

# **Optimierung des Schwerspat-/Flußspatausbringens in der Aufbereitungsanlage Wolfach der Sachtleben Bergbau GmbH**

Dipl.-Ing. Alfred Stadtschnitzer

Dissertation zur Erlangung des akademischen  
Grades eines Doktors der montanistischen  
Wissenschaften an der Montanuniversität Leoben

Eingereicht am 19. Mai 2010

1. Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Helmut Flachberger
2. Begutachter: Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Oskar Thalhammer

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Dipl.-Ing. Alfred Stadtschnitzer

Diese Arbeit wurde am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung (Leiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Helmut Flachberger) der Montanuniversität von Juni 2007 bis März 2010 durchgeführt.

# Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Reinhold Pigal und em.O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Hans Jörg Steiner, die die Anregung zu dieser Arbeit gegeben haben und mich stets mit wertvollen Ratschlägen und Hinweisen unterstützt haben.

Bei meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Helmut Flachberger und Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Oskar Thalhammer bedanke ich mich für die Unterstützung und Übernahme der wissenschaftlichen Betreuung und Begutachtung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung für deren Unterstützung bedanken, die sie mir im Laufe der Jahre zukommen haben lassen. Stellvertretend seien hier Herr Egbert Fuchs und Herr Dipl.-Ing. Paul Meissner genannt, die bei Versuchsaufbau und -durchführung entscheidend beteiligt waren. Bei Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Andreas Böhm bedanke ich mich für die anregenden, fachlichen Diskussionen.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Gerhard Schmelzer und Dipl.-Ing. Robert Mauerlechner für die freundliche Aufnahme in Wolfach und Unterstützung bei den Betriebsversuchen in der Anlage sowie bei Herr Dipl.-Ing. Georg Jehle für die Bereitstellung der Laborinfrastruktur vor Ort bedanken.

Der größte Dank gilt meiner liebsten Gerhild, die mich geduldig unterstützt und in angespannten Situationen immer die richtigen Worte gefunden hat.

# Kurzfassung

Die Flußspatverluste in den Bergen der Aufbereitungsanlage in Wolfach sind seit langem bekannt und waren bereits Gegenstand umfangreicher Untersuchungen einer ganzen Reihe an Forschungsinstitutionen. Im Fokus der bisherigen Untersuchungen standen zwei nach dem Merkmal der Dichte im Fliehkraftfeld arbeitende Tri-Flo-Scheider, die als Hauptverursacher für diese hohen Flußspatverluste galten.

Die Annahme, dass die Tri-Flo-Scheider oder deren Betriebsweise die hohen Flußspatverluste in den Bergen verursachen, konnte im Rahmen des gemeinsam von Sachtleben Bergbau GmbH und dem Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung der Montanuniversität Leoben im Rahmen der Dissertationsarbeit des Verfassers abgewickelten Forschungsprojektes widerlegt werden. Vielmehr konnte auf Basis einer sorgfältigen Charakterisierung des komplexen Mineralbestandes der eigentliche Grund für die Flußspatverluste ausgeforscht werden, der sich in einer z.T. ausgeprägten Porosität eines nicht unbeträchtlichen Anteils des Flußspates bemerkbar macht.

Die im Wesentlichen experimentell geprägten Untersuchungen gliederten sich in drei Bereiche, in die Betriebsversuche in der Schwertrübeanlage, die Untersuchungen zur Feinkorndichtesortierung und die Suche nach alternativen Sortierverfahren.

Die Betriebsversuche in der Schwertrübeanlage in Wolfach – ergänzt durch systematische Untersuchungen im Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung – sollten Aufschlüsse über die Trennaggregate – die beiden Tri-Flo-Scheider – und deren Einflüsse auf die zu verarbeitenden Roherze geben.

Die Untersuchungen zur Feinkorndichtesortierung begleiteten den Einbau einer Wendelscheideranlage im Werk, um auch im Korngrößenbereich  $< 1,6$  mm eine Vorsortierung der Roherze möglich zu machen. Dabei wurde in den Untersuchungen auch die Rohgutvorbereitung durch Stromklassierung behandelt.

Der dritte Untersuchungsblock umfasste die Suche nach möglichen alternativen Trennverfahren, die nicht das Trennmerkmal „Dichte“ ausnutzen, da die Untersuchungen zur Porosität des Flußspats zeigten, dass bei jeglicher Form der Dichtesortierung z.T. beträchtliche Flußspatverluste in den Bergen in Kauf genommen werden müssen.

Als selektivstes alternatives Verfahren im Vergleich zu Feinkorndichtesortierung und Schwertrübescheidung stellte sich die Elektroscheidung heraus, mit der es gelang, hochwertige Schwespatprodukte und praktisch wertmineralfreie Bergprodukte herzustellen. Mit diesem Verfahren können auch die porösen Flußspatanteile der Roherze in Konzentrate überführt werden, sodass mit

den Ergebnissen dieser Arbeit nicht nur der Grund der Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung aufgedeckt wurde, sondern auch ein möglicher Lösungsansatz für dieses Problem präsentiert werden kann.

# Abstract

The fluorite losses in the tailings of the processing plant in Wolfach, Germany, have been known for a long time and were the aim of numerous investigations accomplished by many research institutions. These investigations focused mainly on the centrifugal force density separators, i.e. Tri-Flo-separators, which were blamed for the fluorite losses so far.

Within the scope of a joint project between Sachtleben Bergbau GmbH (Ltd) and the Department of Mineral Processing of the University of Leoben the detailed investigations accomplished in this thesis disproved the assumption that either the separator itself or its operational mode causes the fluorite losses. In fact, an accurate characterisation of the mineralogical composition indicated that the partly highly developed porosity, which could be observed in a considerable part of the fluorite, was the reason for the fluorite losses.

The mainly experimental investigations were divided into three parts of test work, the field tests in the dense media separation plant, the gravity separation tests and the search for alternative separation methods.

The field tests in the dense media separation plant in Wolfach together with systematic investigations at the laboratory of the Department of Mineral Processing should give information about the separation devices – i.e. two Tri-Flo-separators – and their influence on the processed ores.

The gravity separation tests including feed preparation by classification were accomplished as well as the implementation of a spiral separation plant in the processing plant to ensure a pre-sorting of the material with a grain size smaller than 1.6 mm.

The third part contained the search for alternative separation methods, which do not use density differences for separation, because the investigations concerning the porosity of the fluorite showed that any density separation will implicate fluorite losses in the tailings.

Electrostatic separation was found to be the best alternative method in contrast to the gravity and dense media separation. By this method, high grade barite and fluorite products and tailings without mentionable losses could be produced. Furthermore, the porous fluorite can be recovered by this separation method. Therefore, in addition to the discovery of the cause of the fluorