1	0,30	1,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	17,7	< 0,02
> 0,315	< 0,1	0,07	0,3	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	77,0	< 0,02
0,1-0,3	< 0,1	0,09	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	33,0	< 0,02
0,04 - 0,1	< 0,1	0,06	0,3	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	62,1	< 0,02
Selfrag 0,04 < 0,1mm M 1 NonMag 1	< 0,1	0,29	0,2	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	10,5	< 0,02
Selfrag 0,04 < 0,1mm M 1 Mag	< 0,1	0,09	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	32,9	< 0,02
Eject (hell)	< 0,1	0,25	0,2	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	33,5	< 0,02
Reject (dunkel)	< 0,1	0,07	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	67,5	< 0,02
Mag3 0,1-0,3 BM 01	< 0,1	0,05	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	85,6	< 0,02
NonMag1 0,1-0,3 BM01	< 0,1	0,14	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	21,9	< 0,02
Flot F4-3 Konz	< 0,1	0,13	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	28,6	< 0,02
Flot F5-2	< 0,1	0,11	0,1	< 0,01	8,3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	27,6	< 0,02
Min	< 0,1	0,05	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	0,02	< 0,02	10,5	< 0,02
Max	< 0,1	0,30	1,1	< 0,01	8,3	< 0,02	0,02	< 0,02	85,6	< 0,02
Mittelwert	< 0,1	0,13	0,3	< 0,01	< 5	< 0,02	0,02	< 0,02	40,6	< 0,02

4 Verwertungsmöglichkeiten

4.1 Mineralische Nichtmetall Produkte

4.1.1 Quarz

Quarz (SiO_2) ist ein wichtiger Rohstoff für die Glasherstellung. In Keramikwerkstoffen, z.B. Porzellan, ist Quarz als Zuschlagsstoff enthalten. Außerdem wird er elektronisch, z.B. für piezoelektrische Oszillatoren oder als Schwingquarz in Uhren, und optisch, z.B. in Prismen und Linsen, verwendet. In der Halbleiterindustrie wird Quarz für die Siliziumherstellung benötigt. Wegen der hohen Säurebeständigkeit des im Quarz enthaltenen Siliziums wird dieser bei der Herstellung von Chemikaliengefäßen genutzt.

Grundsätzlich werden für Quarz in der Glasindustrie SiO_2 Gehalte über 99% Reinheit mit gleichzeitigen niedrigen Gehalten an färbenden Elementen (wie z.B. Eisen) in der Fraktion 0,1 – 0,3 mm und 0,04 – 0,1 mm benötigt. Wobei für die Fraktion 0,04 – 0,1 mm der SiO_2 Gehalt größer 98,5 Ma.-% typisch ist. [22]

Mit dem elektrodynamisch zerkleinerten Material erreicht man nach der Flotation eine erhebliche Anreicherung dieser Gehalte (93,7 Ma.-%; Flotation V 18 Fraktion 0,04 – 0,1 mm). Die verbesserten SiO_2 Werte sind aber noch erheblich von den geforderten Spezifikationen in der Glasindustrie entfernt.

4.1.2 Dolomit

Dolomit ($\text{Ca}(\text{Mg}(\text{CO}_3)_2)$) dient als Filtermaterial für die Wasseraufbereitung. Es wird auch für die Rauchgasentschwefelung benötigt, da das enthaltene Kalzium mit dem Schwefel zu Gips reagiert. Bei der Verwendung in technischen Gläsern unterstützt das enthaltene Magnesium die Beständigkeit gegenüber Chemikalien. In der Eisen- und Stahlherstellung wird Dolomit als Fließmittel genutzt.

Die Eisen und Stahlindustrie geben Spezifikationen für Dolomit von mindestens 18 Ma.-% MgO und 28 Ma.-% CaO vor. Die höchsten Werte, die während den Aufbereitungsversuchen generiert wurden lagen dagegen bei 4,6 Ma.-% CaO und 2,5 Ma.-% MgO.

4.1.3 Baryt

Baryt (BaSO_4) wird wegen seines hohen Gewichts hauptsächlich als Beschwerungsmittel für Bohrspülungen eingesetzt. Zudem kann es als Füllmittel in diversen Stoffen, z.B. Gummi, Farben oder Kunststoffen, verwendet werden. Barium, das aus Baryt gewonnen werden kann, findet man auch in einigen Reagenzien bzw. Katalysatoren für die Herstellung von Vitaminen und Hormonen oder bei der Erzaufbereitung. Weiterhin findet man es wegen seiner strahlungsabschirmenden Eigenschaften beispielsweise in Wandanstrichen von Röntgenräumen in Krankenhäusern. Baryt wird typischerweise mit einer Konzentration von 94 Ma.-% verkauft. Während den Aufbereitungsversuchen wurde ein maximaler Wert von BaSO_4 von 48,4 Ma.-% erreicht.

4.2 Sekundärrhostoff (Recyclingbaustoffe)

Da keine direkte Anwendung als mineralisches Produkt für das aufbereitete Material aus Bergwerkswohlfahrt gefunden werden konnte, wurden alternative Verwertungsmöglichkeiten in Betracht gezogen. Hierunter fallen unter anderem folgende Anwendungen: Asphaltgranulat, Betongranulat oder Mischabbruchgranulat.

Würde man das Pochsandhaldenmaterial als „rezyklierten Brechsand“ ($\leq 4 \text{ mm}$) ansehen, so würde dieser nach DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ folgenden in Tabelle 25 gelisteten Spezifikationen unterliegen. Zur besseren Übersicht sind auch die wichtigsten Eluatwerte von Ausgangs- und aufbereiteten Proben dokumentiert. Mit jetzigen Nachweisgrenzen der Analytik kann nur Blei als kritisches Element

identifiziert werden. Das Ausgangsmaterial überschreitet mit 1,1 mg/l Pb die Anforderung für die Norm DIN 4226-100. Wird das Material aber aufbereitet, so erreicht man Gehalte von 0,1 mg/l Pb und wäre nach jetzigem Wissenstand an der oberen Grenze der Spezifikation der DIN 4226-100. Brechsand findet in folgenden Applikationen seine Anwendung:

- Beton- und Mörtelzuschlag
- Straßen- und Wegebaustoff
- Gartenbaumaterial

Es gibt aber weitere Gesichtspunkte die noch betrachtet werden müssen. Für Blei im Feststoff gibt es laut dieser Norm keinen expliziten Grenzwert. So liegt aber der Gehalt für PbO durchschnittlich in der hier betrachteten Halde bei 5,9 Ma.-%. Mittels der durchgeführten Aufbereitungsprozesse kann ein minimaler Wert von 1,3 Ma.-% erreicht werden. Dies könnte bei potentiellen Kunden zu einer erschwerten Abnahme führen. Laut LAGA und Eckpunktepapier ist ein maximaler Gehalt von 1.000 mg/kg Pb, also 1.077 mg/kg PbO erlaubt. Außerdem sind einige Parameter die in der DIN Norm spezifiziert sind noch nicht betrachtet worden, diese müssten für eine eindeutige finale Bewertung noch analysiert werden. Dies wären folgende Parameter:

- Quecksilber (im Eluat)
- Phenolindex (im Eluat)
- Leitfähigkeit (im Eluat)
- pH-Wert (im Eluat)
- Kohlenwasserstoffe (H18, im Feststoff)
- PAK nach EPA (im Feststoff)
- EOX (im Feststoff)
- PCB (im Feststoff)



Tabelle 25: Chemische Analyse von Eluationsversuchen (S4 Eluat) verschieden aufbereiteter Fraktionen aus der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt verglichen mit DIN 4226-100, gemessen mittels ICP

Parameter	As	Ba	Pb	Cd	Cl ⁻	Cr (ges)	Cu	Ni	So ₄ ²⁻	Zn	Hg	Phenol-index	Leitfähigkeit	pH-Wert
Einheit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µS/cm	-
Feed	< 0,1	0,30	1,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	17,7	< 0,02				
> 0,315	< 0,1	0,07	0,3	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	77	< 0,02				
0,1-0,3	< 0,1	0,09	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	33	< 0,02				
0,04-0,1	< 0,1	0,06	0,3	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	62,1	< 0,02				
Eject (hell)	< 0,1	0,25	0,2	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	33,5	< 0,02				
Reject (dunkel)	< 0,1	0,07	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	67,5	< 0,02				
Mag3														
0,1-0,3 BM 01	< 0,1	0,05	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	85,6	< 0,02				
NonMag1														
0,1-0,3 BM01	< 0,1	0,14	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	21,9	< 0,02				
Flot F4-3	< 0,1	0,13	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	28,6	< 0,02				
Flot F5-2	< 0,1	0,11	0,1	< 0,01	8,3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	27,6	< 0,02				
Flot V14 Konz1														
0,1-0,3	< 0,1	0,05	1,7	< 0,01	< 5	< 0,02	0,02	< 0,02	29,7	< 0,02				
Min	< 0,1	0,05	0,1	< 0,01	< 5	< 0,02	0,02	< 0,02	17,7	< 0,02				
Max	< 0,1	0,30	1,7	< 0,01	8,3	< 0,02	0,02	< 0,02	85,6	< 0,02				
Mittelwert	< 0,1	0,12	0,4	< 0,01	< 5	< 0,02	0,02	< 0,02	44,0	< 0,02				
DIN 4226-100	0,05	-	0,1	0,005	150	0,1	0,2	0,1	600	0,4	0,002	0,1	3000	12,5

5 Zusammenfassung und Fazit

Das Projekt „ROBEHA: Nutzung des Rohstoffpotentials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes“ hat zum Ziel, die unterschiedlichen Aspekte des Haldenrückbaus aus rohstoffwirtschaftlicher und umweltbezogener Sicht zu einer Gesamtbewertung im Sinne der Nachhaltigkeit zusammenzuführen. Dorfner ANZAPLAN hat sein Aufgabenfeld in diesem Verbundprojekt im Arbeitspaket 3.2: Aufbereitung, TP5: Aufbereitung Nichtmetallfraktion.

Im Zuge der Aufbereitung sollen für die Nutzbarmachung der vorliegenden Materialien und der Gewinnung neuer Zielprodukte verschiedene Verfahren auf ihre spezifische Eignung in Kombination mit neu zu entwickelnden Prozessketten geprüft werden. Der Fokus wurde zudem auf Aufbereitungsverfahren gelegt, die zum Zeitpunkt der jeweiligen Haldenentstehung noch nicht zur Verfügung standen und diese zu überprüfen. Besonders hier zu erwähnen sind die elektrodynamische Zerkleinerung als innovative Konditionierung und die sensorbasierte Sortierung zur Herstellung eines metallhaltigen und nicht metallhaltigen Vorkonzentrates. ANZAPLAN hat seinen Schwerpunkt in der Nutzbarmachung der Nichtmetallfraktion.

Als Beispielraum für die Aufbereitungsversuche wurde eine Pochsandhalde im Harz gewählt. Die Beispielhalde „Bergwerkswohlfahrt“ liegt in Clausthal und erstreckt sich über eine Fläche von 1,5 ha und besitzt ein Volumen von ca. 50.000 m³. Der chemische Hauptbestandteil der Halde ist SiO₂ mit 59 Ma.-%. Die zwei nächstgroßen Gehalte sind Eisenoxid mit 11 Ma.-% und Aluminiumoxid mit 6,5 Ma.-%. Noch besonders hervorzuheben ist der PbO Gehalt mit 5,9 Ma.-% und der BaO Gehalt mit 4,0 Ma.-%. Der mineralogische Hauptbestandteil der Halde ist Quarz (SiO₂). Außerdem sind Spuren von Galenit (PbS), Cerrusit (PbCO₃), Baryt (BaSO₄), Ankerit

(CaFe[CO₃]₂) und Muskovit (KAl₂[(OH,F)₂AlSi₃O₁₀]) in der Halde nachgewiesen worden.

Aufgrund der feinen Korngrößenverteilung der Halde (D₅₀ ≈ 1 mm) wurden erste Versuche mittels sensorbasierte Sortierung, in diesem Fall der optischen Sortierung vor der elektrodynamischen Zerkleinerung gewählt. Andere sensorbasierte Sortiersysteme wie z.B. Röntgentransparenz (XRT), Röntgenfluoreszenz (XRF), Spektralempfindlichkeit im Nahinfrarotbereich (NIR) und elektromagnetische Eigenschaften (EM) konnten nicht getestet werden, da ihre Detektionsgrenze bei mindestens 5 mm liegt.

Eine Anreicherung der Nichtmetallfraktion mittels optischer Sortierung des Haldenmaterials Bergwerkswohlfahrt in der Fraktion > 1 mm konnte nachgewiesen werden.

Die elektrodynamische Zerkleinerung in der Fraktion > 0,3 mm liefert bessere Liberierungswerte im Vergleich zur konventionellen Zerkleinerung. Besonders hervorzuheben ist die Liberierung des Minerals Quarz. Dies weist bei der innovativen Konditionierung eine deutliche Reduzierung im Verwachsungsgrad auf. Dieser Effekt ist bei beiden gewählten Fraktionen 0,1 – 0,3 mm und 0,04 – 0,1 mm festzustellen. Diese Fraktionen wurden gewählt, da es sich dabei um typische Korngrößenverteilungen für den Einsatz in nichtmetallhaltigen Produkten, wie z.B. Quarzsand für die Glasproduktion handelt. Zusätzlich wurde eine Steigerung des Quarzgehaltes in den Zielfractionen erreicht. Der dritte positive Effekt der elektrodynamischen Zerkleinerung ist die Steigerung des Ausbringens in den Fraktionen 0,1 – 0,3 mm und 0,04 – 0,1 mm. Alle drei Effekte führen zu einer Steigerung der Effizienz in den nachgeschalteten aufbereitungstechnischen Schritten.

Die nachfolgenden verfahrenstechnischen Prozesse wie Flotation, Elektrostatik, Nassherd und Magnetscheidung können die Gehalte der

nichtmetallhaltigen Minerale zum Teil signifikant erhöhen. Hierbei sind besonders die Suspensionsmagnetscheidung und die Flotation zu erwähnen. Mittels Magnetscheidung wird ein SiO_2 Gehalt von 91 Ma.-% (Fraktion 0,04 – 0,1 mm) erreicht und die Flotation verbessert den SiO_2 Wert auf 94 Ma.-% (Fraktion 0,1 – 0,3 mm). Beide Werte entsprechen noch nicht den Spezifikationen von hochwertigen Glasanwendungen.

Das primäre Ziel der Verwertung des aufbereiteten Materials in standardisierten mineralischen Nichtmetall Produkten konnte nicht erfüllt werden. Es wurden Produkte für folgende Minerale betrachtet: Quarz, Baryt und Dolomit. Für kein Mineral konnten die typischen Spezifikationen für marktfähige Produkte erzielt werden.

Als alternative Verwertungsmöglichkeiten wurde jedoch die Nutzung des Materials als Sekundärrohstoff (rezyklierter Zuschlagstoff) in Betracht gezogen. Hierunter fallen unter anderem folgende Anwendungen: Asphaltgranulat, Betongranulat oder Mischabbruchgranulat.

Würde man das Pochsandhaldenmaterial als „rezyklierten Brechsand“ (≤ 4 mm) ansehen, so würde dieser nach der Aufbereitung nach DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ die Spezifikationen für die bis jetzt analysierten Parameter erfüllen.

Es gibt aber noch weitere Gesichtspunkte die betrachtet werden müssen. Für Blei im Feststoff gibt es laut dieser Norm keinen expliziten Grenzwert. So liegt aber der Gehalt für PbO durchschnittlich in der hier betrachteten Halde bei 5,9 Ma.-%. Mittels der durchgeführten Aufbereitung kann ein minimaler Wert von 1,3 Ma.-% erreicht werden. Dies könnte bei potentiellen Kunden zu einer erschwerten Abnahme führen. Laut LAGA und Eckpunktepapier ist ein maximaler Gehalt von 1.000 mg/kg Pb, also 1.077 mg/kg PbO erlaubt. [23] [24] [25]



6 Literaturverzeichnis

- [1] P. B. I. m. BIG, „Nutzung des Roshstoffpotenitals von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes (ROBEHA),“ Präsentiert bei: Projekttreffen ROBEHA, Hannover, 25.02.2015.
- [2] K. Ufer, „Röntgen-Beugungsanalyse (Röntge-Diffraktometrie, XRD),“ BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rostoffe, 06 11 2014. [Online]. Available: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Mineral/Kolloidchem_Lab/Roentgen_Beugungsanalyse/roentgen_beugungsanalyse_node.html. [Zugriff am 06 11 2014].
- [3] F. Melcher, „Mikroanalytische Methoden,“ BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rostoffe, 06 11 2014. [Online]. Available: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Mineral/Mikroanalytik/mikroanalytik_node.html. [Zugriff am 06 11 2014].
- [4] J. Gutzmer, „Brochure on Mineral Liberation Analysis,“ BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rostoffe, 25 08 2015. [Online]. Available: http://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/professur-fuer-lagerstaettenlehre-und-petrologie-5993/geometallurgy_laboratory_freiberg_brochure_1.pdf. [Zugriff am 25 08 2015].
- [5] M. Birke, „Röntgenfluoreszenz-Analytik (RFA),“ BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rostoffe, 31 10 2014. [Online]. Available: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Geochem_anorg/Tech_Ausstattung/Roentgenfluoreszenz_Analytik/RFA_MTD.html?nn=1564648.



[Zugriff am 31 10 2014].

- [6] J. Stummeyer, „ ICP-(Optische) Emissionsspektrometrie (ICP-OES),“ BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rostoffe, 31 10 2014. [Online]. Available: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Geochem_anorg/Tech_Ausstattung/ICP_Optische_Emissionsspektrometrie/icp_oes_mtd.html?nn=1564648. [Zugriff am 31 10 2014].
- [7] M. Stieß, Mechanische Verfahrenstechnik 1. 2.Auflage, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995.
- [8] C. Metso, Basics in Minerals Processing. 8. Auflage, 2015.
- [9] H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band I: Zerkleinerung, Klassierung. 3. Auflage, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1975.
- [10] T. Pretz und H. Wotruba, Sensor Based Sorting 2012, Heft 128 der Schriftenreihe der GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik, Clausthal-Zellerfeld: GDMB-Informationsgesellschaft mbH, 2012.
- [11] M. Dehler, „Optical Sorting of Mineral Raw Materials,“ *AUFBEREITUNG TECHNIK 44, Nr. 10*, pp. 38-42, 2003.
- [12] J.-M. Bergmann, „Sensor-based sorting,“ *Industrial Minerals*, pp. 58-62, July 2011.
- [13] A. SelFrag, „SELFrag,“ [Online]. Available: <http://www.afrifusion.co.za/wp-content/uploads/2013/02/Selfrag-High-Purity-Catalogue.pdf>. [Zugriff am 12 10 2015].
- [14] A. SelFrag, „selFrag Laboratory Fragmentator,“ 09 10 2015. [Online].

Available: www.selfrag.com/pdf/selfFrag_Lab_5.7_Mb.pdf. [Zugriff am 09 10 2015].

- [15] A. SelfFrag, „Application area, Geosciences,“ 12 10 2015. [Online]. Available: <http://www.selfrag.com/application-area.php>. [Zugriff am 12 10 2015].
- [16] A. SelfFrag, „Bei Selfrag bleibt kein Stein auf dem anderen,“ 2011. [Online]. Available: www.aasa.com/files/7713/8332/6958/SELFRAG_24_May_2011.pdf. [Zugriff am 12 10 2015].
- [17] E. Wang, F. Shi und E. Manlapig, „Mineral liberation by high voltage pulses and conventional comminution with same specific energy levels,“ *Minerals Engineering*, pp. 28-36, 09 12 2010.
- [18] H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Band II: Sortierprozesse. 2. Auflage, Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1977.
- [19] J. Drzymala, Mineral Processing, Foundations of theory and practice of mineralurgy, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2007.
- [20] M. Fuerstenau, G. Jameson und R. Yoon, Froth Flotation, A Century of Innovation, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2007.
- [21] J. Pease, Increasing the energy efficiency of grinding, Brisbane: Präsentiert bei: Crushing and Grinding (September 2007), 2007.
- [22] J. E. Kogel, N. C. Trivedi, J. M. Barker und S. T. Krukowski, Industrial Minerals & Rocks; Commodities, Markets and Uses, 7. Auflage,

Littleton: SME Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. ,
1994.

- [23] H.-U. Bertram, LAGA M20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, 6.11.1997.
- [24] Leitfaden zum Eckpunktepapier, Steine und Erden e.V.: Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen, Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und Industrieverband , 09.12.2005.
- [25] DIN 4226-100: 2002-02; Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100 Rezyklierte Gesteinskörnungen, Berlin: Beuth-Verlag, 02.2002.
- [26] S. A. TOMRA, „Mining Technology,“ 12 10 2015. [Online]. Available: <https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/sorting-solutions/mining/mining-technology>. [Zugriff am 12 10 2015].



8 Anhang (Analyseergebnisse)

8.1 Chemische Analyse des Ausgangsmaterials

Tabelle 37: Chemische Analyse des Ausgangsmaterials, gemessen mittels RFA und ICP

Halde: Grube Bergwerks- wohlfahrt	Anzahl Proben		SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	Cl-	F-	LOI	Pb	Zn	Cu	Ba		
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Material: Pochsand	14	Mittelwert	58,8	0,31	6,5	11,2	1,6	0,59	0,74	0,17	1,45	0,06	1,95	0,02	0,03	6,73	5,5	0,18	0,04	3,6		
		Minimum	44,1	0,22	4,5	6,0	0,7	0,28	0,10	0,05	1,04	0,05	0,64	0,01	0,03	5,25	3,4	0,06	0,01	0,60		
		Maximum	70,0	0,44	8,0	19,5	3,0	1,0	1,7	0,31	1,78	0,10	3,0	0,03	0,05	10,79	9,3	0,27	0,08	6,5		
		STABW	7,1	0,06	0,93	4,04	0,73	0,28	0,57	0,07	0,21	0,01	0,79	0,01	0,01	1,56	1,71	0,07	0,02	2,3		
			Ni	Ag (RFA_ Spuren)	In (RFA_ Spuren)	Sr	Sb	Sb (RFA_ Spuren)	(As)	Sn	Sn (RFA_ Spuren)	Co	Cd (RFA_ Spuren)	Zr	Rb	Bi	V	Cr	Ga	Mo	Nb	Nd
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		Mittelwert	38	97	0,3	1228	306	260	139	5	3	9	2	62	61	18	45	32	2	4	8	17
		Minimum	18	70	0,3	363	143	186	2	1	2	2	1	35	45	2	23	18	1	1	3	7
		Maximum	53	125	0,3	2297	502	334	410	11	3	16	3	93	80	48	75	56	6	39	13	25
		STABW	11	39	0	718	105	105	137	4	1	4	1	16	9	17	16	10	1	10	3	8

8.2 Konventionelle Zerkleinerung

Feed >0,3 mm

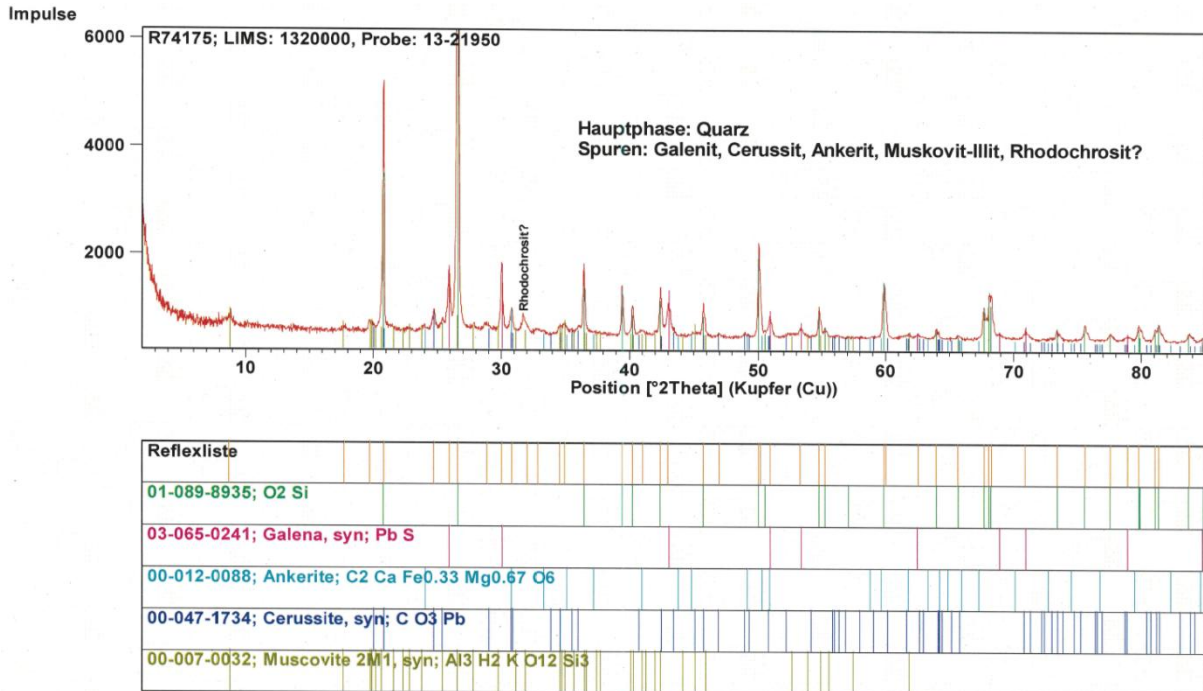


Abbildung 20: Feed >0,3 mm

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Ankerit
- Muskovit-Illit
- Rhodochrosit?

Feed 0,1 – 0,3 mm

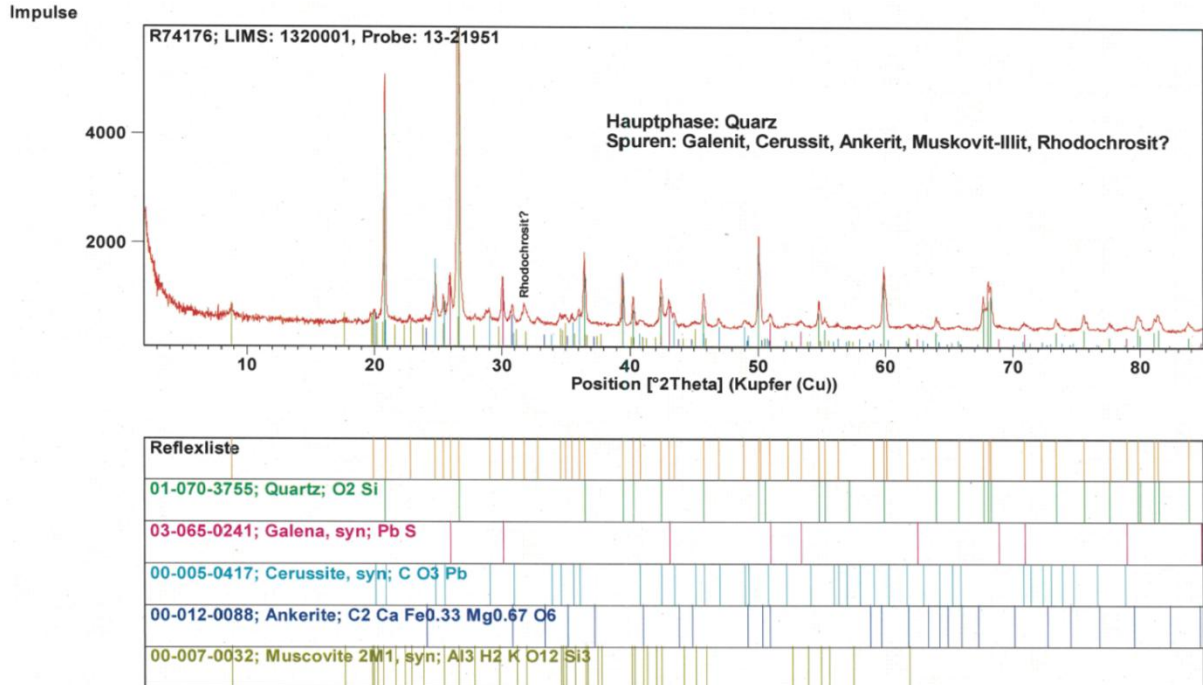


Abbildung 21: Feed 0,1 - 0,3 mm

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Ankerit
- Muskovit-Illit
- Rhodochrosit?

Feed 0,04 – 0,1 mm

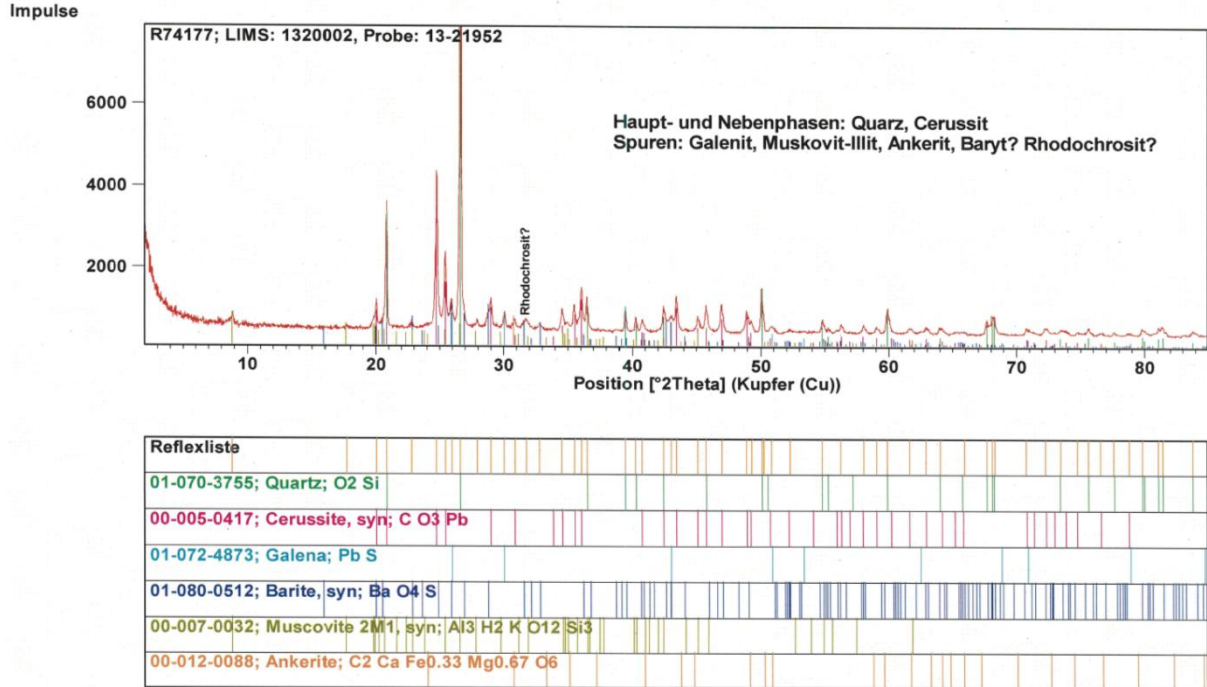


Abbildung 22: Feed 0,04 – 0,1 mm

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Cerussit

Spuren:

- Galenit
- Muskovit-Illit
- Ankerit
- Baryt
- Rhodochrosit?

Feed <0,04 mm

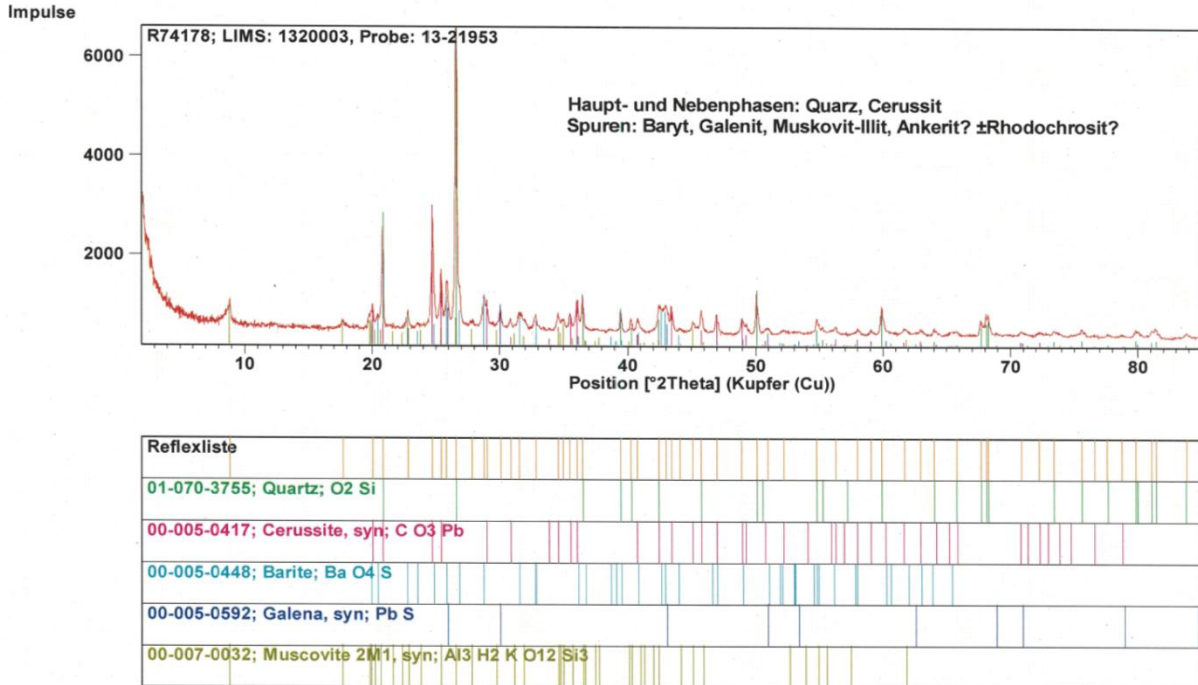


Abbildung 23: Feed <0,04 mm

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Cerussit

Spuren:

- Baryt
- Galenit
- Muskovit-Illit
- Ankerit?
- Rhodochrosit?



8.3 Sensorbasierte Sortierung

Tabelle 38: Chemische Analyse des Materials nach sensorbasierter Sortierung, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO		
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	
		100	67,4	0,27	6,35	7,96	1,01	1,06		
Robeha opt. Sortierung, reject > 1mm	14-21961	90,5	66,1	0,29	6,67	8,51	1,08	1,12		
Robeha opt. Sortierung, eject > 1mm	14-21962	9,5	80,1	0,12	3,27	2,76	0,34	0,46		

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
		1,68	0,12	1,41	0,05	0,78	0,62	4,4	6,55
Robeha opt. Sortierung, reject > 1mm	14-21961	1,78	0,12	1,49	0,05	0,79	0,38	4,5	6,80
Robeha opt. Sortierung, eject > 1mm	14-21962	0,78	0,07	0,63	0,02	0,69	2,85	3,2	4,21

8.4 Attrition

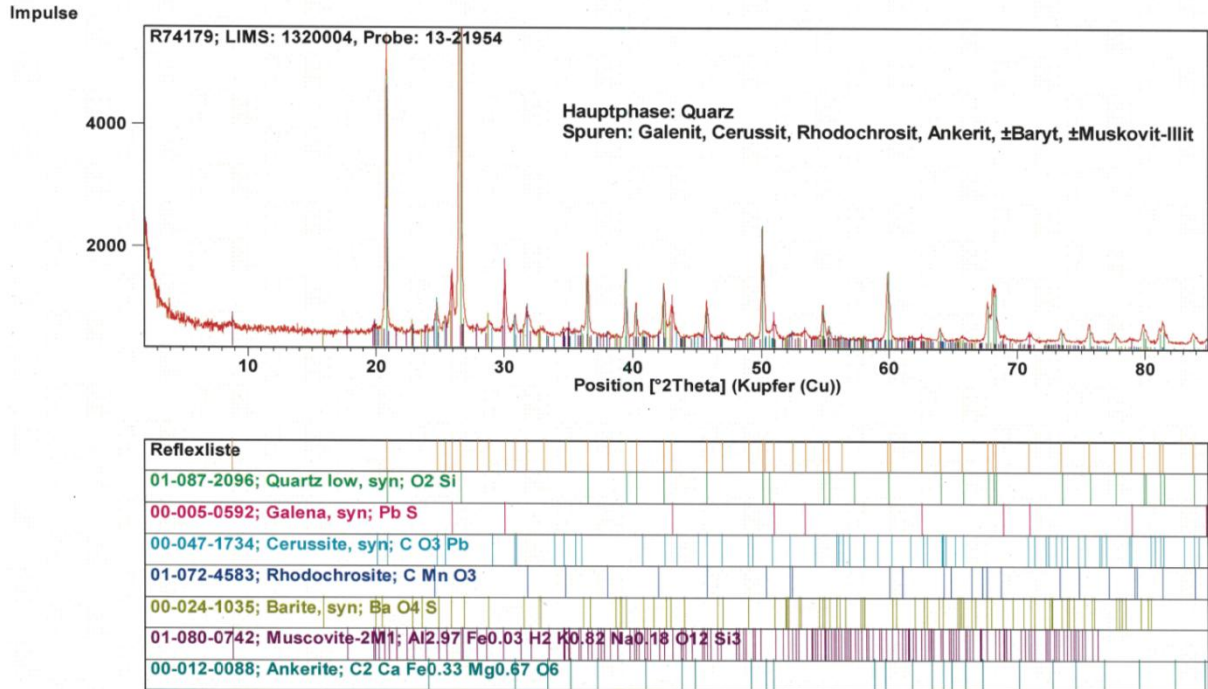


Abbildung 24: 0,1 - 0,3 mm n. Attr.

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Baryt
- ±Muskovit-Illit



Tabelle 39: Chemische Analyse des Materials nach der Attrition, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	Total Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3mm n. Attr.	13-21954	81	25	74	0,15	3,3	8,1	1,0	0,6

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3mm n. Attr.	13-21954	1,0	0,11	0,67	0,03	1,2	1,4	3,7	4,6

8.5 Elektrodynamische Zerkleinerung

8.5.1 Versuche V1 – V3

<0,04 mm V1-V3

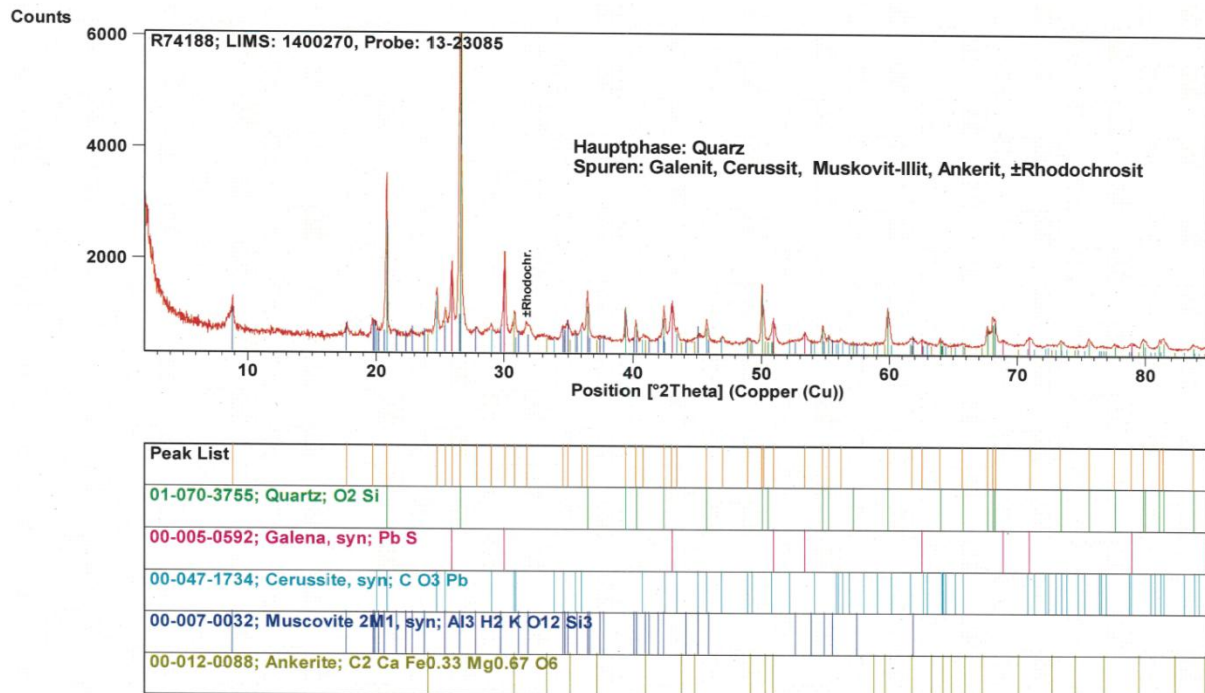


Abbildung 25: <0,04 mm V1-V3

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Muskovit-Illit
- Ankerit
- ±Rhodochrosit

0,04-0,1 mm V1-V3

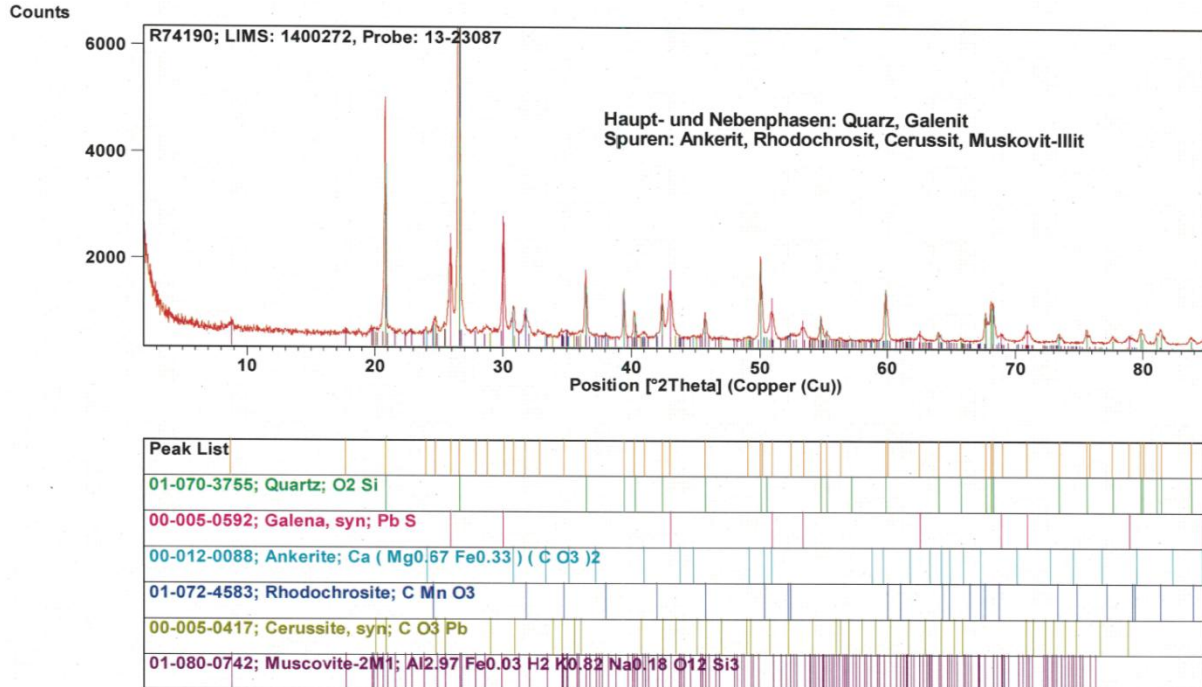


Abbildung 26: 0,04-0,1 mm, V1-V3

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Galenit

Spuren:

- Ankerit
- Rhodochrosit
- Cerussit
- Muskovit-Illit

0,1 – 0,3 mm V1-V3

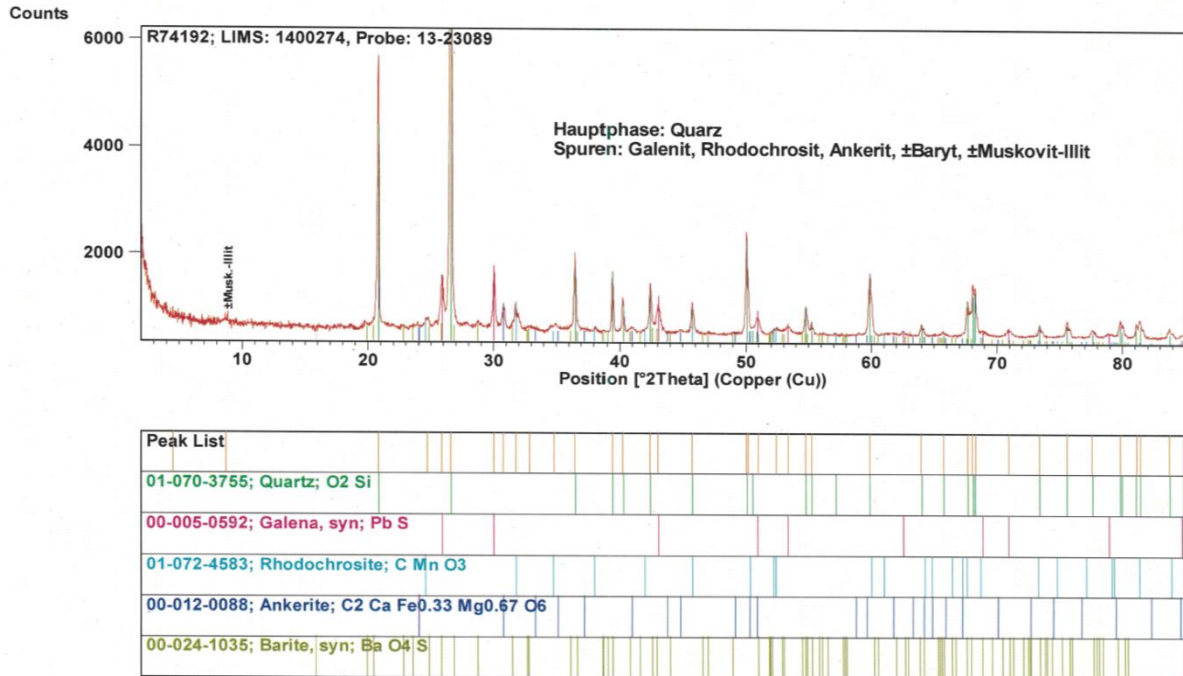


Abbildung 27: 0,1 - 0,3 mm, V1-V3

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Baryt
- ±Muskovit-Illit



Tabelle 40: Chemische Analyse des Materials nach der elektrodynamischen Zerkleinerung, Versuche V1 – V3, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V1 - V3	13-23089	47	73	0,16	3,6	8,5	1,1	0,8
0,04 - 0,1 mm V1 - V3	13-23087	15	67	0,2	4,3	8,4	1,1	1,0
<0,04 mm V1- V3	13-23085	38	59	0,5	11	8,3	1,0	1,1

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V1 - V3	13-21954	1,4	0,11	0,7	0,04	1,2	0,8	3,1	5,1
0,04 - 0,1 mm V1 - V3	13-21951	1,8	0,12	0,9	0,04	1,4	1,1	5,9	6,0
<0,04 mm V1- V3	13-21952	1,6	0,16	2,4	0,09	1,3	0,8	6,2	6,9

8.5.2 Versuch V4

<0,04 mm V4

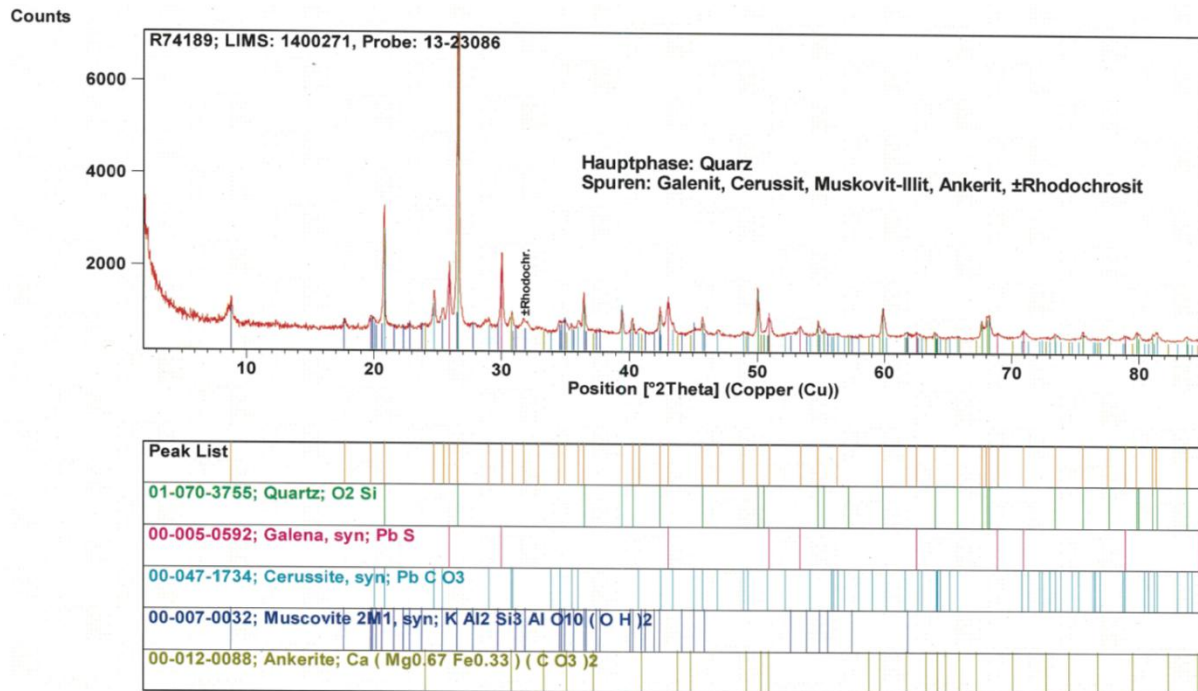


Abbildung 28: <0,04 mm V4

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Muskovit-Illit
- Ankerit
- ±Rhodochrosit

0,04 – 0,1 mm V 4

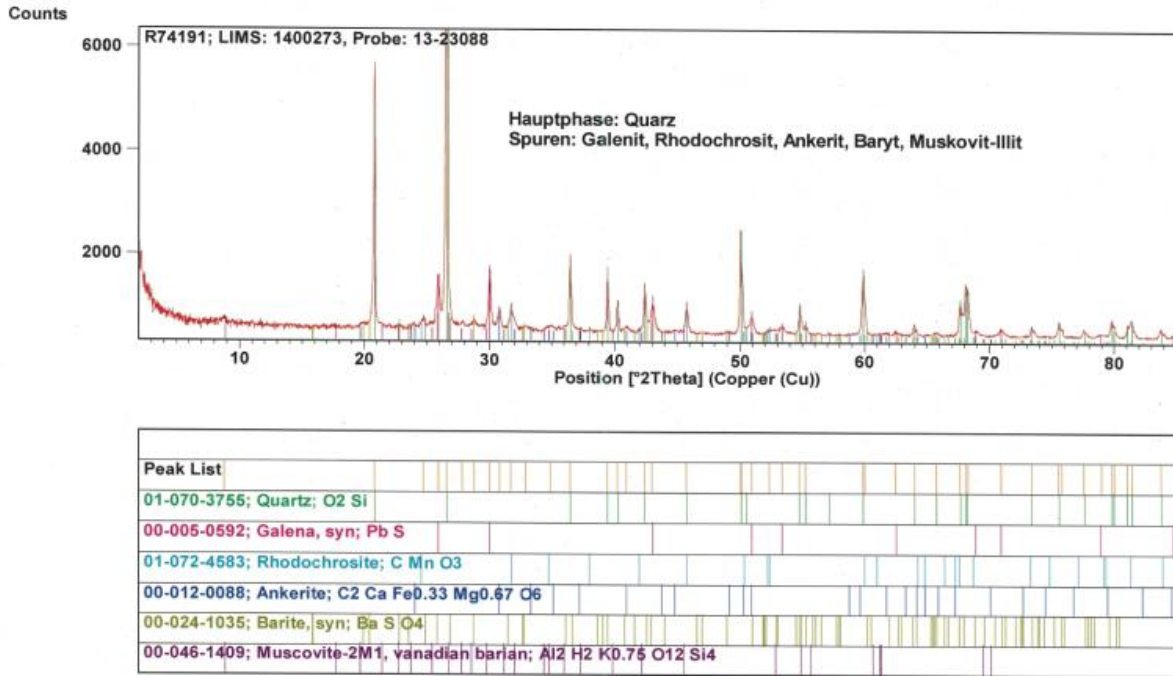


Abbildung 29: 0,04-0,1 mm, V4

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Baryt
- Muskovit-Illit

0,1-0,3mm V4

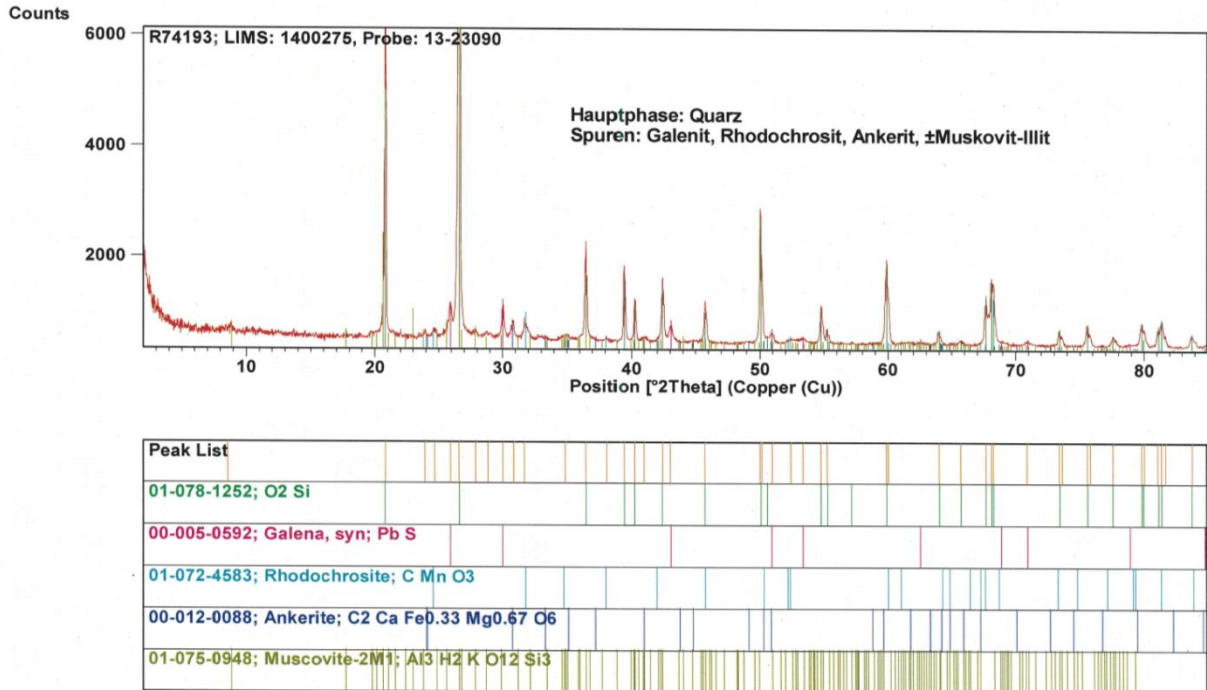


Abbildung 30: 0,1 - 0,3 mm, V4

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Muskovit-Illit



Tabelle 41: Chemische Analyse des Materials nach der elektrodynamischen Zerkleinerung, Versuch V4, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V4	13-23090	39	81	0,12	2,7	6,3	0,8	0,5
0,04 - 0,1 mm V4	13-23088	16	74	0,16	3,3	7,4	1,0	0,8
<0,04mm. V4	13-23086	45	59	0,4	9,8	8,3	1,0	1,1

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V4	13-23090	0,9	0,11	0,5	0,03	0,6	0,4	1,6	3,9
0,04 - 0,1 mm V4	13-23088	1,5	0,13	0,6	0,03	1,3	1,1	3,2	5,2
<0,04mm. V4	13-23086	1,4	0,15	2,2	0,08	1,3	1,3	6,6	7,0

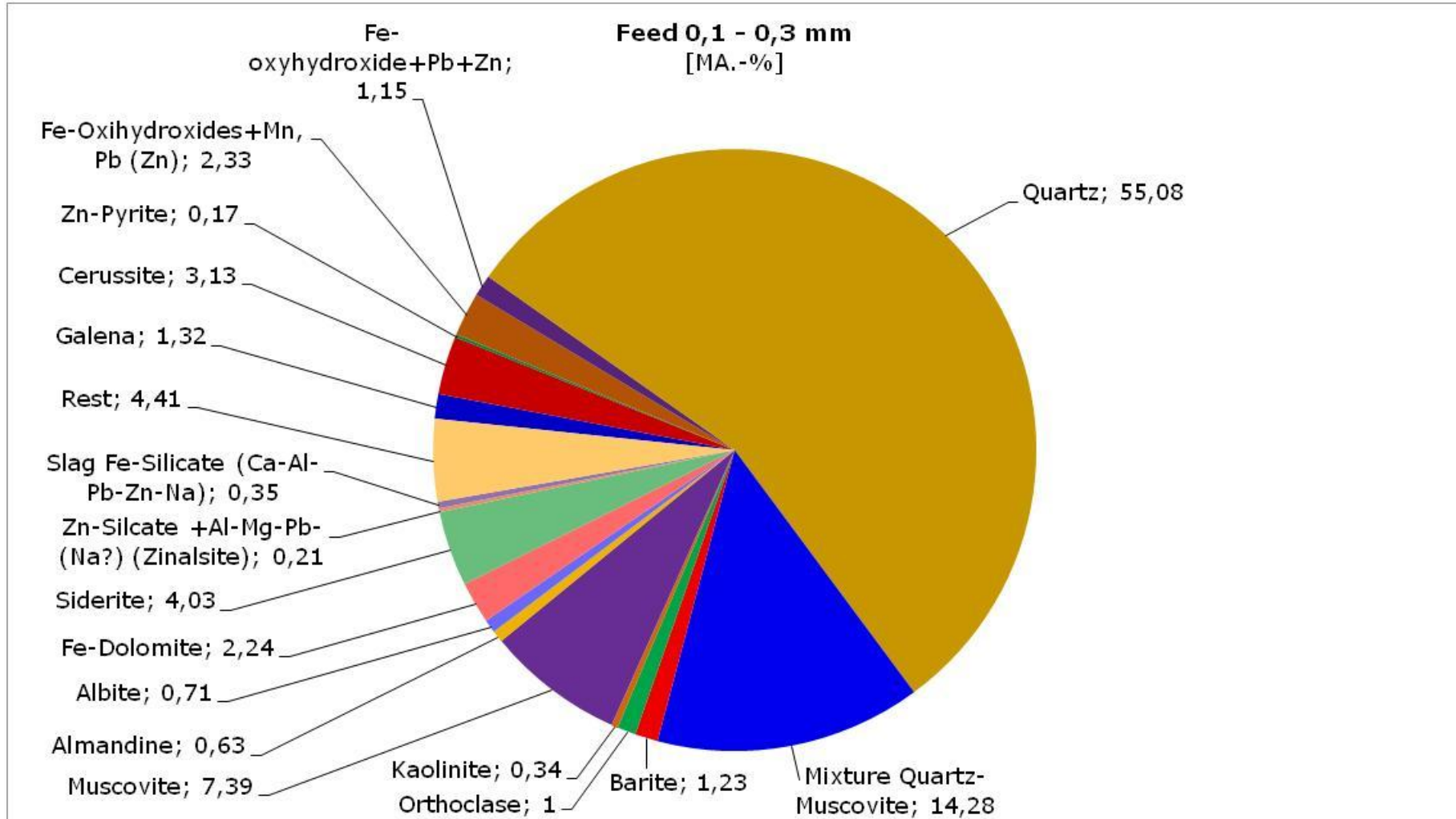


Abbildung 31: Mineralzusammensetzung Feed 0,1 - 0,3 mm

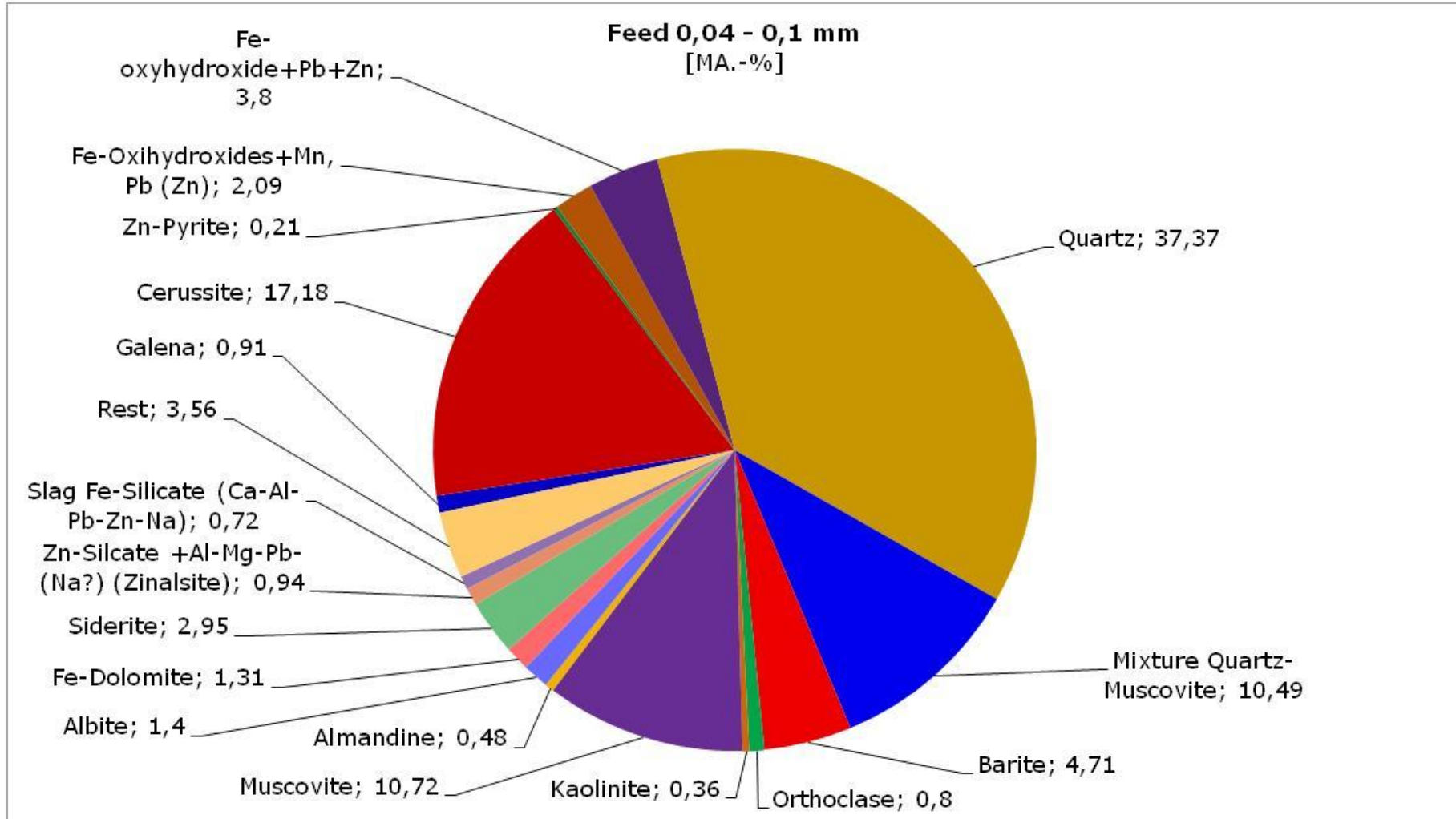


Abbildung 32: Mineralzusammensetzung Feed 0,04 - 0,1 mm

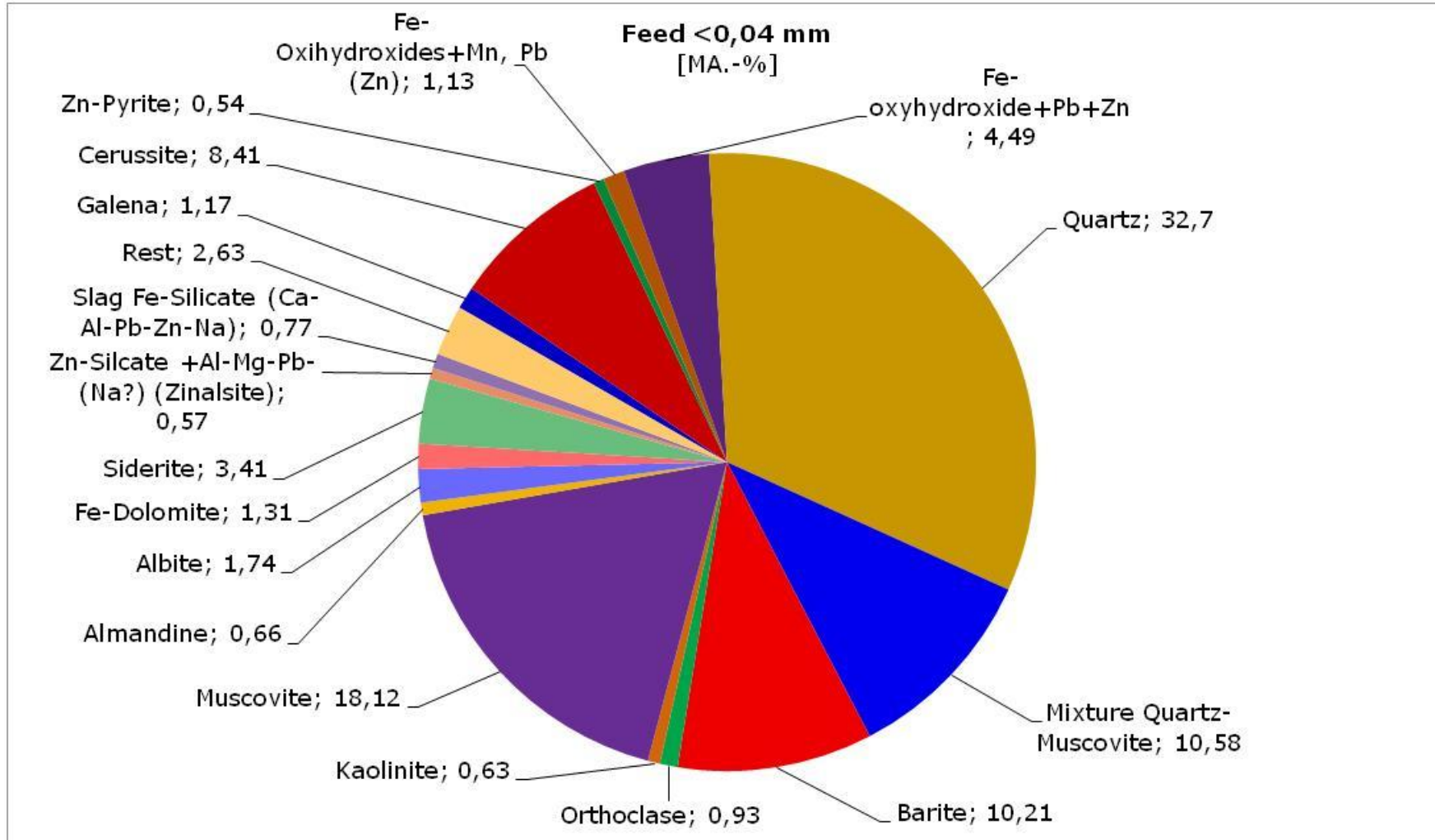


Abbildung 33: Mineralzusammensetzung Feed <0,04 mm

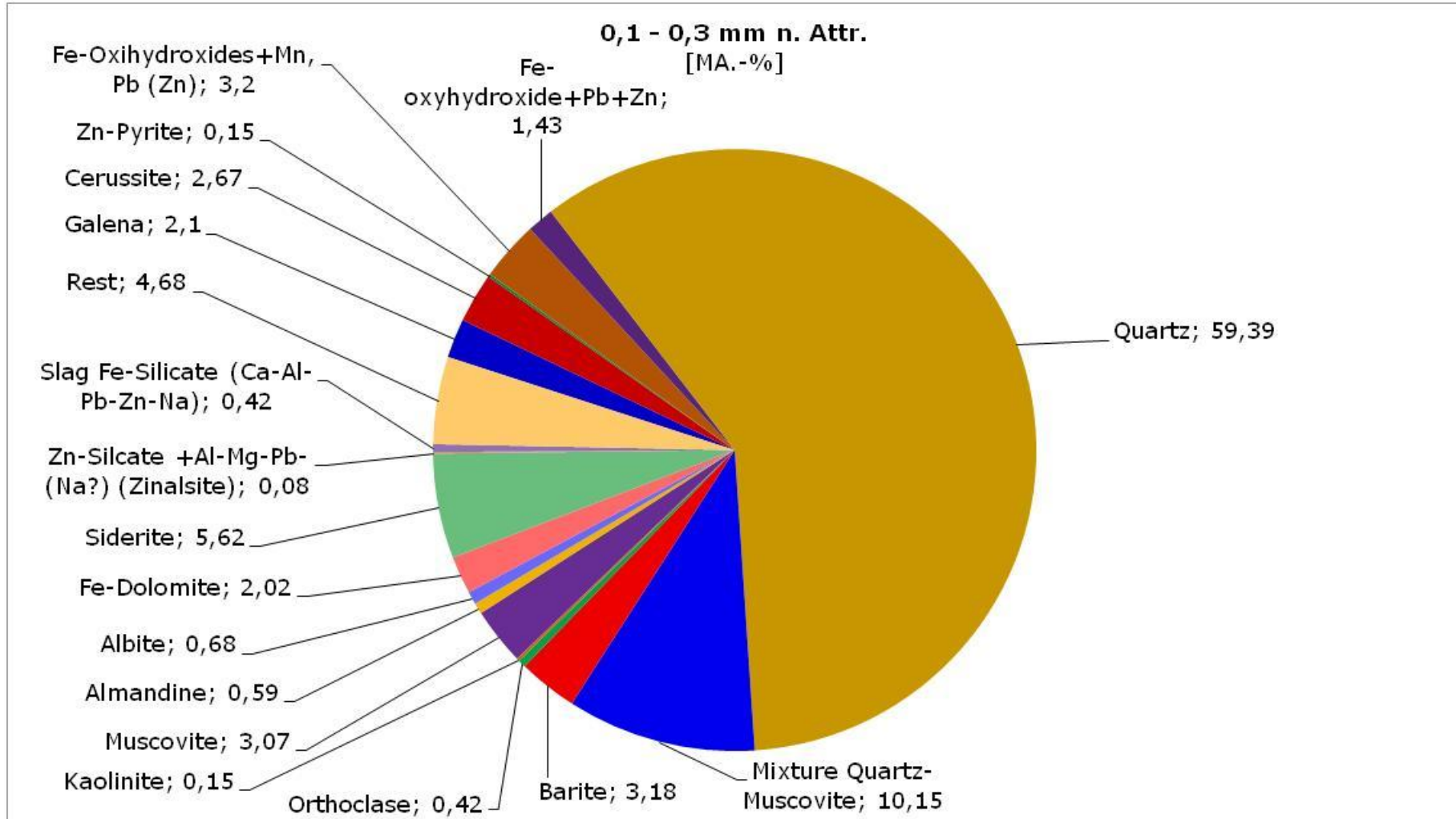


Abbildung 34: Mineralzusammensetzung 0,1 - 0,3 mm nach Attrition

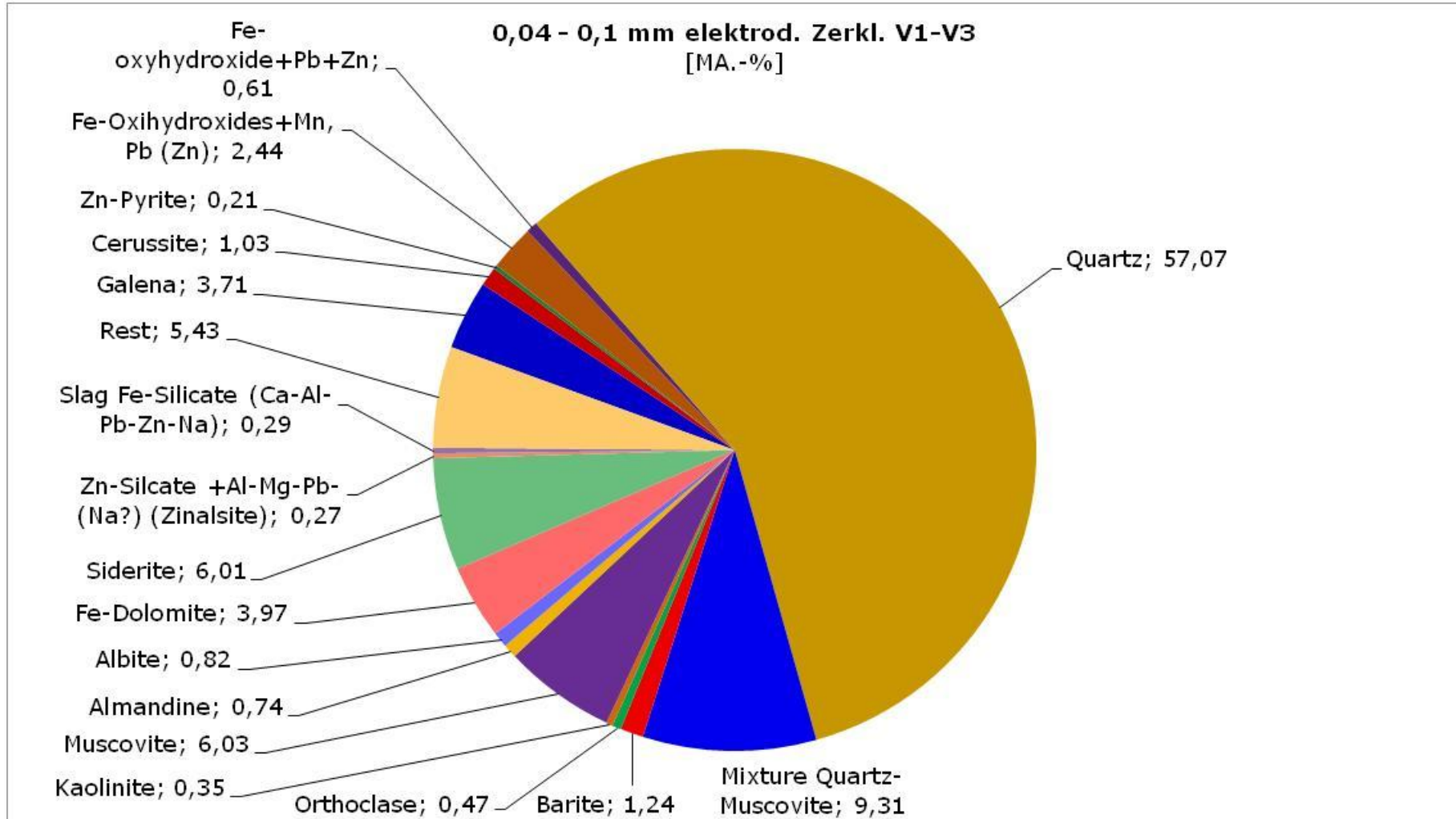


Abbildung 35: Mineralzusammensetzung 0,04 - 0,1 mm elektrodynamisch zerkleinert V1 - V3

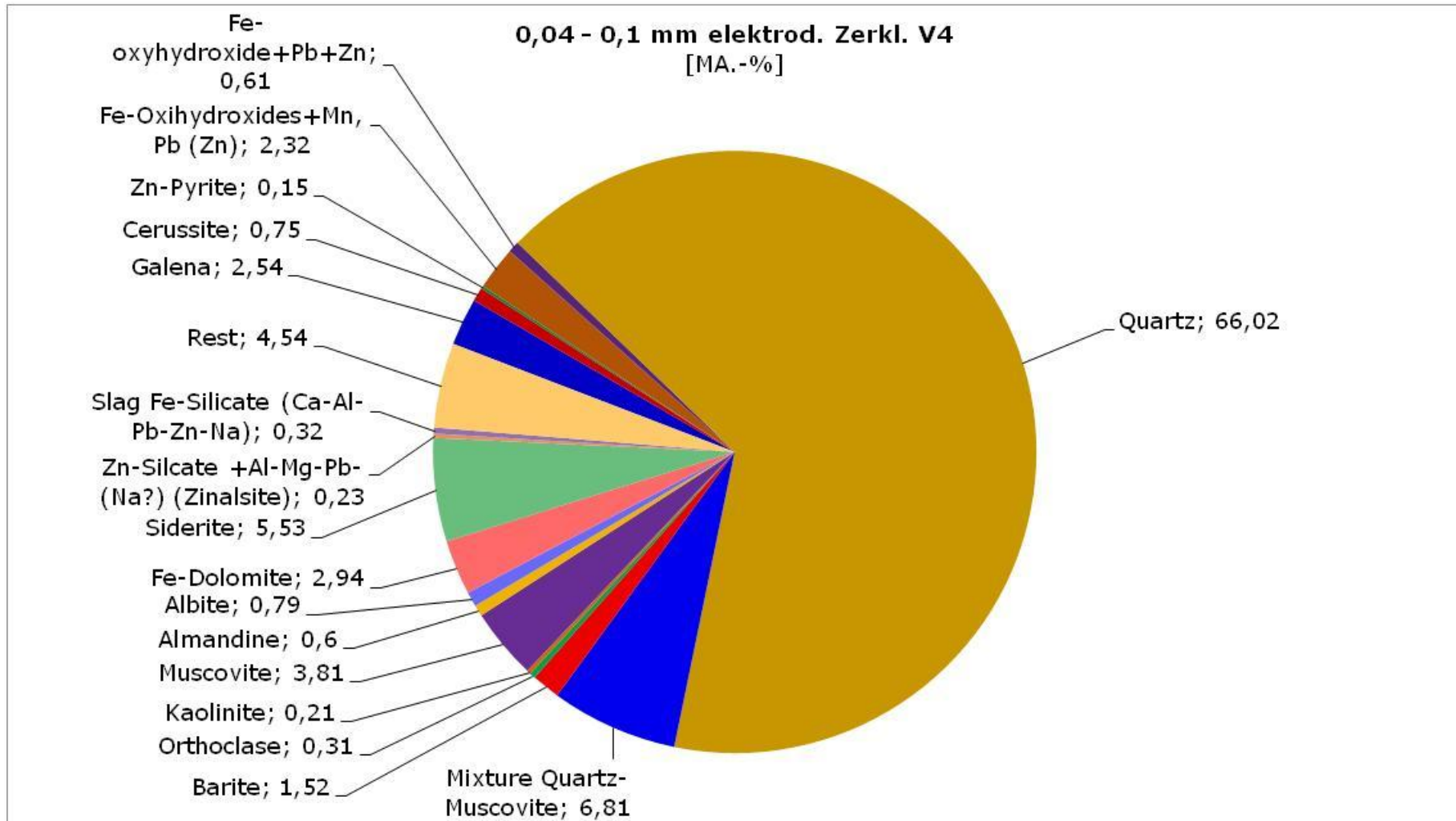


Abbildung 36: Mineralzusammensetzung 0,04 - 0,1 mm elektrodynamisch zerkleinert V4

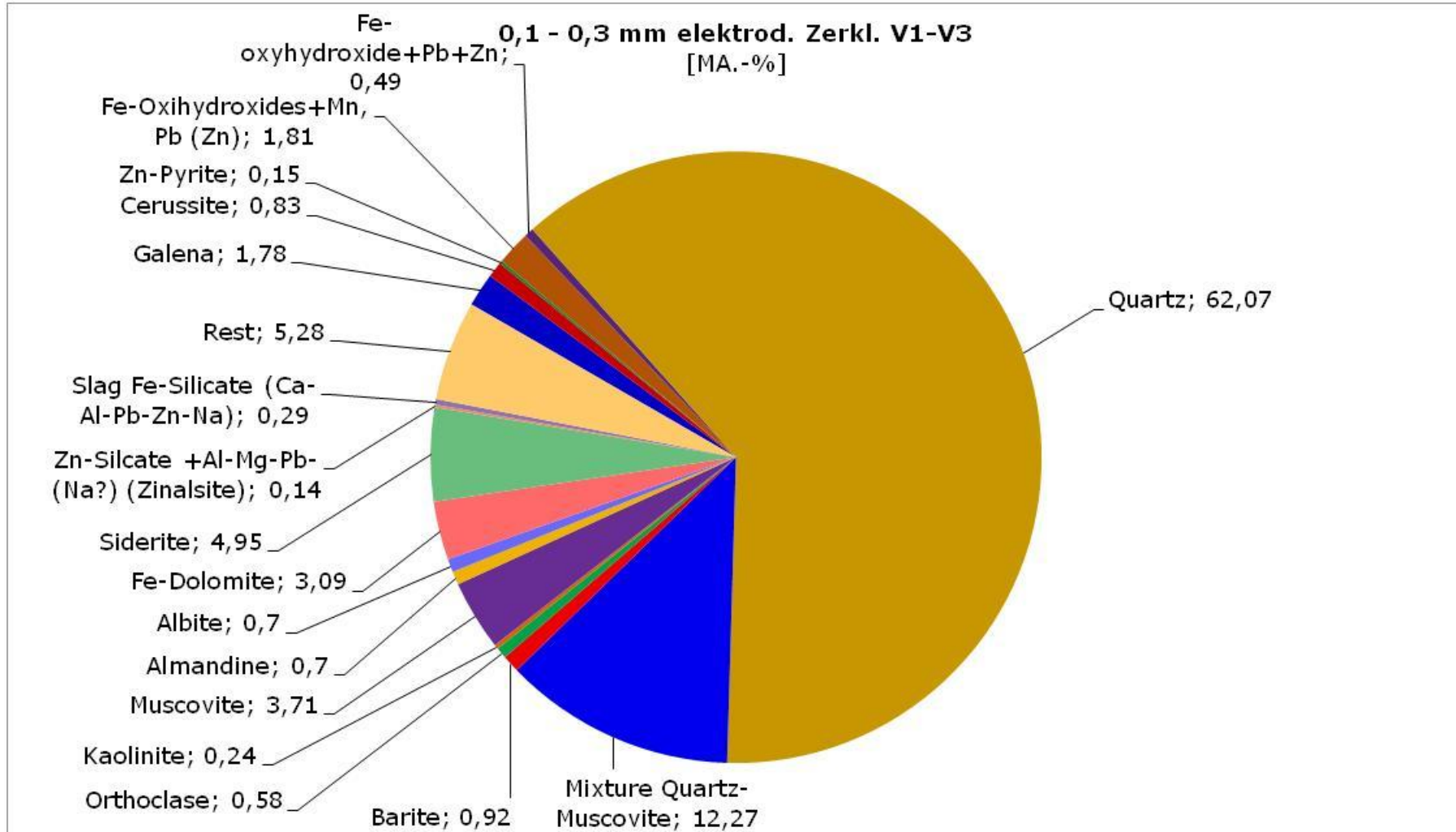


Abbildung 37: Mineralzusammensetzung 0,1 - 0,3 mm elektrodynamisch zerkleinert V1-V3

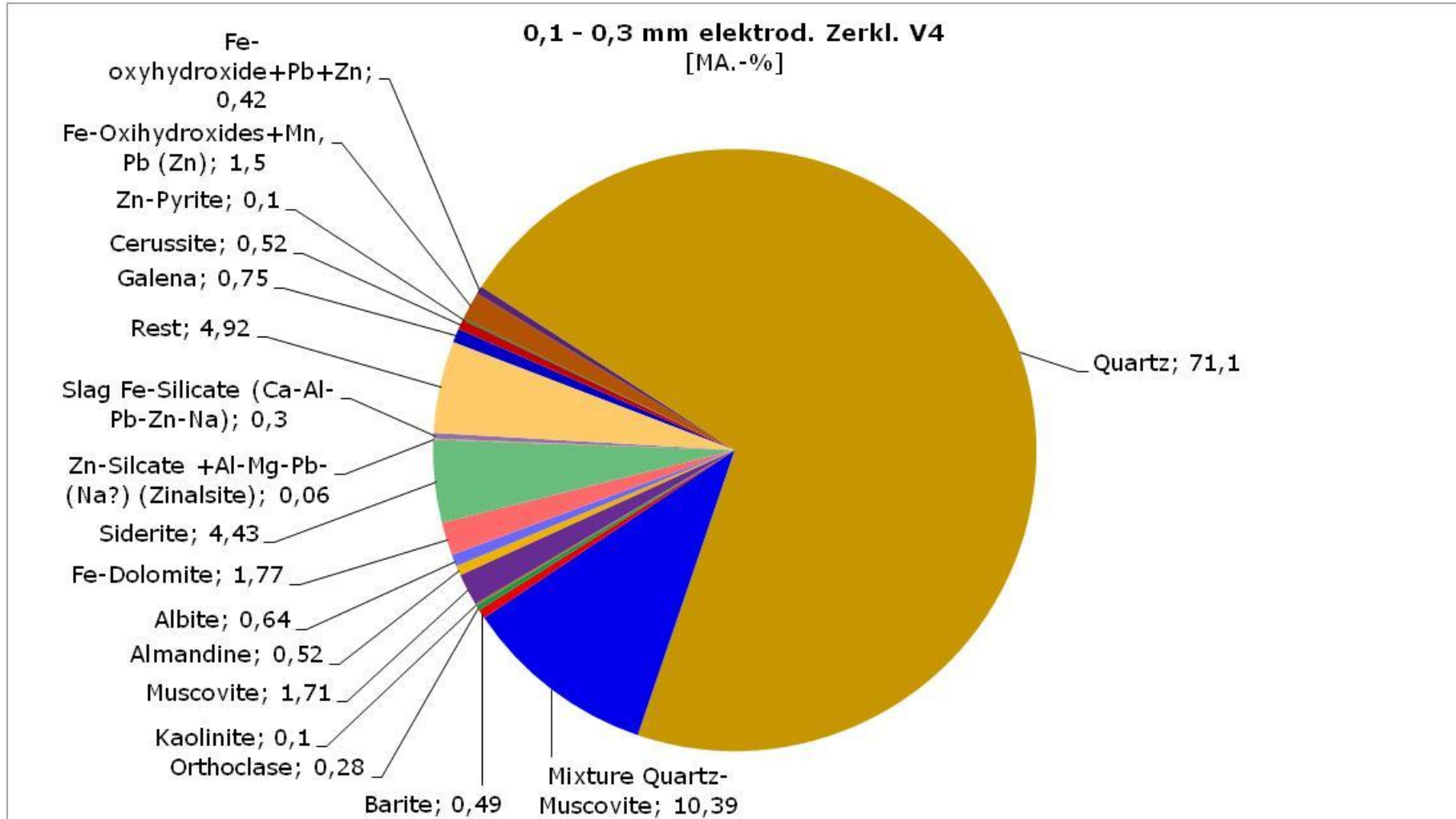


Abbildung 38: Mineralzusammensetzung 0,1 - 0,3 mm elektrodynamisch zerkleinert V4

8.6 Flotation

Tabelle 42: Übersicht über die Flotationen von konventionell zerkleinertem Material

Flotation	Korngröße [mm]	Reagenz	Kollektor- Zugabe [g/t]	pH-Wert [-]	Flotations- zeit [min]
Flot 1-1	0,1 - 0,3	FS100	250	9,0	4
Flot 1-2	0,1 - 0,3	EDA	250	9,0	4
Flot 2	0,1 - 0,3	K2C	250	9,0	4
Flot 3-1	0,1 - 0,3	FS2	250	9,0	4
Flot 3_2	0,1 - 0,3	FS100	250	9,0	4
Flot 3-3	0,1 - 0,3	EDA	500	9,0	4
Flot 4-1	0,1 - 0,3	K2C	750	9,0	4
Flot 4-2	0,1 - 0,3	FS100	750	9,0	4
Flot 4-3	0,1 - 0,3	FS2	750	9,0	4
Flot 4-4	0,04 - 0,1	K2C	750	9,0	4
Flot 4-5	0,04 - 0,1	FS100	750	9,0	4
Flot 4-6	0,04 - 0,1	FS2	750	9,0	4
Flot 5-1	0,1 - 0,3	K2C	300	9,0	4
Flot 5-2	0,1 - 0,3	K2C	450	9,0	4
Flot 5-3	0,04 - 0,1	K2C	150	9,0	4
Flot 5-4	0,04 - 0,1	K2C	150	9,0	4
Flot 6	0,1 - 0,3	FS100	750	9,0	4
Flot 7	0,1 - 0,3	FS2	750	9,0	4
Flot 8	0,1 - 0,3	FS2	750	9,0	4
Flot 9	0,1 - 0,3	FS100	750	9,0	4
Flot 10-1	0,1 - 0,3	AERO827	100	9,5 - 10,2	4
Flot 10-2	0,1 - 0,3	AERO704	100	9 - 11	4
Flot 10-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4
Flot 11-1	0,1 - 0,3	AERO845	100	9,5 - 10,2	4
Flot 11-2	0,1 - 0,3	AERO704	100	9 - 11	4
Flot 11-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4
Flot 12-1	0,1 - 0,3	AERO827	100	9,5 - 10,2	4
Flot 12-2	0,1 - 0,3	Natriumoleat 5%lsg.	100	9 - 11	4
Flot 12-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4



Flotation	Korngröße [mm]	Reagenz	Kollektor- Zugabe [g/t]	pH-Wert [-]	Flotations- zeit [min]
Flot 13-1	0,1 - 0,3	AERO845	100	9,5 - 10,2	4
Flot 13-2	0,1 - 0,3	Natriumoleat 5%lsg.	100	9 - 11	4
Flot 13-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4
Flot 14-1	0,1 - 0,3	Mischung AERO 827+845	100	9,5 - 10,2	4
Flot 14-2	0,1 - 0,3	AERO704	100	9 - 11	4
Flot 14-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4
Flot 15-1	0,1 - 0,3	Mischung AERO 827+845	100	9,5 - 10,2	4
Flot 15-2	0,1 - 0,3	Natriumoleat 5%lsg.	100	9 - 11	4
Flot 15-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4
Flot 16-1	0,1 - 0,3	Mischung AERO 827+845 10%lsg.	300	9,5 - 10,2	4
Flot 16-2	0,1 - 0,3	Natriumoleat 5%lsg.	100	9 - 11	4
Flot 16-3	0,1 - 0,3	FlotigamEDA	100	2,5	4

Tabelle 43: Übersicht über die Flotationen von elektrodynamisch zerkleinertem Material

Flotation	Korngröße [mm]	Reagenz	Kollektor- Zugabe [g/t]	pH-Wert [-]	Flotationszeit [min]
Flot 17-1	0,1 - 0,3	K2C	750	9,5 - 10,2	4
Flot 17-2	0,1 - 0,3	FS100	200	9 - 11	4
Flot 18-1	0,04 - 0,1	K2C	750	9,5 - 10,2	4
Flot 18-2	0,04 - 0,1	FS100		9 - 11	4
Flot 19	0,1 - 0,315	Mischung AERO 827+845 10%lsg.	1820	9,5 - 10,2	4
Flot 20	0,04 - 0,1	Mischung AERO 827+845	100	9,5 - 10,2	4

8.6.1 0,1 - 0,3mm Flot.1

Flot 1, Berge

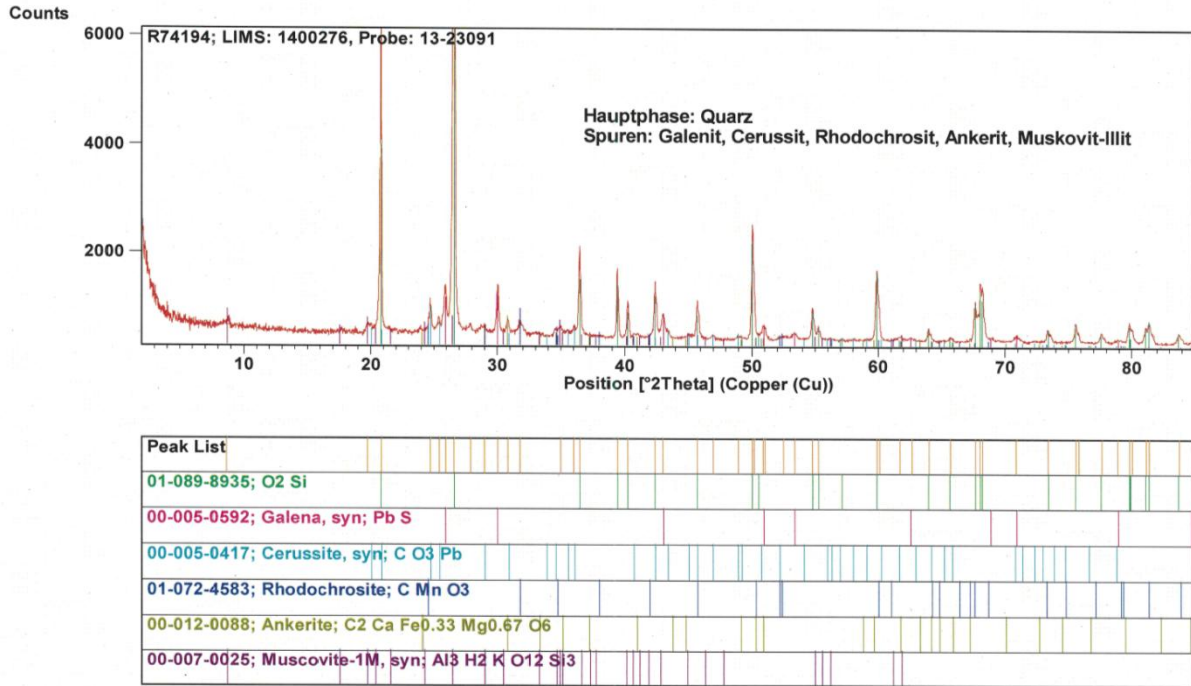


Abbildung 39: 0,1 - 0,3 mm, Flot 1 Berge

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit

Flot.1 Konz.1

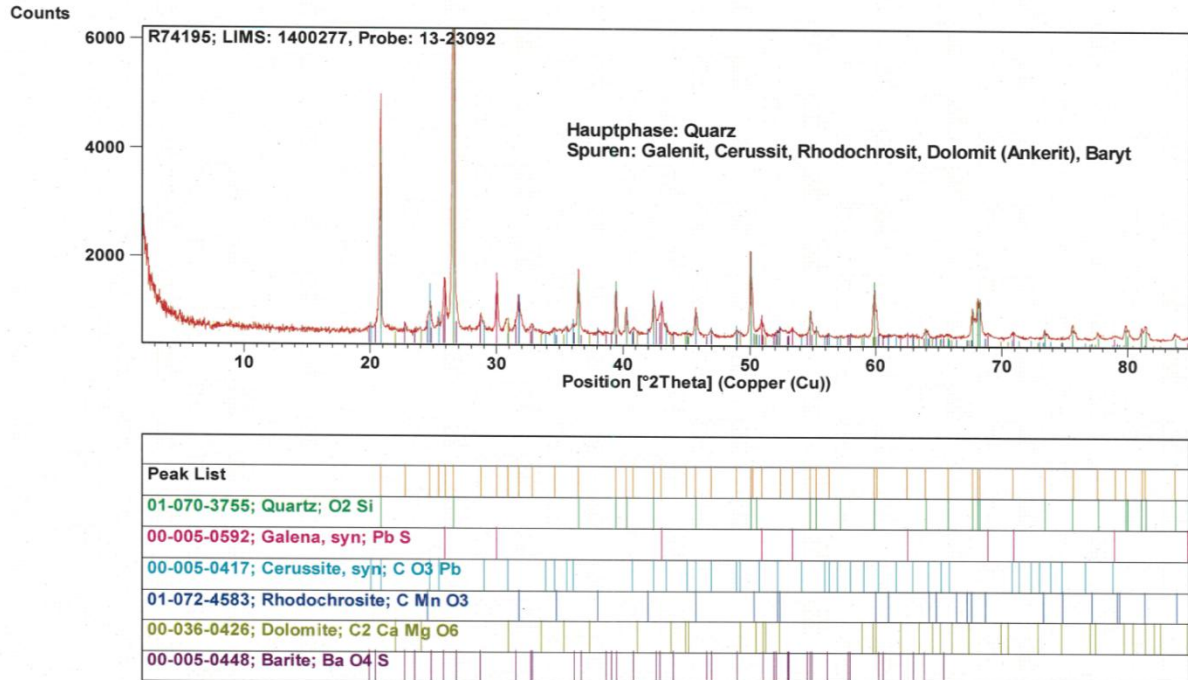


Abbildung 40: 0,1 - 0,3 mm, Flot 1, Konz 1

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Dolomit (Ankerit)
- Baryt

Flot 1, Konz 2

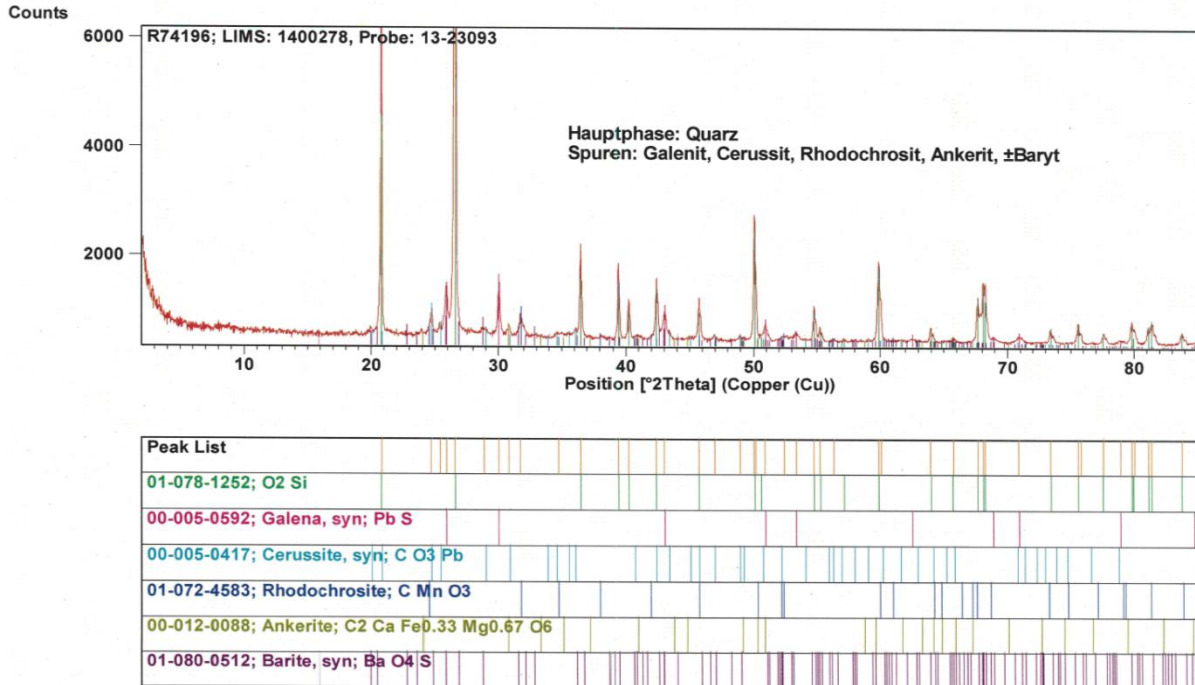


Abbildung 41: 0,1-0,3mm, Flot 1, Konz 2

Hauptbestandteile: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Baryt



Tabelle 44: Chemische Analyse des Materials nach der Flotation Flot.1, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm Flot.1 Berge	13-23091	60	79	0,2	4,5	5,3	0,6	0,5
0,1 - 0,3mm Flot.1 Konz.1	13-23092	35	64	0,08	1,7	13	1,7	0,7
0,1 - 0,3 mm Flot.1 Konz.2	13-23093	5,0	80	0,10	2,2	6,6	0,9	0,4

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm Flot.1 Berge	13-23091	0,8	0,15	0,9	0,04	0,7	0,5	2,9	3,6
0,1 - 0,3mm Flot.1 Konz.1	13-23092	1,3	0,07	0,3	0,02	1,8	3,2	5,0	6,6
0,1 - 0,3 mm Flot.1 Konz.2	13-23093	0,7	0,11	0,4	0,02	0,6	0,7	3,3	4,0

8.6.2 0,1 – 0,3 mm Flot 2

Flot 2 Berge

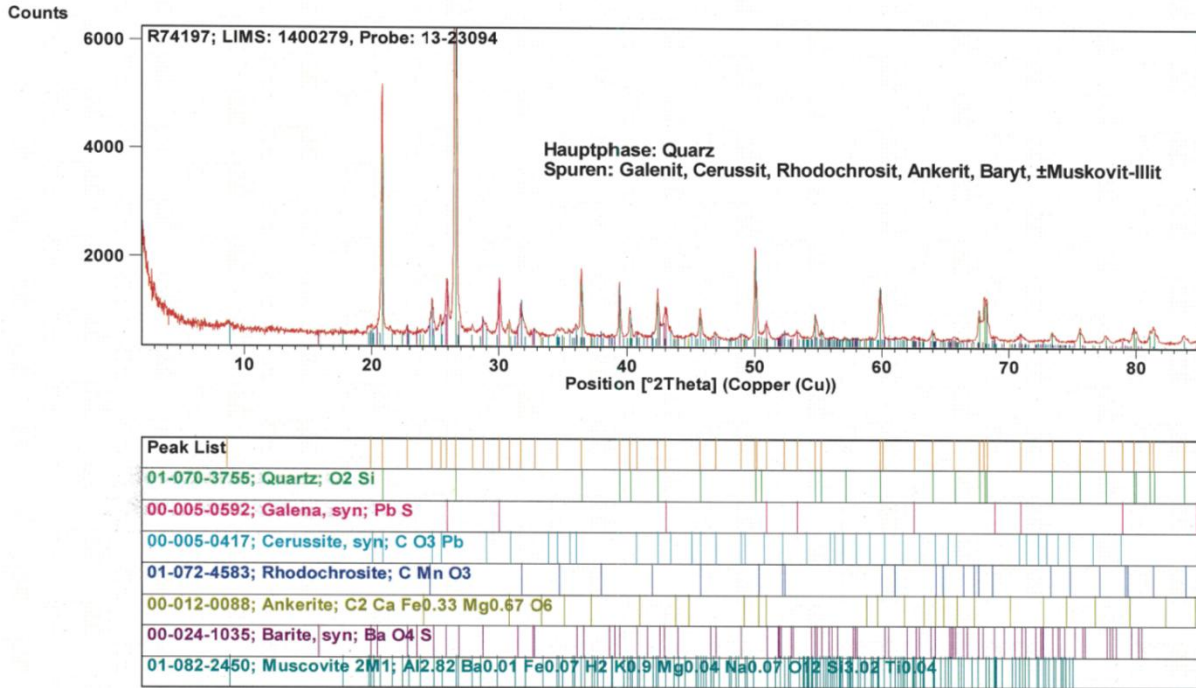


Abbildung 42: 0,1 – 0,3 mm Flot 2, Berge

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Baryt

Flot 2, Konz

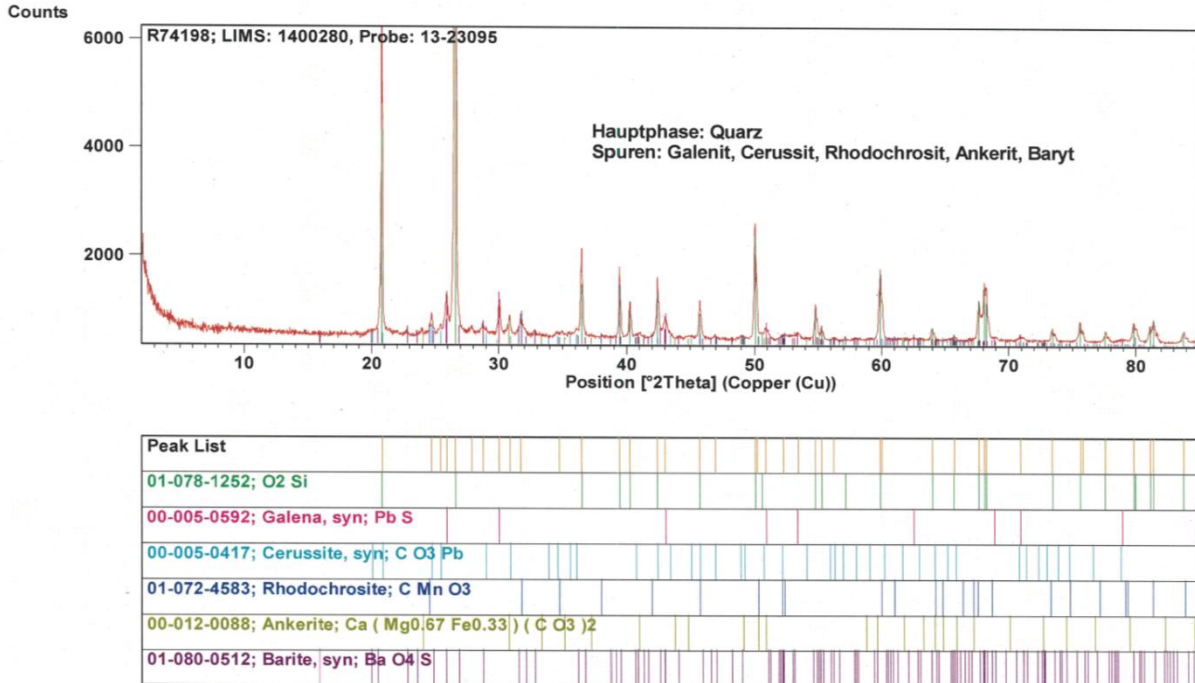


Abbildung 43: 0,1 – 0,3 mm Flot 2, Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Baryt



Tabelle 45: Chemische Analyse des Materials nach der Flotation Flot.2, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO		
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	
0,1 - 0,3 mm Flot.2 Berge	13-23094	63	71	0,18	3,8	8,7	1,1	0,6		
0,1 - 0,3 mm Flot.2 Konz.1	13-23095	37	75	0,11	2,4	8,1	1,0	0,6		

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm Flot.2 Berge	13-23094	0,9	0,13	0,8	0,04	1,2	1,8	4,41	5,1
0,1 - 0,3 mm Flot.2 Konz.1	13-23095	1,1	0,11	0,4	0,03	1,1	1,4	3,23	4,8

8.6.3 0,1 – 0,3 mm Flot 4

Flot 4-2 Konz

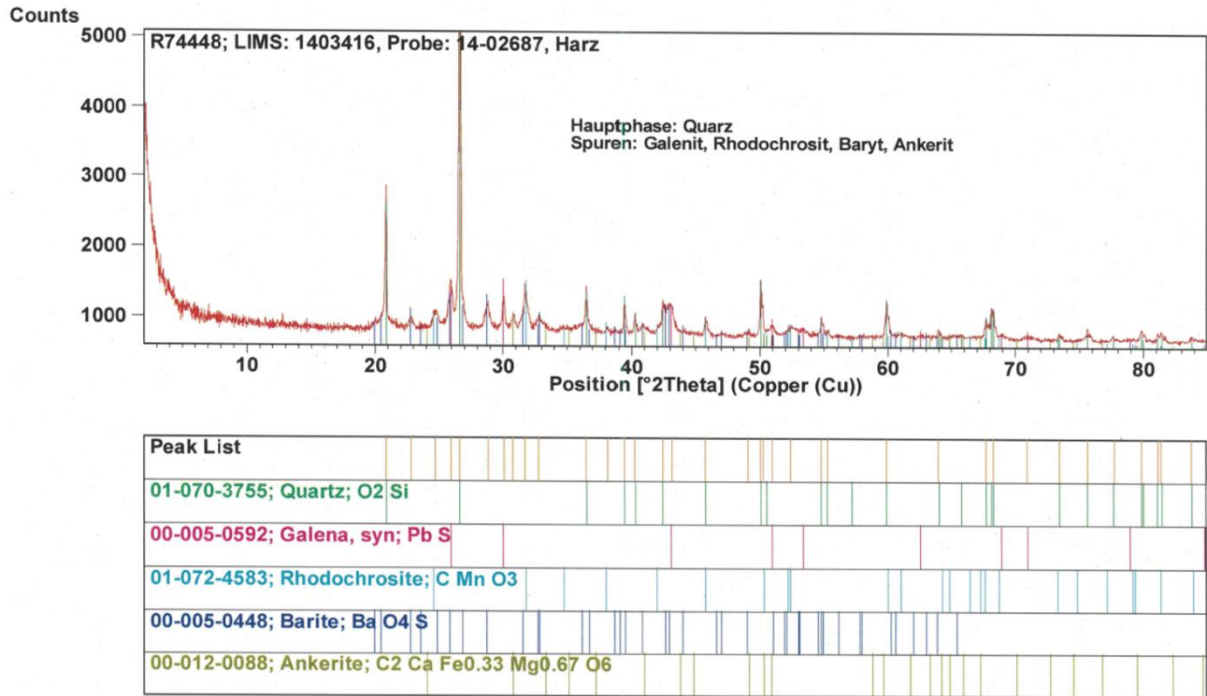


Abbildung 44: 0,1 - 0,3 mm, F4-2 Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Rhodochrosit
- Baryt
- Ankerit

Flot 4-3 Konz

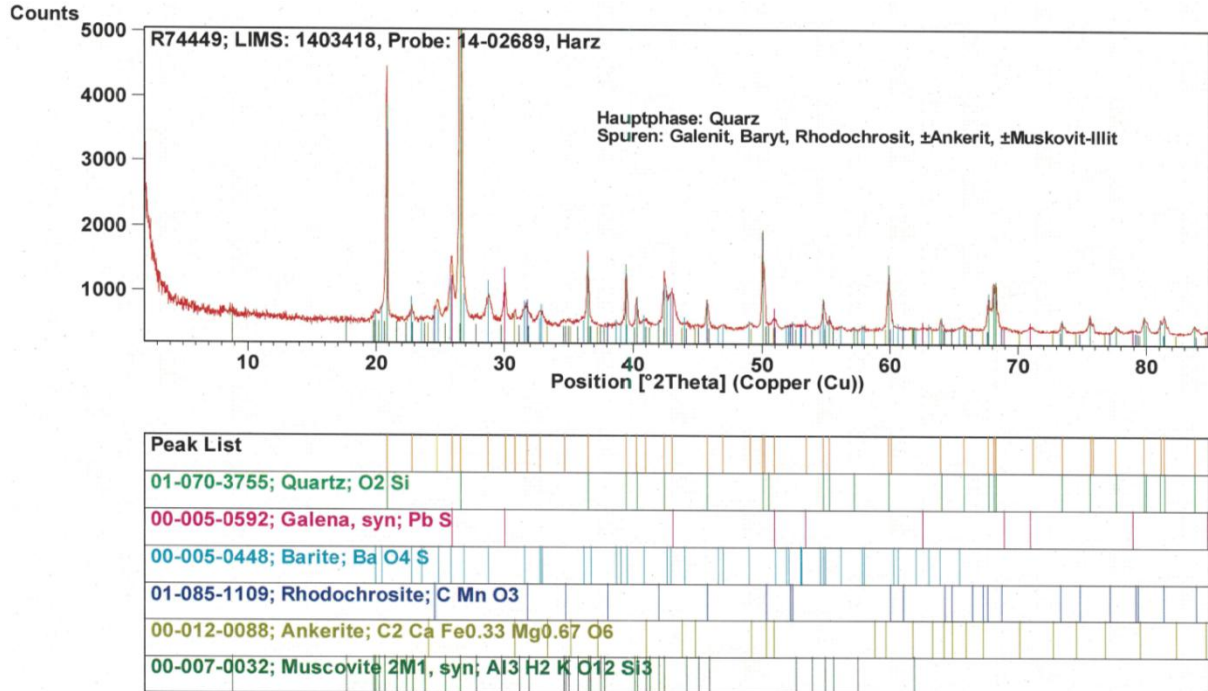


Abbildung 45: 0,1 – 0,3 mm, F4-3, Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Baryt
- Rhodochrosit
- ±Ankerit
- ±Muskovit-Illit

Flot 4-5 Konz

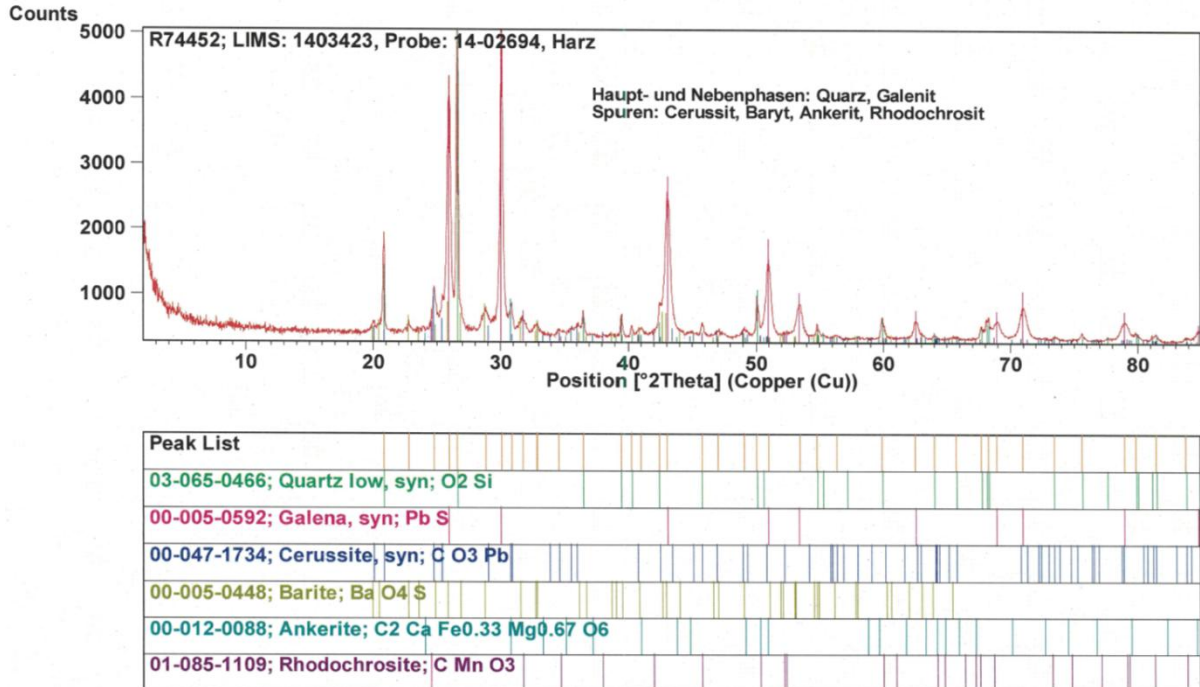


Abbildung 46: 0,04 - 0,1 mm, F4-5, Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Galenit

Spuren:

- Cerussit
- Baryt
- Ankerit
- Rhodochrosit

Flot 4-6 Konz

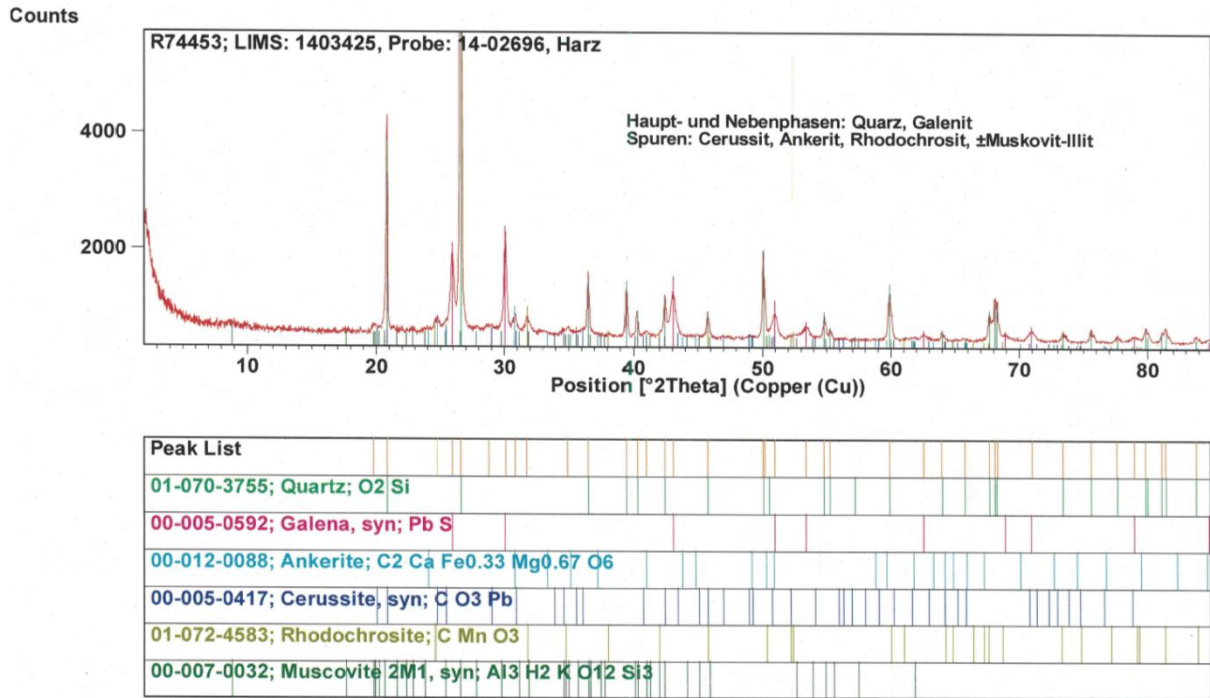


Abbildung 47: 0,04 - 0,1 mm, F4-6, Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Galenit

Spuren:

- Cerussit
- Ankerit
- Rhodochrosit
- ±Muskovit-Illit



Tabelle 46: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.4, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm F 4-2 Konz	14-02687	14	48	0,05	1,2	20	2,7	1,0
0,1 - 0,3 mm F 4-3 Konz	14-02689	8,4	67	0,14	3,1	7,4	0,9	0,6
0,04 - 0,1 mm F 4-5 Konz	14-02694	6,9	43	0,12	2,7	6,2	0,7	1,2
0,04 - 0,1 mm F 4-6 Konz	14-02696	5,7	67	0,2	4,3	8,0	1,0	0,9

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm F 4-2 Konz	14-02687	1,8	0,02	0,2	0,02	2,3	6,4	4,9	10
0,1 - 0,3 mm F 4-3 Konz	14-02689	1,1	0,11	0,6	0,03	1,6	5,6	3,6	7,3
0,04 - 0,1 mm F 4-5 Konz	14-02694	3,2	0,07	0,5	0,06	8,1	5,9	24,1	2,7
0,04 - 0,1 mm F 4-6 Konz	14-02696	1,8	0,11	0,9	0,05	1,0	1,2	6,3	6,4

8.6.4 0,1 – 0,3 mm Flot 5

Flot 5-2, Konz

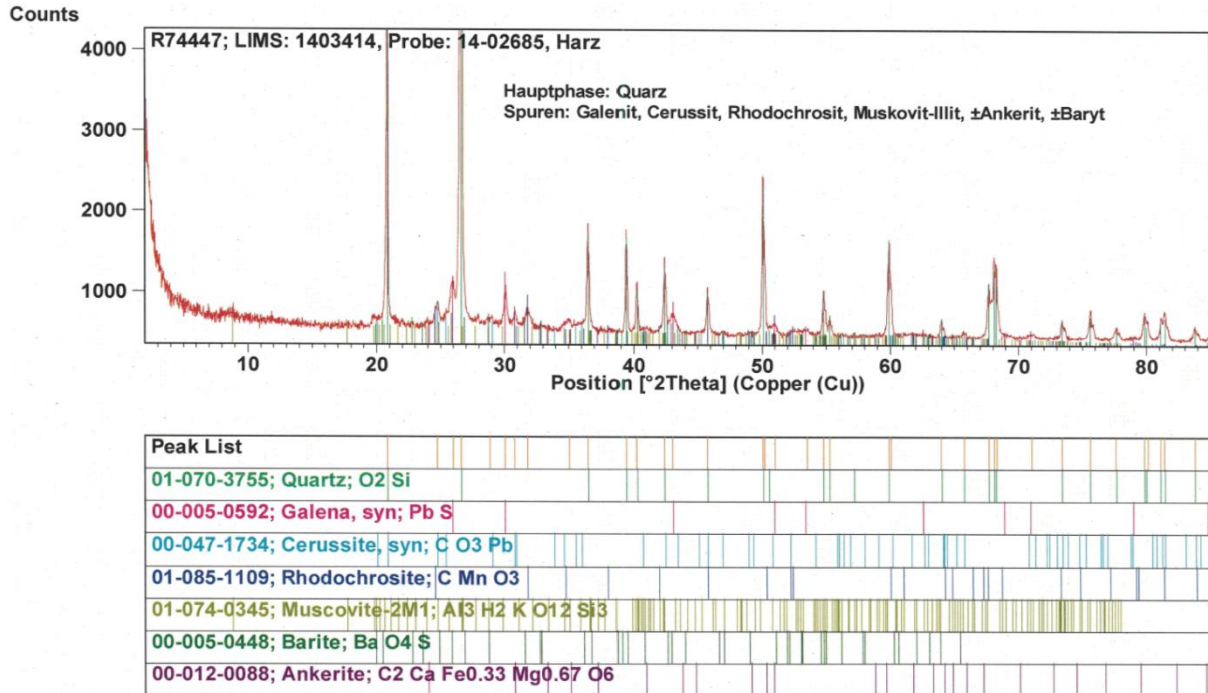


Abbildung 48: 0,1 – 0,3 mm, Flot 5-2, Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrodit
- Muskovit.Illit
- ±Ankerit
- ±Baryt

Flot 5-3 Konz

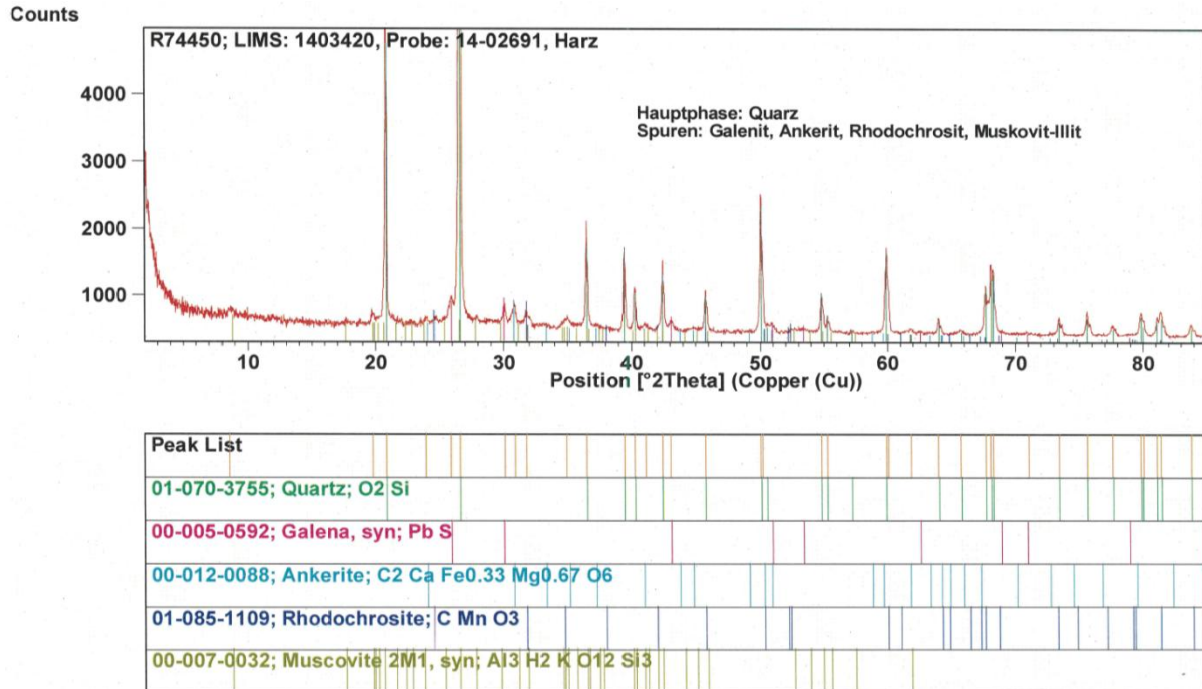


Abbildung 49: 0,04- 0,1 mm, F5-3, Konz 1

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Ankerit
- Rhodochrosit
- Muskovit-Illit

Flot 5-4 Konz

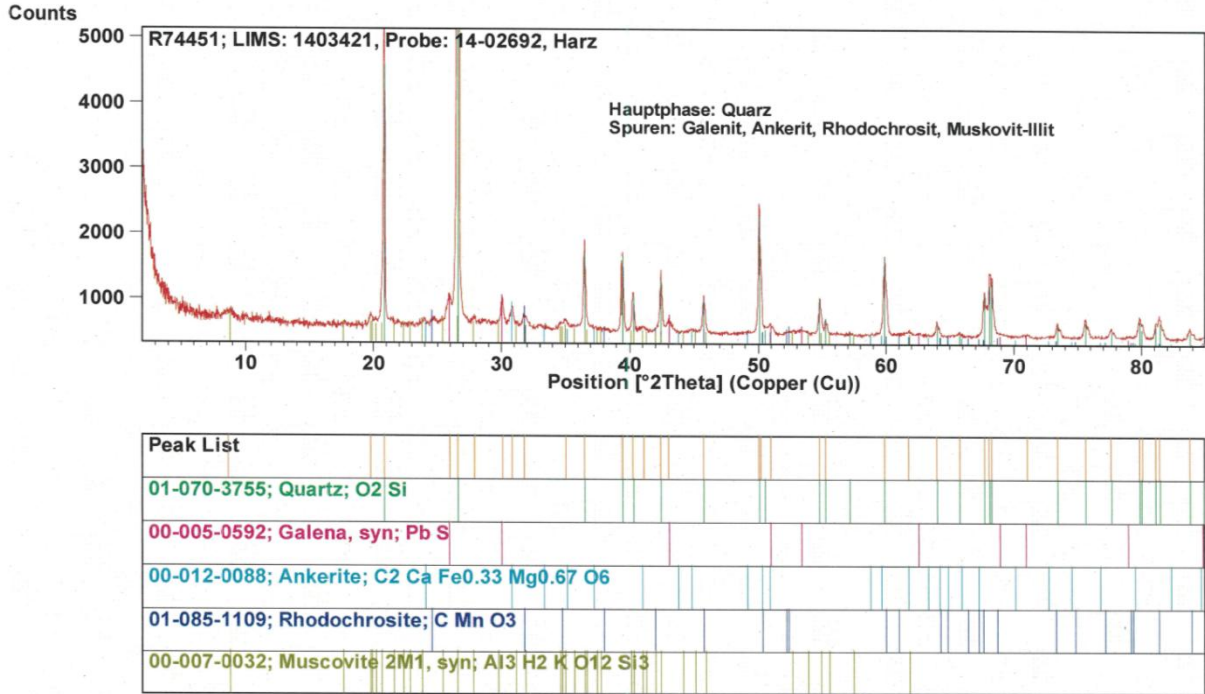


Abbildung 50: 0,04 - 0,1 mm, F5-4, Konz

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Ankerit
- Rhodochrosit
- Muskovit-Illit



Tabelle 47: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.5, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm F5-2 Konz	14-02685	10	77	0,17	3,7	6,8	0,8	0,6
0,04 - 0,1 mm F5-3 Konz	14-02691	6,1	76	0,2	5,0	6,0	0,7	0,8
0,04 - 0,1 mm F5-4 Konz	14-02692	6,6	76	0,2	5,0	6,3	0,8	0,8

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm F5-2 Konz	14-02685	0,9	0,13	0,8	0,04	0,07	0,7	2,7	5,2
0,04 - 0,1 mm F5-3 Konz	14-02691	1,5	0,13	1,0	0,05	0,06	0,2	1,3	6,2
0,04 - 0,1 mm F5-4 Konz	14-02692	1,5	0,14	1,0	0,05	0,08	0,3	1,6	6,0



8.6.5 0,1 – 0,3 mm Flot 6

Tabelle 48: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.6, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3mm Flot.6 Konz	14-14818	60	33	0,10	2,1	33	4,6	1,7
0,1-0,3mm Flot.6 Berge	14-14819	40	44	0,17	3,5	26	3,4	1,5

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3mm Flot.6 Konz	14-14818	3,0	0,02	0,38	0,03	0,84	0,85	4,3	14,7
0,1-0,3mm Flot.6 Berge	14-14819	2,6	0,08	0,70	0,05	0,73	0,66	3,7	12,0



8.6.6 0,1 – 0,3 mm Flot 8

Tabelle 49: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.8, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Nonmag FS2 0,1-0,3mm Flot.8 Konz	14-14820	89	82	0,16	3,4	1,9	0,20	0,33

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Nonmag FS2 0,1-0,3mm Flot.8 Konz	14-14820	0,52	0,14	0,70	0,03	1,0	2,1	3,7	3,2



8.6.7 0,1 – 0,3 mm Flot 9

Tabelle 50: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.9, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]	
Nonmag FS100									
0,1-0,3mm Flot.9 Konz	14-14821	68	83	0,15	3,0	1,8	0,19	0,30	
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 1	14-14822	6,8	79	0,34	7,5	2,1	0,18	0,45	
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 2	14-14823	14	81	0,25	5,4	2,0	0,19	0,38	
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 3	14-14824	4,2	81	0,31	6,7	2,0	0,18	0,42	
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 4	14-14825	6,9	80	0,32	6,8	2,5	0,23	0,47	

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
Nonmag FS100									
0,1-0,3mm Flot.9 Konz	14-14821	0,53	0,15	0,60	0,03	1,1	2,17	3,8	3,1
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 1	14-14822	0,43	0,16	1,7	0,06	0,50	0,79	2,5	3,6
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 2	14-14823	0,47	0,16	1,2	0,05	0,78	1,27	3,2	3,1
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 3	14-14824	0,44	0,17	1,5	0,06	0,55	0,84	2,5	3,3
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 4	14-14825	0,53	0,18	1,5	0,06	0,43	0,50	2,7	3,5



8.6.8 0,1 – 0,3 mm Flot 10

Tabelle 51: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.10, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 10 Berge	15-05670	52	78	0,24	5,2	6,2	0,71	0,57
0,1-0,3 mm Flot 10 Konz. 1	15-05671	26	71	0,11	2,5	7,6	0,97	0,74
0,1-0,3 mm Flot 10 Konz. 2	15-05672	20	70	0,12	2,6	10,1	1,32	0,76
0,1-0,3 mm Flot 10 Konz. 3	15-05673	1,7	61	0,16	3,6	9,3	1,13	0,43

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 10 Berge	15-05670	0,68	0,14	1,1	0,05	0,45	0,15	2,3	4,0
0,1-0,3 mm Flot 10 Konz. 1	15-05671	1,54	0,17	0,48	0,03	2,20	3,26	3,9	5,5
0,1-0,3 mm Flot 10 Konz. 2	15-05672	1,45	0,18	0,50	0,03	1,21	1,09	4,4	5,8
0,1-0,3 mm Flot 10 Konz. 3	15-05673	0,47	0,08	0,79	0,03	0,97	0,51	14,0	6,3



8.6.9 0,1 – 0,3 mm Flot 11

Tabelle 52: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.11, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 11 Berge	15-05674	94	76	0,18	4,0	7,5	0,91	0,63
0,1-0,3 mm Flot 11 Konz. 1	15-05675	1,7	65	0,16	3,5	4,7	0,58	0,52
0,1-0,3 mm Flot 11 Konz. 2	15-05676	3,9	68	0,13	2,8	6,3	0,79	0,71
0,1-0,3 mm Flot 11 Konz. 3	15-05677	0,5	66	0,17	4,2	4,0	0,49	0,40

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 11 Berge	15-05674	0,95	0,11	0,83	0,04	0,97	0,57	3,2	3,9
0,1-0,3 mm Flot 11 Konz. 1	15-05675	0,86	0,15	0,73	0,03	5,6	11	2,0	5,1
0,1-0,3 mm Flot 11 Konz. 2	15-05676	1,4	0,23	0,57	0,03	3,6	6,1	3,1	5,8
0,1-0,3 mm Flot 11 Konz. 3	15-05677	0,74	0,11	0,90	0,04	0,46	0,44	6,8	14



8.6.10 0,1 – 0,3 mm Flot 12

Tabelle 53: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.12, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 12 Berge	15-05678	45	78	0,26	5,7	5,4	0,58	0,56
0,1-0,3 mm Flot 12 Konz. 1	15-05679	36	71	0,10	2,2	10	1,4	0,77
0,1-0,3 mm Flot 12 Konz. 2	15-05680	19	76	0,10	2,2	7,6	0,97	0,63
0,1-0,3 mm Flot 12 Konz. 3	15-05681	0,39	72	0,27	6,3	4,1	0,48	0,44

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 12 Berge	15-05678	0,62	0,16	1,2	0,05	0,45	0,22	3,1	3,9
0,1-0,3 mm Flot 12 Konz. 1	15-05679	1,5	0,10	0,42	0,02	1,21	1,4	3,4	6,0
0,1-0,3 mm Flot 12 Konz. 2	15-05680	1,2	0,20	0,41	0,02	1,09	1,1	3,4	4,5
0,1-0,3 mm Flot 12 Konz. 3	15-05681	0,40	0,18	1,42	0,05	0,36	0,16	7,2	5,9



8.6.11 0,1 – 0,3 mm Flot 13

Tabelle 54: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.13, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 13 Berge	15-05682	94	76	0,17	3,9	7,4	0,90	0,63
0,1-0,3 mm Flot 13 Konz. 1	15-05683	1,2	75	0,18	4,0	4,3	0,52	0,52
0,1-0,3 mm Flot 13 Konz. 2	15-05684	1,6	60	0,13	2,8	3,1	0,39	0,41
0,1-0,3 mm Flot 13 Konz. 3	15-05685	2,9	69	0,16	4,0	3,6	0,40	0,36

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 13 Berge	15-05682	0,95	0,12	0,81	0,04	0,93	0,67	2,9	4,3
0,1-0,3 mm Flot 13 Konz. 1	15-05683	0,91	0,19	0,82	0,04	2,3	4,0	1,7	4,7
0,1-0,3 mm Flot 13 Konz. 2	15-05684	0,71	0,24	0,58	0,03	7,6	15	4,4	4,3
0,1-0,3 mm Flot 13 Konz. 3	15-05685	0,58	0,11	0,86	0,03	0,59	0,52	12	7,1



8.6.12 0,1 – 0,3 mm Flot 14

Tabelle 55: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.14, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 14 Berge	15-05686	68	79	0,21	4,6	6,1	0,70	0,59
0,1-0,3 mm Flot 14 Konz. 1	15-05687	12	55	0,05	1,0	15	2,04	0,77
0,1-0,3 mm Flot 14 Konz. 2	15-05688	17	75	0,10	2,1	8,1	1,04	0,67
0,1-0,3 mm Flot 14 Konz. 3	15-05689	3,1	65	0,18	4,0	8,4	1,02	0,52

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 14 Berge	15-05686	0,86	0,14	0,98	0,04	0,66	0,14	2,5	3,8
0,1-0,3 mm Flot 14 Konz. 1	15-05687	1,5	0,23	0,18	0,01	4,6	7,5	4,9	7,5
0,1-0,3 mm Flot 14 Konz. 2	15-05688	1,4	0,13	0,41	0,02	1,1	0,51	4,3	4,6
0,1-0,3 mm Flot 14 Konz. 3	15-05689	0,68	0,13	0,86	0,03	0,60	0,20	10	7,3



8.6.13 0,1 – 0,3 mm Flot 15

Tabelle 56: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.15, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 15 Berge	15-05690	96	77	0,17	3,8	7,9	0,97	0,62
0,1-0,3 mm Flot 15 Konz. 1	15-05691	1,4	28	0,07	1,3	2,6	0,34	0,39
0,1-0,3 mm Flot 15 Konz. 2	15-05692	2,7	44	0,06	1,4	3,6	0,48	0,60
0,1-0,3 mm Flot 15 Konz. 3	15-05693	0,49	52	0,05	1,4	4,1	0,46	0,22

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 15 Berge	15-05690	0,94	0,11	0,78	0,03	0,75	0,20	2,7	4,3
0,1-0,3 mm Flot 15 Konz. 1	15-05691	0,96	<0,01	0,24	0,01	16	28	9,9	9,5
0,1-0,3 mm Flot 15 Konz. 2	15-05692	2,1	0,03	0,28	0,01	9,1	13	20	4,8
0,1-0,3 mm Flot 15 Konz. 3	15-05693	0,31	0,03	0,26	0,01	3,8	4,7	28	4,1



8.6.14 0,1 – 0,3 mm Flot 16

Tabelle 57: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.16, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 16 Berge	15-05694	60	81	0,22	4,9	5,0	0,55	0,56
0,1-0,3 mm Flot 16 Konz. 1	15-05695	9,5	61	0,07	1,5	6,0	0,78	0,58
0,1-0,3 mm Flot 16 Konz. 2	15-05696	30	70	0,08	1,8	13	1,7	0,73
0,1-0,3 mm Flot 16 Konz. 3	15-05697	1,3	65	0,20	4,5	12	1,5	0,57

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1-0,3 mm Flot 16 Berge	15-05694	0,76	0,14	1,0	0,04	0,54	0,12	1,8	3,6
0,1-0,3 mm Flot 16 Konz. 1	15-05695	1,2	0,05	0,27	0,02	4,7	8,3	10	4,6
0,1-0,3 mm Flot 16 Konz. 2	15-05696	1,4	0,07	0,32	0,02	1,14	0,38	4,2	5,7
0,1-0,3 mm Flot 16 Konz. 3	15-05697	0,74	0,14	0,97	0,04	0,54	0,45	5,6	8,3



8.6.15 0,1 – 0,3 mm Flot 17

Tabelle 58: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.17, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Proben- nummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
			[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 1	15-05698	39	94	0,02	0,7	0,4	0,03	0,03
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 2	15-05699	1,3	90	0,07	1,7	1,0	0,08	0,17
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Berge	15-05700	60	89	0,14	3,1	1,3	0,10	0,23

Probenbezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 1	15-05698	0,08	0,03	0,09	0,00	0,05	0,08	3,1	1,5
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 2	15-05699	0,33	0,10	0,28	0,01	0,74	1,3	2,6	1,5
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Berge	15-05700	0,34	0,16	0,62	0,03	0,41	0,49	1,9	1,7



8.6.16 0,04 – 0,1 mm Flot 18

Tabelle 59: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.18, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Selfrag 0,04-0,1 mm Flot 18 Konz. 1	15-05701	17	88	0,11	2,6	1,4	0,14	0,19
Selfrag 0,04-0,1mm Flot 18 Konz. 2	15-05702	28	52	0,16	2,8	17	2,3	1,6
Selfrag 0,04-0,1 mm Flot 18 Berge	15-05703	55	74	0,29	5,6	5,8	0,59	0,99

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Selfrag 0,04-0,1 mm Flot 18 Konz. 1	15-05701	0,22	0,10	0,51	0,02	0,14	0,09	4,0	2,0
Selfrag 0,04-0,1mm Flot 18 Konz. 2	15-05702	3,2	0,11	0,52	0,04	2,6	1,9	6,5	9,4
Selfrag 0,04-0,1 mm Flot 18 Berge	15-05703	1,8	0,19	1,15	0,05	1,5	1,4	1,8	5,1



8.6.17 0,1 – 0,3 mm Flot 19

Tabelle 60: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.19, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]		
Robeha Selfrag 0,1-0,3mm Flot 19 Konz 1+2 (AERO 827+845)	15-13182	66	0,08	1,5	5,1	0,60	0,92	66		
Robeha Selfrag 0,1-0,3mm Flot 19 Berge	15-13183	78	0,11	2,5	8,0	1,0	0,64	78		

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
Robeha Selfrag 0,1-0,3mm Flot 19 Konz 1+2 (AERO 827+845)	15-13182	1,9	0,06	0,25	0,02	4,1	7,1	6,9	5,2
Robeha Selfrag 0,1-0,3mm Flot 19 Berge	15-13183	1,1	0,11	0,45	0,03	0,12	0,13	2,0	5,1



8.6.18 0,04 – 0,1 mm Flot 20

Tabelle 61: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.20, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO		
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm Flot 20 Konz 1+2 (AERO 827+845)	15-13184	56	0,15	2,9	6,6	0,91	1,1	56		
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm Flot 20 Berge	15-13185	72	0,17	3,4	8,5	1,1	0,88	72		

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm Flot 20 Konz 1+2 (AERO 827+845)	15-13184	2,2	0,12	0,59	0,03	5,5	10	5,3	7,6
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm Flot 20 Berge	15-13185	1,6	0,13	0,67	0,04	0,56	0,06	4,4	5,9

8.7 Nassherd (Rütteltisch)

0,1-0,3mm RT T1+2

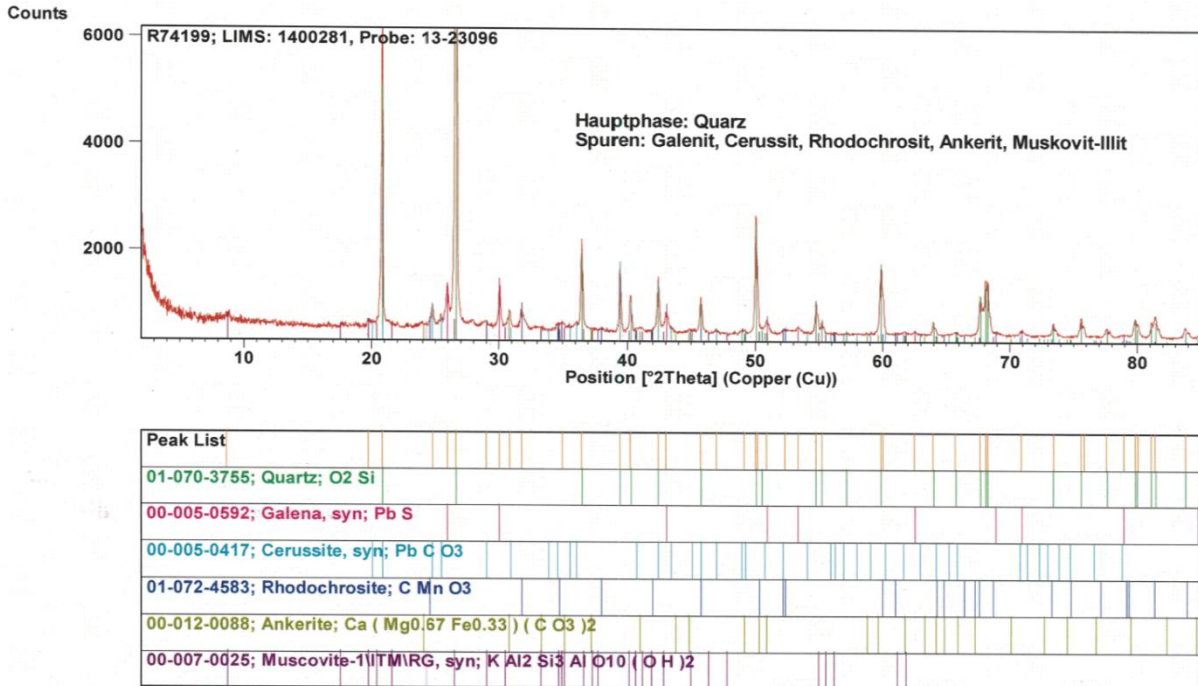


Abbildung 51: 0,1 - 0,3 mm RT T1+2

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit

0,1-0,3mm RT T3

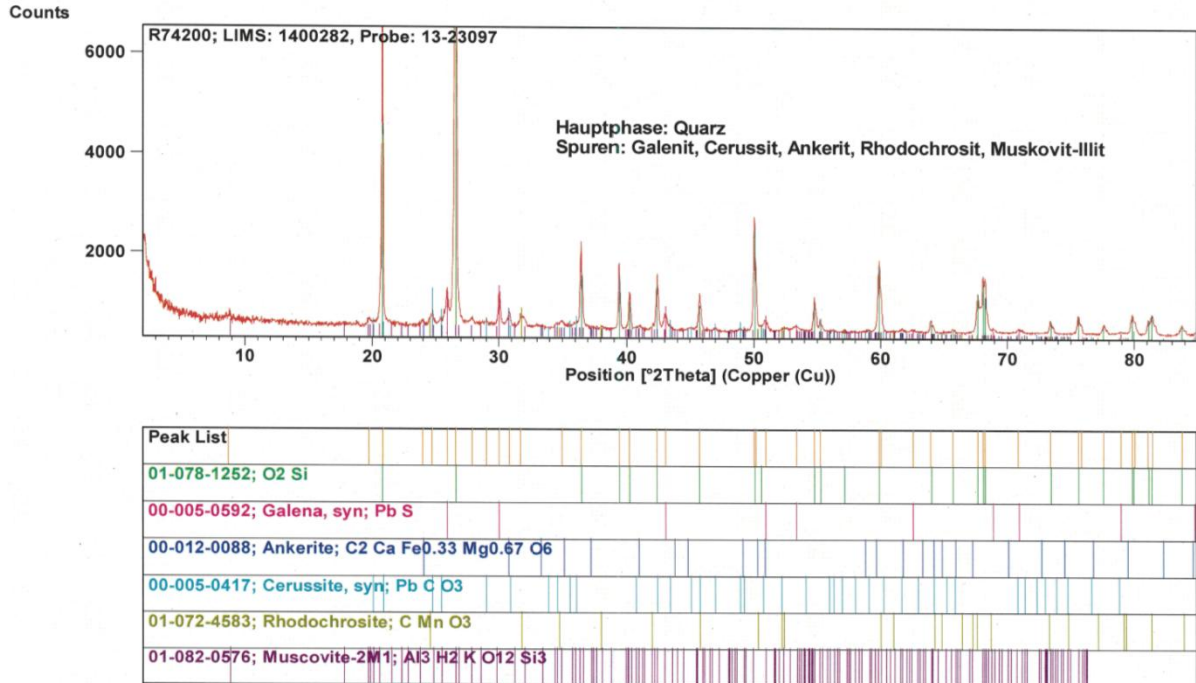


Abbildung 52: 0,1 - 0,3 mm RT T3

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Ankerit
- Rhodochrosit
- Muskovit-Illit

0,1-0,3mm RT T4

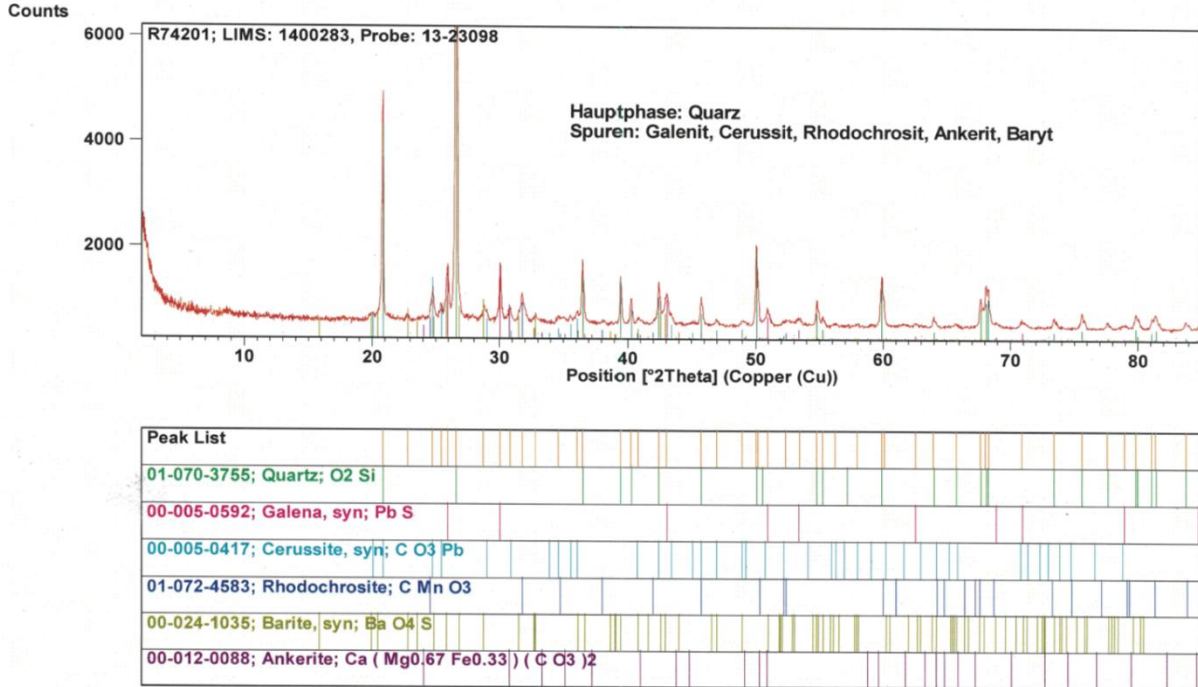


Abbildung 53: 0,1-0,3mm RT T4

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Baryt



Tabelle 62: Chemische Analyse des Materials nach dem Rütteltisch(Nassherd)versuch, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm RT T1+2	13-23096	14	79	0,16	3,6	6,5	0,8	0,6
0,1 - 0,3 mm RT T3	13-23097	46	80	0,16	3,6	6,2	0,8	0,6
0,1 - 0,3 mm RT T4	13-23098	39	68	0,14	3,1	10	1,3	0,6

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm RT T1+2	13-23096	0,9	0,14	0,7	0,04	0,7	0,4	2,6	4,1
0,1 - 0,3 mm RT T3	13-23097	1,0	0,12	0,7	0,03	0,6	0,18	2,4	3,6
0,1 - 0,3 mm RT T4	13-23098	1,0	0,10	0,6	0,03	1,3	2,3	4,8	5,6

8.8 Magnetscheidung

8.8.1 Konventielle Zerkleinerung

8.8.1.1 Suspensionsmagnetscheidung 0,04 – 0,1 mm

Susp Mag1

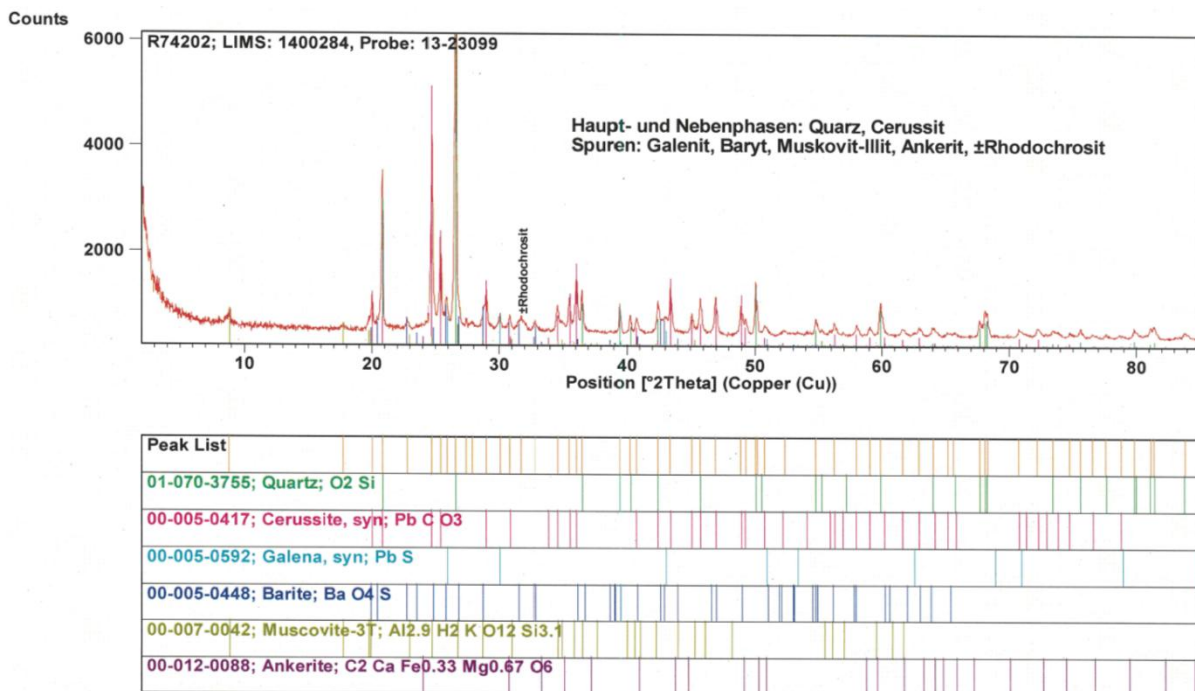


Abbildung 54: Suspensionsmagnetscheidung 0,04 – 0,1 mm, Mag1

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Cerussit

Spuren:

- Galenit
- Baryt
- Muskovit-IIIit
- Ankerit
- ±Rhodochrosit

Susp NonMag1

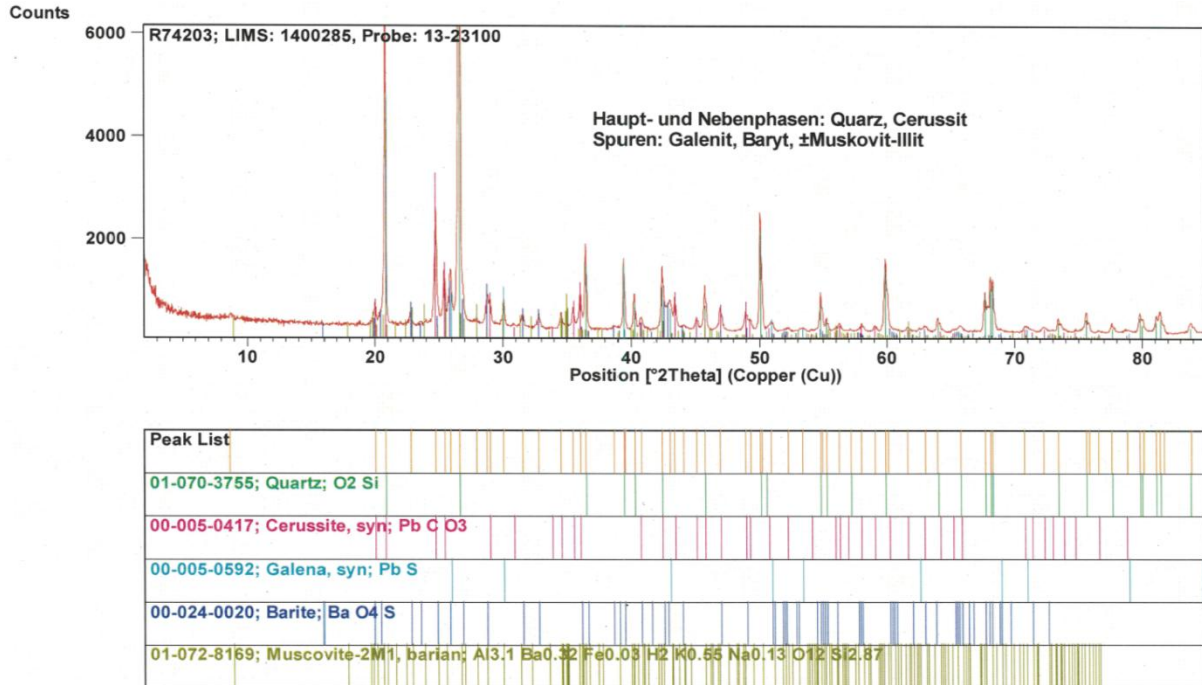


Abbildung 55: Suspensionsmagnetscheidung 0,04 – 0,1 mm, NonMag1

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Cerussit

Spuren:

- Galenit
- Baryt
- Muskovit-Illit

8.8.1.2 Trockene Magnetscheidung 0,1 – 0,3 mm

Bandmagnetscheidung NonMag3

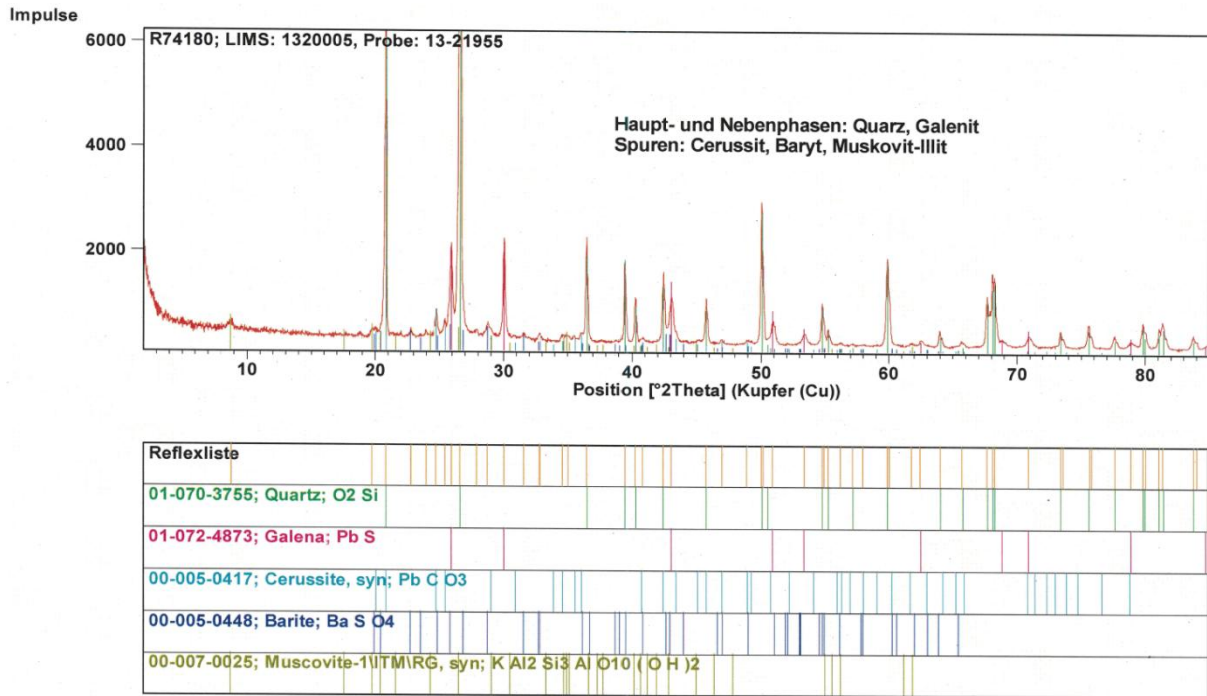


Abbildung 56: 0,1 - 0,3 mm NonMag3

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Galenit

Spuren:

- Cerussit
- Baryt
- Muskovit-Illit

8.8.1.3 Suspensionsmagnetscheidung 0,1 – 0,3 mm

Susp NonMag1

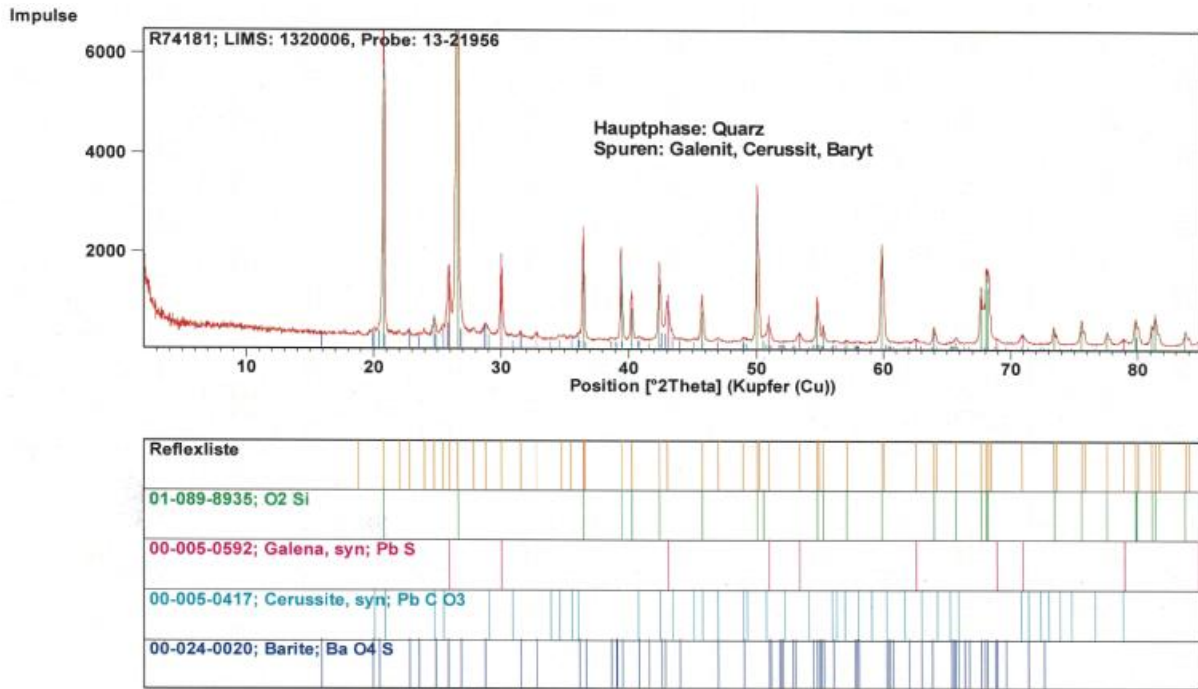


Abbildung 57: 0,1 - 0,3 mm NonMag1 Susp

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Baryt



Tabelle 63: Chemische Analyse des Materials nach den Magnetscheidungen, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
			[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm NonMag3	13-21955	58	88	0,13	3,0	0,8	0,06	0,16
0,1 - 0,3 mm NonMag1 Susp.	13-21956	27	90	0,08	2,0	0,4	0,04	0,08
0,04 - 0,1 mm Mag1 Susp.	13-23099	94	55	0,3	6,3	7,4	1,4	0,6
0,04 - 0,1 mm NonMag1 Susp.	13-23100	5,6	81	0,11	2,5	0,5	0,12	0,11

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm NonMag3	13-21955	0,2	0,12	0,6	0,03	0,6	1,1	3,4	1,9
0,1 - 0,3 mm NonMag1 Susp.	13-21956	0,14	0,08	0,4	0,02	0,7	1,4	3,0	1,3
0,04 - 0,1 mm Mag1 Susp.	13-23099	0,9	0,17	1,4	0,07	1,6	3,4	12,6	7,9
0,04 - 0,1 mm NonMag1 Susp.	13-23100	0,2	0,12	0,5	0,03	1,4	3,9	5,4	3,6

8.8.1.4 Elektrostatische Sortierung

8.8.1.4.1 Versuch 1

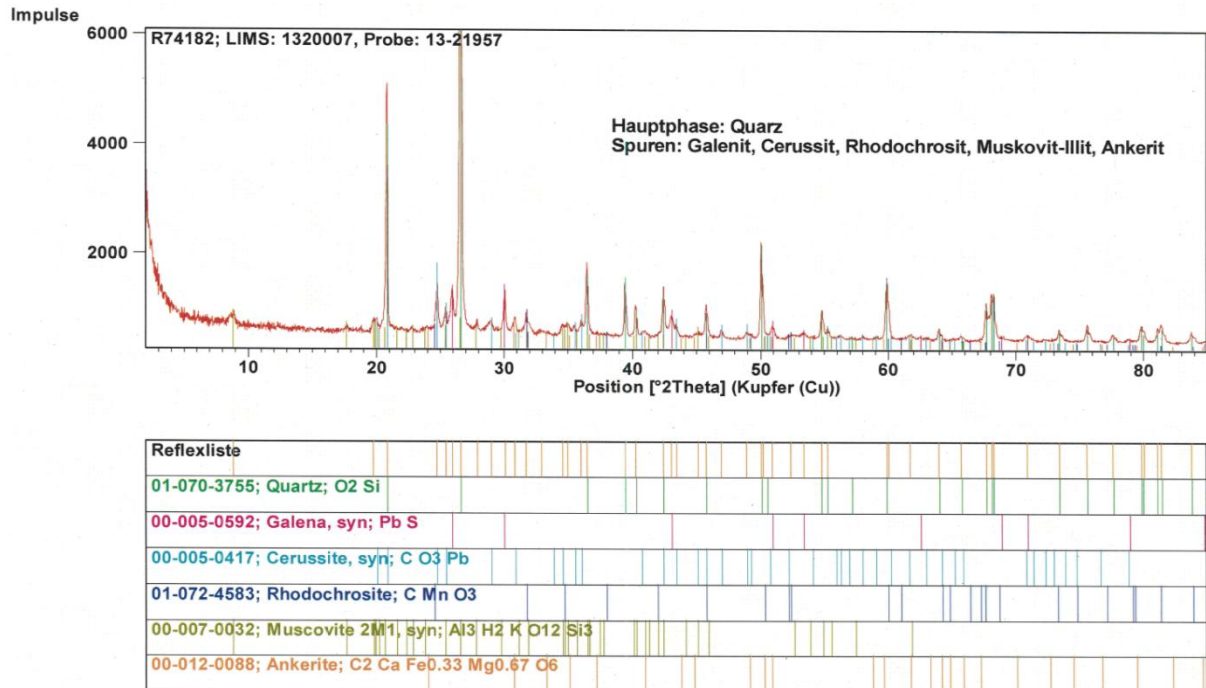


Abbildung 58: 0,1 - 0,3 mm Elektrostatische Sortierung V1 F+

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Muskovit-Illit
- Ankerit

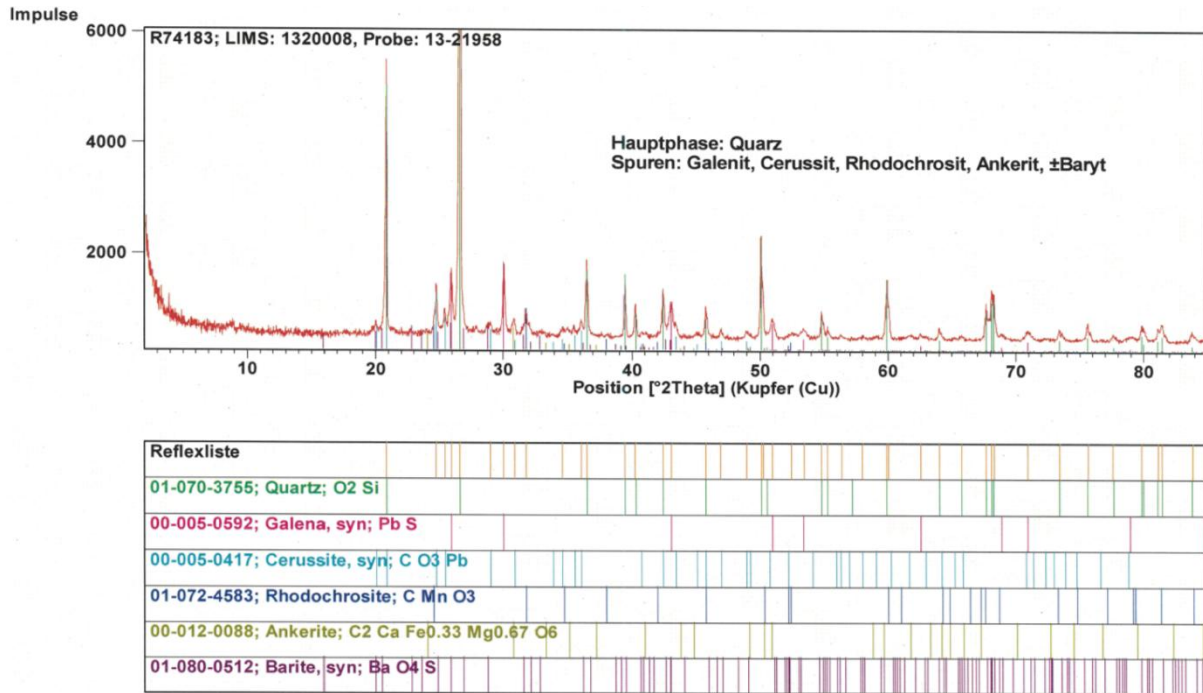


Abbildung 59: 0,1 - 0,3 mm Elektrostatische Sortierung V1 FM

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Baryt

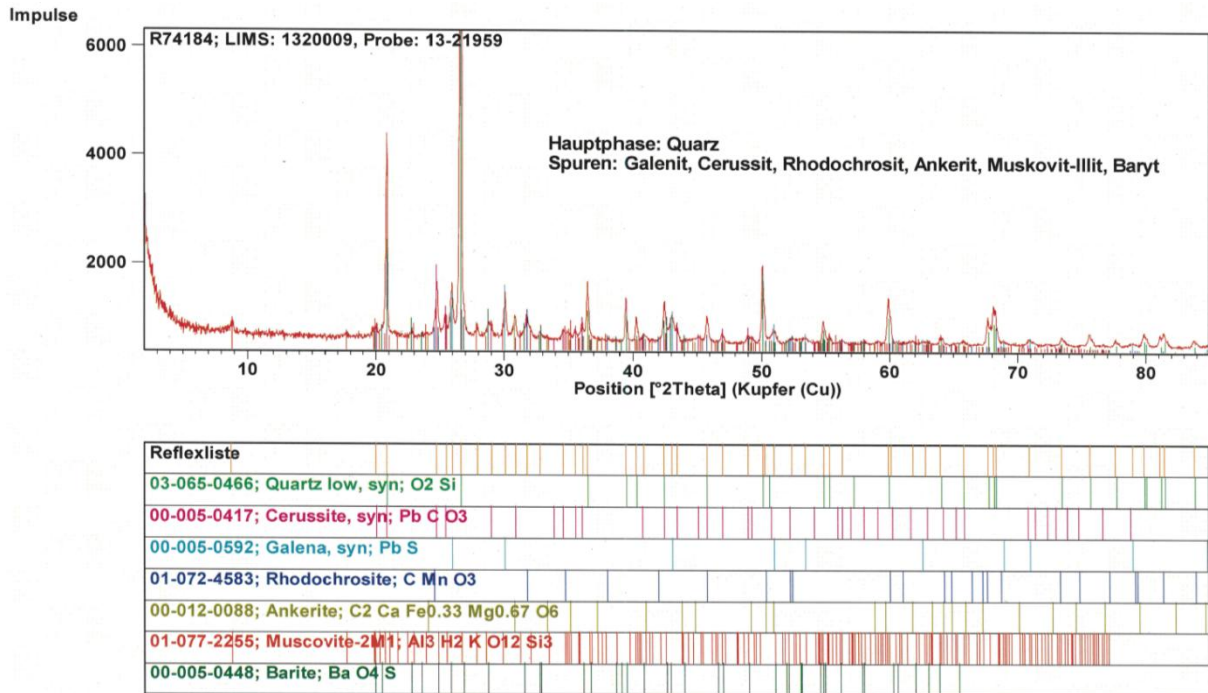


Abbildung 60: 0,1 - 0,3 mm Elektrostatische Sortierung V1 F-

Hauptbestandteile: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit
- Baryt



Tabelle 64: Chemische Analyse des Materials nach der elektrostatischen Sortierung, Versuch V1, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V1 F+	13-21957	52	74	0,2	5,4	6,4	0,8	0,6
0,1 - 0,3 mm V1 FM	13-21958	19	68	0,18	4,1	8,8	1,2	0,7
0,1 - 0,3 mm V1 F-	13-21959	29	66	0,2	4,5	9,4	1,3	0,8

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V1 F+	13-21957	0,9	0,14	1,1	0,05	0,9	0,9	3,4	4,6
0,1 - 0,3 mm V1 FM	13-21958	1,1	0,10	0,9	0,04	1,1	1,4	6,0	5,7
0,1 - 0,3 mm V1 F-	13-21959	1,4	0,12	1,0	0,04	1,6	2,3	4,9	6,2

8.8.1.4.2 Versuch 2

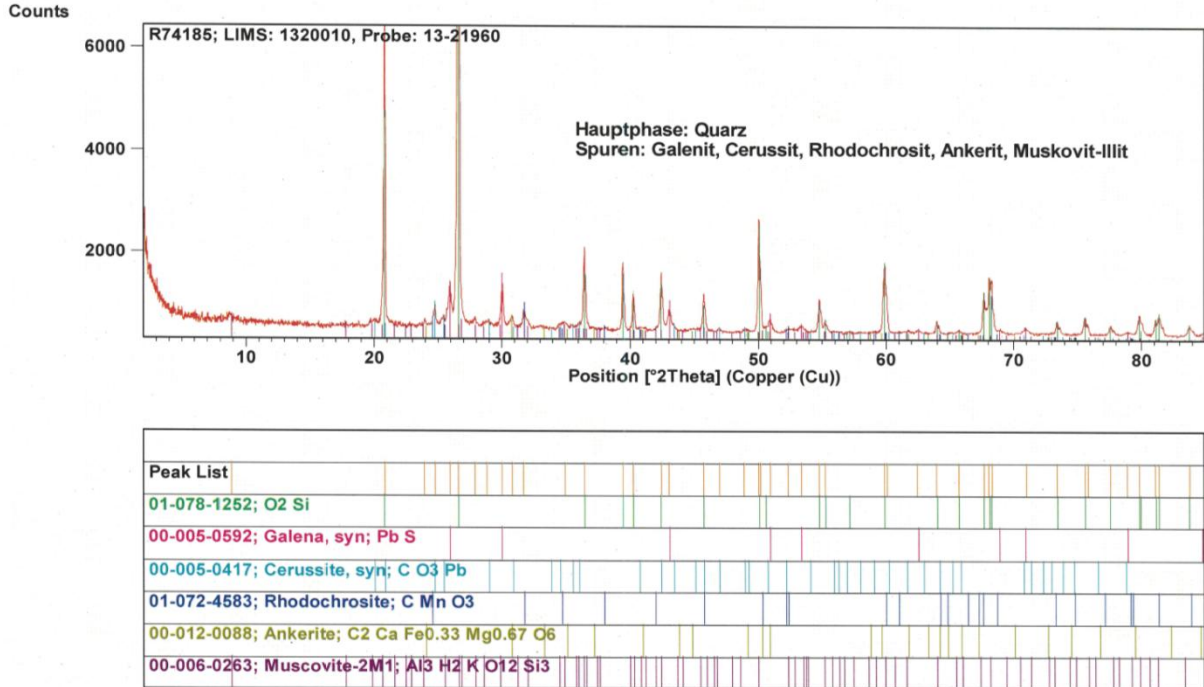


Abbildung 61: 0,1 - 0,3 mm Elektrostatische Sortierung V2 F+

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit

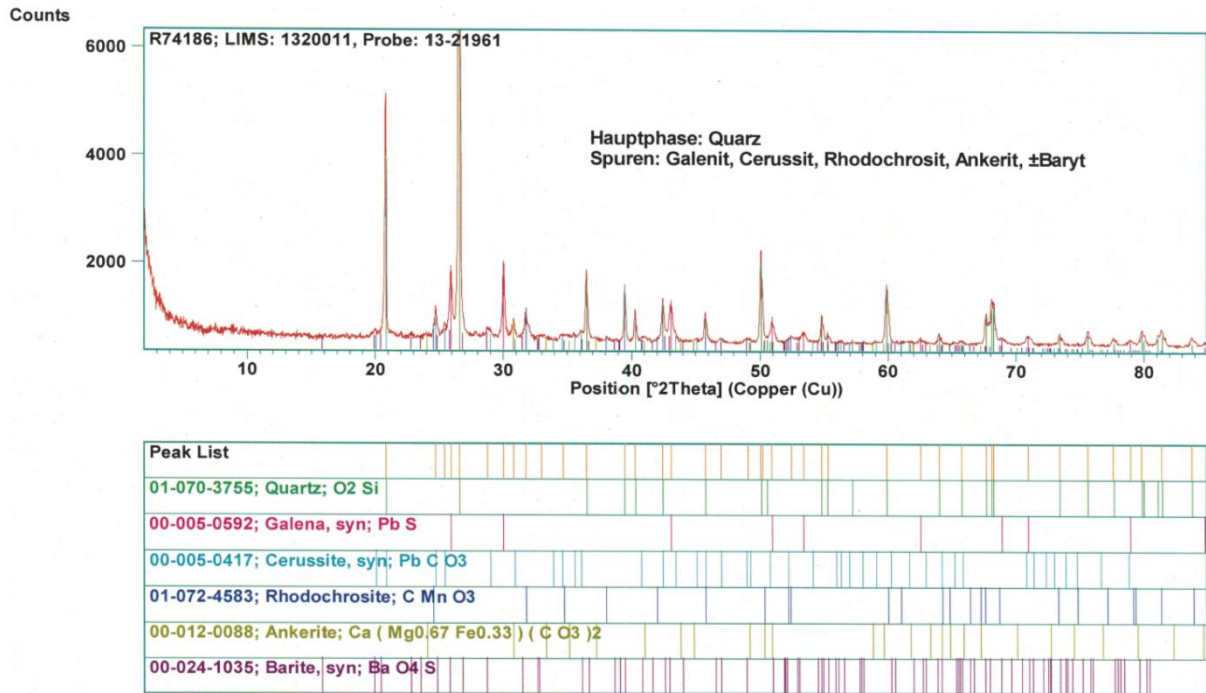


Abbildung 62: 0,1 - 0,3 mm Elektrostatische Sortierung V2 FM

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Baryt

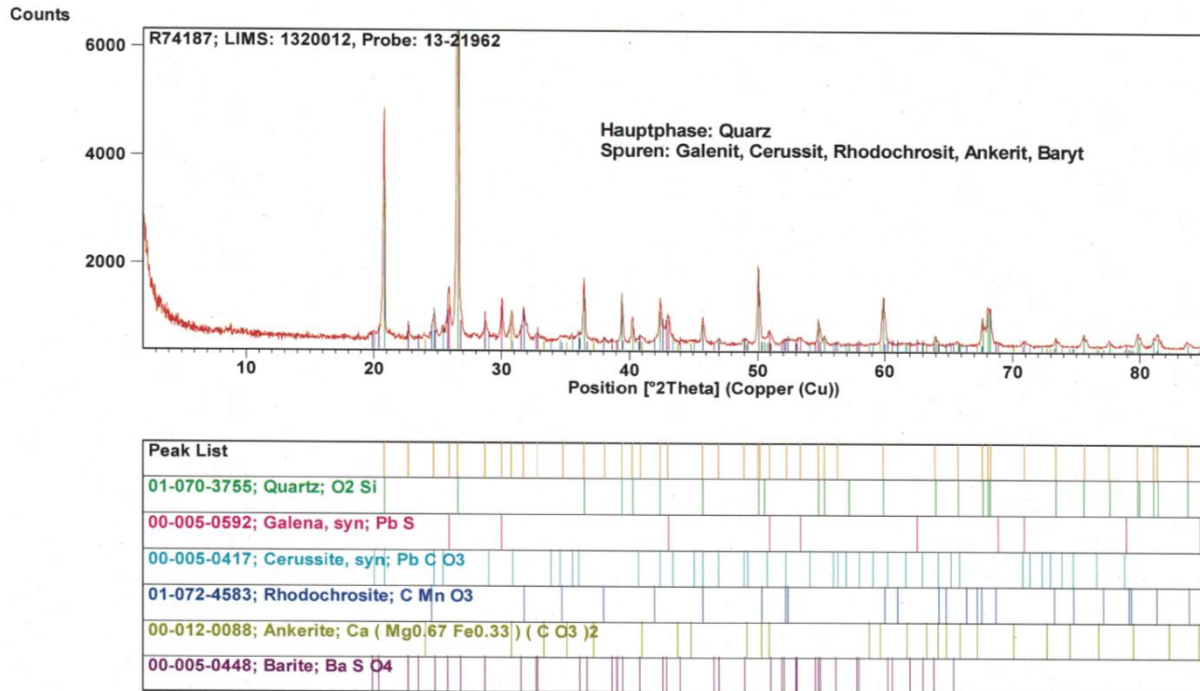


Abbildung 63: 0,1 - 0,3 mm Elektrostatische Sortierung V2 F-

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Baryt



Tabelle 65: Chemische Analyse des Materials nach der elektrostatischen Sortierung, Versuch V2, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V2 F+	13-21960	55	79	0,17	3,8	6,0	0,7	0,5
0,1 - 0,3 mm V2 FM	13-21961	23	71	0,13	2,9	9,4	1,2	0,6
0,1 - 0,3 mm V2 F-	13-21962	22	65	0,14	2,9	11	1,4	0,9

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V2 F+	13-21960	0,7	0,12	0,8	0,04	0,6	0,4	2,9	3,7
0,1 - 0,3 mm V2 FM	13-21961	1,1	0,11	0,6	0,03	1,0	1,2	5,2	5,3
0,1 - 0,3 mm V2 F-	13-21962	1,7	0,10	0,6	0,03	2,0	3,3	4,0	6,6

8.8.1.4.3 Versuch 4

V4-1

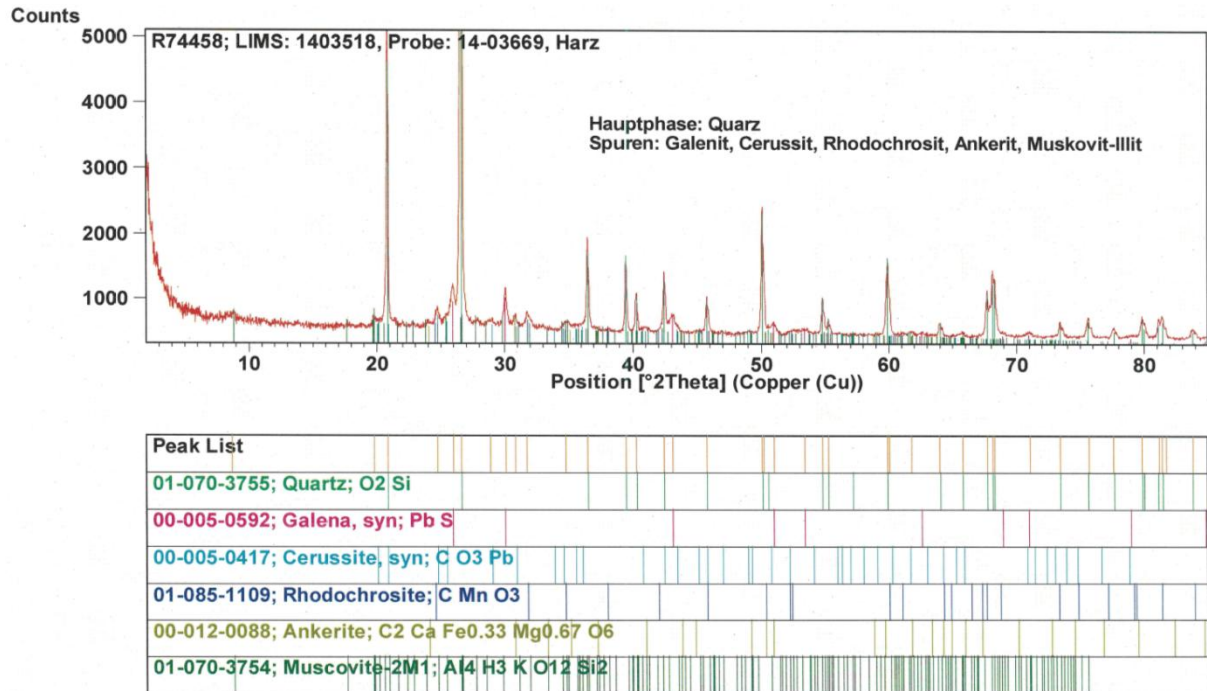


Abbildung 64: 0,1 - 0,3 mm, Elektrostatische Sortierung V4-1 F+

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit

V4-2

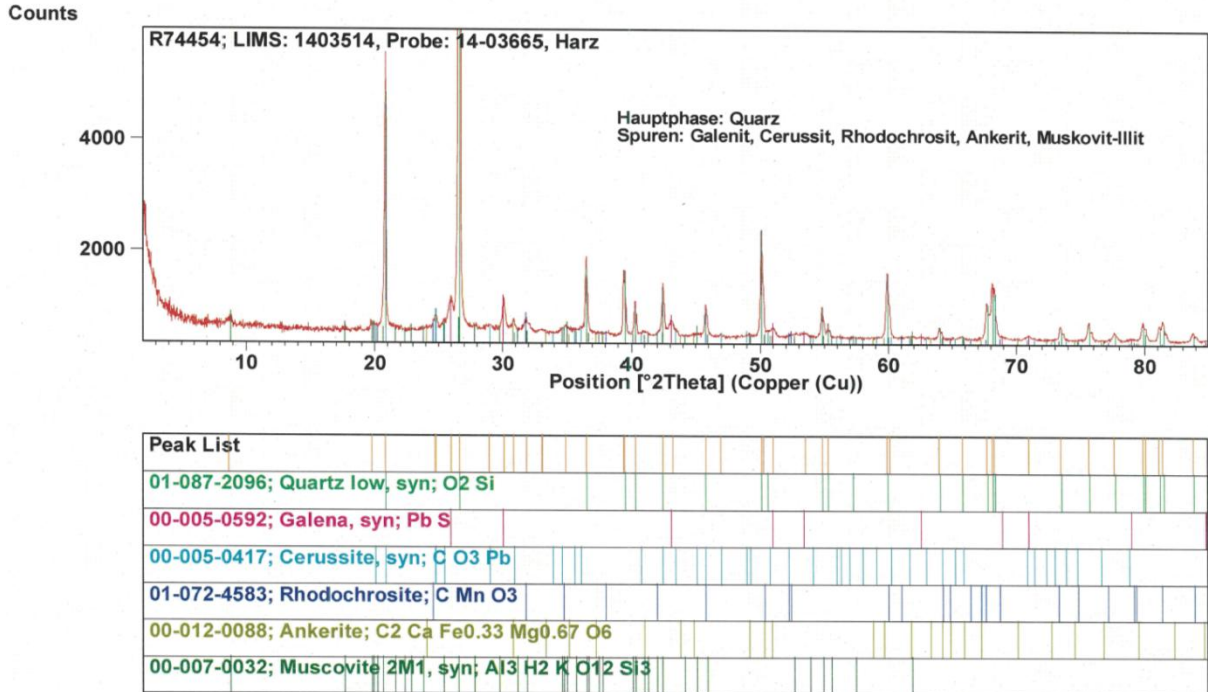


Abbildung 65: 0,1 - 0,3 mm, Elektrostatische Sortierung V4-2, F+

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit

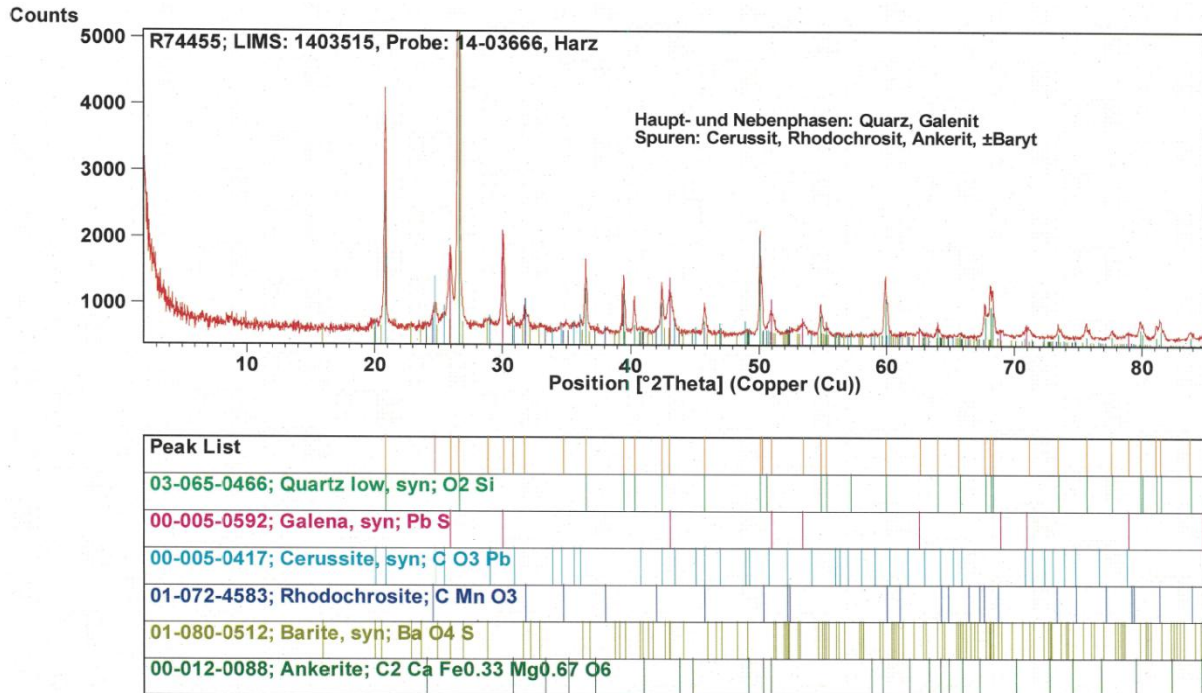


Abbildung 66: 0,1 - 0,3 mm, Elektrostatistische Sortierung V4-2, FM

Hauptbestandteil: Quarz

Nebenbestandteil: Galenit

Spuren:

- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- ±Baryt

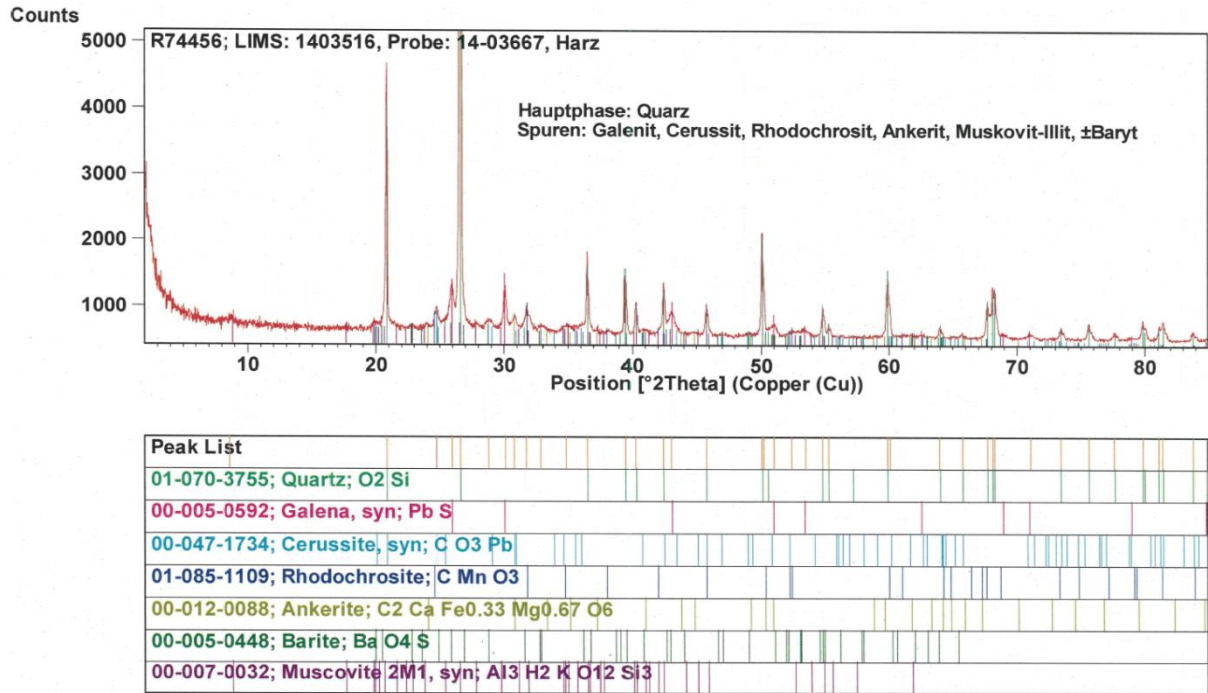


Abbildung 67: 0,1 - 0,3 mm, Elektrostatische Sortierung V4-2, F-

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Galenit
- Cerussit
- Rhodochrosit
- Ankerit
- Muskovit-Illit
- ±Baryt

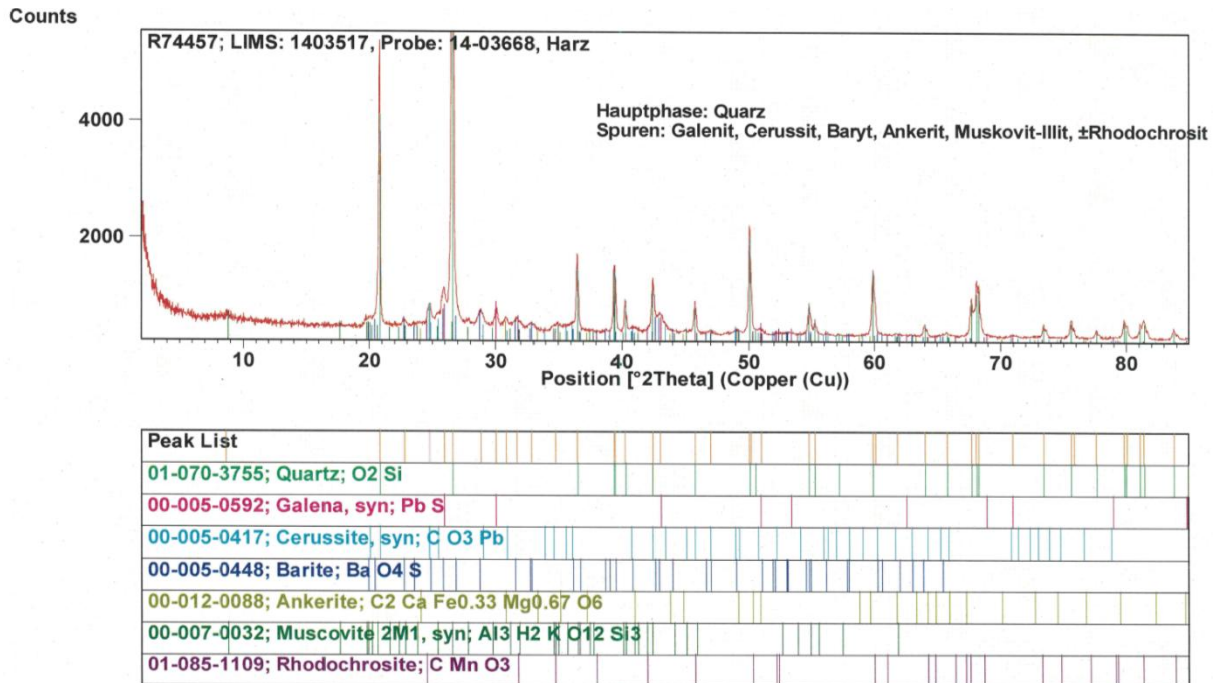


Abbildung 68: 0,1 - 0,3 mm, V4-2, Anhaftung an den Platten

Hauptbestandteil: Quarz

Spuren:

- Gläenit
- Cerussit
- Baryt
- Ankerit
- Muskovit-Illit
- ±Rhodochrosit



Tabelle 66: Chemische Analyse des Materials nach der elektrostatischen Sortierung, Versuch V4, gemessen mittels RFA und ICP

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO		
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	
0,1 - 0,3 mm V4.1 F+	14-03669	56	76	0,19	4,3	6,5	0,8	0,6		
0,1 - 0,3 mm V4.2 F+	14-03665	22	77	0,19	4,3	6,3	0,8	0,6		
0,1 - 0,3 mm V4.2 FM	14-03666	9	68	0,16	3,5	9,5	1,2	0,6		
0,1 - 0,3 mm V4.2 F-	14-03667	14	69	0,18	3,8	9,5	1,2	0,8		
0,1 - 0,3 mm V4.2 Anhaftung	14-03668		77	0,2	4,3	4,0	0,5	0,6		

Proben- bezeichnung	Proben- nummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1 - 0,3 mm V4.1 F+	14-03669	1,0	0,12	0,9	0,04	0,1	0,6	2,8	5,2
0,1 - 0,3 mm V4.2 F+	14-03665	1,0	0,11	0,9	0,04	0,1	0,5	2,8	5,1
0,1 - 0,3 mm V4.2 FM	14-03666	1,1	0,09	0,7	0,04	0,7	1,3	6,4	6,0
0,1 - 0,3 mm V4.2 F-	14-03667	1,3	0,12	0,8	0,04	0,3	1,5	3,9	6,8
0,1 - 0,3 mm V4.2 Anhaftung	14-03668	1,0	0,14	0,9	0,04	0,3	2,9	2,5	5,4



8.8.2 Elektrodynamische Zerkleinerung

8.8.2.1 Bandmagnetscheidung

Tabelle 67: Chemische Analyse des Materials nach der elektrodynamischen Zerkleinerung und Bandmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Selfrag 0,1-0,3 mm M1 NonMag 1-3	15-05704	80,1	90	0,10	2,2	1,08	0,08	0,18
Selfrag 0,1-0,3 mm M 1 Mag 3	15-05705	19,9	31	0,12	2,5	34	4,5	2,5

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Selfrag 0,1-0,3 mm M1 NonMag 1-3	15-05704	0,32	0,11	0,43	0,02	0,44	0,67	2,6	1,9
Selfrag 0,1-0,3 mm M 1 Mag 3	15-05705	4,7	0,05	0,40	0,04	1,0	0,47	2,0	17



8.8.2.2 Suspensionsmagnetscheidung

Tabelle 68: Chemische Analyse des Materials nach der elektrodynamischen Zerkleinerung und Suspensionsmagnetscheidung, gemessen mittels RFA und ICP

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm M1 NonMag 1	15-13186	34,8	91,21	0,060	1,55	0,17	0,011	0,04
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm M1 Mag	15-13187	65,2	59,97	0,230	4,34	12,63	1,575	1,33

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm M1 NonMag 1	15-13186	0,162	0,09	0,264	0,013	0,10	1,07	3,0	2,03
Robeha Selfrag 0,04-0,1mm M1 Mag	15-13187	2,425	0,15	0,890	0,046	1,15	0,93	5,3	8,42



8.9 Kombinierte Aufbereitungsversuche

8.9.1 Optimierte Magnetscheidung

8.9.1.1 Aufgabe Mag 3 0,1 – 0,3 mm (siehe Bandmagnetscheidung)

Tabelle 69: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.6 (FS100), gemessen mittels RFA und ICP.

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	
Feed Mag3		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	
0,1-0,3mm Flot.6 Konz	14-14818	59,9	33,2	0,10	2,06	33,4	4,6	1,7	
0,1-0,3mm Flot.6 Berge	14-14819	40,1	44,4	0,17	3,54	25,7	3,4	1,5	

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
Feed Mag3		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
0,1-0,3mm Flot.6 Konz	14-14818	3,0	0,02	0,38	0,03	0,84	0,85	4,3	14,7
0,1-0,3mm Flot.6 Berge	14-14819	2,6	0,08	0,70	0,05	0,73	0,66	3,7	12,0



8.9.1.2 Aufgabe Nonmag 0,1 – 0,3 mm (siehe Bandmagnetscheidung)

Tabelle 70: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.8 (FS2), gemessen mittels RFA und ICP.

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
Feed Nonmag 0,1-0,3mm Flot.8 Konz	14-14820	89	82	0,16	3,4	1,9	0,20	0,33

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO [MA.-%]	Na ₂ O [MA.-%]	K ₂ O [MA.-%]	P ₂ O ₅ [MA.-%]	SO ₃ [MA.-%]	BaO [MA.-%]	PbO [MA.-%]	LOI [MA.-%]
Feed Nonmag 0,1-0,3mm Flot.8 Konz	14-14820	0,52	0,14	0,70	0,03	1,0	2,1	3,7	3,2

Tabelle 71: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.9 (FS100), gemessen mittels RFA und ICP.

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield [MA.-%]	SiO ₂ [MA.-%]	TiO ₂ [MA.-%]	Al ₂ O ₃ [MA.-%]	Fe ₂ O ₃ [MA.-%]	MnO [MA.-%]	MgO [MA.-%]
Feed Nonmag 0,1-0,3mm Flot.9 Konz	14-14821	68	83	0,15	3,0	1,8	0,19	0,30
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 1	14-14822	6,8	79	0,34	7,5	2,1	0,18	0,45
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 2	14-14823	14	81	0,25	5,4	2,0	0,19	0,38
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 3	14-14824	4,2	81	0,31	6,7	2,0	0,18	0,42
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 4	14-14825	6,9	80	0,32	6,8	2,5	0,23	0,47



Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Feed Nonmag									
0,1-0,3mm Flot.9 Konz	14-14821	0,53	0,15	0,60	0,03	1,13	2,17	3,8	3,1
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 1	14-14822	0,43	0,16	1,7	0,06	0,50	0,79	2,5	3,6
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 2	14-14823	0,47	0,16	1,2	0,05	0,78	1,27	3,2	3,1
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 3	14-14824	0,44	0,17	1,5	0,06	0,55	0,84	2,5	3,3
0,1-0,3mm Flot.9 Berge 4	14-14825	0,53	0,18	1,5	0,06	0,43	0,50	2,7	3,5

Tabelle 72: Chemische Analyse des Materials nach den Flotationen Flot.17 (K2C, Stufe 1; FS100, Stufe2), gemessen mittels RFA und ICP.

Probenbezeichnung	Probennummer	Yield	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Feed Nonmag								
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 1	15-05698	39	94	0,02	0,7	0,4	0,03	0,03
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 2	15-05699	1,3	90	0,07	1,7	1,0	0,08	0,17
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Berge	15-05700	60	89	0,14	3,1	1,3	0,10	0,23

Probenbezeichnung	Probennummer	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	PbO	LOI
		[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]	[MA.-%]
Feed Nonmag									
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 1	15-05698	0,08	0,03	0,09	0,00	0,05	0,08	3,1	1,5
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Konz 2	15-05699	0,33	0,10	0,28	0,01	0,74	1,3	2,6	1,5
Selfrag 0,1-0,3 mm Flot 17 Berge	15-05700	0,34	0,16	0,62	0,03	0,41	0,49	1,9	1,7

9 Erfolgskontrollbericht

9.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms

Das Projekt „ROBEHA: Nutzung des Rohstoffpotentials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes“ ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Projekt, mit dem Förderschwerpunkt r³ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Strategisches Metalle und Mineralien. Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, die unterschiedlichen Aspekte des Haldenrückbaus aus rohstoffwirtschaftlicher und umweltbezogener Sicht zu einer Gesamtbewertung im Sinne der Nachhaltigkeit zusammenzuführen. Mit dem beantragten Forschungsvorhaben soll eine umfassende Bewertung von Bergbau- und Hüttenhalden möglich werden, für die einerseits aus rohstoffwirtschaftlicher Sicht und andererseits aus einer umweltbezogenen Betrachtung ein Haldenrückbau in Frage kommt. Durch die mögliche Übertragung der Ergebnisse auf Haldenstandorte in anderen Ländern sowie mit anderen Rohstoffinhalten erlangt das beantragte Forschungsvorhaben eine besondere Bedeutung.

Im Zuge der Aufbereitung sollen für die Nutzbarmachung der vorliegenden Materialien und der Gewinnung neuer Zielprodukte verschiedene Verfahren auf ihre spezifische Eignung in Kombination mit neu zu entwickelnden Prozessketten geprüft werden. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt für Dorfner ANZAPLAN in der Nutzbarmachung der Nichtmetallfraktion.

9.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse

Aufgrund der feinen Korngrößenverteilung der Halde ($D_{50} \approx 1 \text{ mm}$) wurden erste Versuche mittels sensorbasierte Sortierung, in diesem Fall der optischen Sortierung vor der elektrodynamischen Zerkleinerung gewählt. Andere sensorbasierte Sortiersysteme wie z.B. Röntgentransparenz (XRT), Röntgenfluoreszenz (XRF), Spektralempfindlichkeit im Nahinfrarotbereich (NIR) und elektromagnetische Eigenschaften (EM) konnten nicht getestet werden, da ihre Detektionsgrenze bei mindestens 5 mm liegt.

Eine Anreicherung der Nichtmetallfraktion mittels optischer Sortierung des Haldenmaterials Bergwerkswohlfahrt in der Fraktion $> 1 \text{ mm}$ konnte nachgewiesen werden.

Die elektrodynamische Zerkleinerung in der Fraktion $> 0,3 \text{ mm}$ liefert bessere Liberierungswerte im Vergleich zur konventionellen Zerkleinerung. Besonders hervorzuheben ist die Liberierung des Minerals Quarz. Dies weist bei der innovativen Konditionierung eine deutliche Reduzierung im Verwachsungsgrad auf. Dieser Effekt ist bei beiden gewählten Fraktionen $0,1 - 0,3 \text{ mm}$ und $0,04 - 0,1 \text{ mm}$ festzustellen. Diese Fraktionen wurden gewählt, da es sich dabei um typische Korngrößenverteilungen für den Einsatz in nichtmetallhaltigen Produkten, wie z.B. Quarzsand für die Glasproduktion handelt. Zusätzlich wurde eine Steigerung des Quarzgehaltes in den Zielfractionen erreicht. Der dritte positive Effekt der elektrodynamischen Zerkleinerung ist die Steigerung des Ausbringens in den Fraktionen $0,1 - 0,3 \text{ mm}$ und $0,04 - 0,1 \text{ mm}$. Alle drei Effekte führen zu einer Steigerung der Effizienz in den nachgeschalteten aufbereitungstechnischen Schritten.

Die nachfolgenden verfahrenstechnischen Prozesse wie Flotation, Elektrostatik, Nassherd und Magnetscheidung können die Gehalte der nichtmetallhaltigen Minerale zum Teil signifikant erhöhen. Hierbei sind

besonders die Suspensionsmagnetscheidung und die Flotation zu erwähnen. Mittels Magnetscheidung wird ein SiO₂ Gehalt von 91 Ma.-% (Fraktion 0,04 – 0,1 mm) erreicht und die Flotation verbessert den SiO₂ Wert auf 94 Ma.-% (Fraktion 0,1 – 0,3 mm). Beide Werte entsprechen noch nicht den Spezifikationen von hochwertigen Glasanwendungen.

Das primäre Ziel der Verwertung des aufbereiteten Materials in standardisierten mineralischen Nichtmetall Produkten konnte nicht erfüllt werden. Es wurden Produkte für folgende Minerale betrachtet: Quarz, Baryt und Dolomit. Für kein Mineral konnten die typischen Spezifikationen für marktfähige Produkte erzielt werden.

Als andere Verwertungsmöglichkeiten wurde jedoch die Nutzung des Materials als Sekundärrohstoff (rezyklierter Zuschlagstoff) in Betracht gezogen. Hierunter fallen unter anderem folgende Anwendungen: Asphaltgranulat, Betongranulat oder Mischabbruchgranulat.

Würde man das Pochsandhaldenmaterial als „rezyklierten Brechsand“ (≤ 4 mm) ansehen, so würde dieser nach der Aufbereitung nach DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ die Spezifikationen für die bis jetzt analysierten Parameter erfüllen.

Es gibt aber noch weitere Gesichtspunkte die betrachtet werden müssen. Für Blei im Feststoff gibt es laut dieser Norm keinen expliziten Grenzwert. So liegt aber der Gehalt für PbO durchschnittlich in der hier betrachteten Halde bei 5,9 Ma.-%. Mittels der durchgeführten Aufbereitung kann ein minimaler Wert von 1,3 Ma.-% erreicht werden. Dies könnte bei potentiellen Kunden zu einer erschwerten Abnahme führen. Laut LAGA und Eckpunktepapier ist ein maximaler Gehalt von 1.000 mg/kg Pb, also 1.077 mg/kg PbO erlaubt.

9.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

Als Verwertungsmöglichkeiten kann die Nutzung des Materials als Sekundärrohstoff (rezyklierter Zuschlagstoff) in Betracht gezogen werden. Hierunter fallen unter anderem folgende Anwendungen: Asphaltgranulat, Betongranulat oder Mischabbruchgranulat.

Würde man das Pochsandhaldenmaterial als „rezyklierten Brechsand“ (≤ 4 mm) ansehen, so würde dieser nach der Aufbereitung nach DIN 4226-100 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ die Spezifikationen für die bis jetzt analysierten Parameter erfüllen; die Verwendungsfähigkeit vor dem Hintergrund der erhöhten Bleigehalte im Feststoff müsste jedoch noch geklärt werden.

9.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine.

9.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Eine wichtige Tabelle, die für Verwerter in der Beton und Mörtel Industrie tätig sind, ist im Schlussbericht enthalten auf die hier verwiesen wird:

Tabelle 25: Chemische Analyse von Eluationsversuchen (S4 Eluat) verschieden aufbereiteter Fraktionen aus der Pochsandhalde Bergwerkswohlfahrt verglichen mit DIN 4226-100, gemessen mittels ICP

9.6 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Alle Ergebnisse wurden unter Einhaltung der vorgegebenen Ausgaben- und Zeitplanung erbracht.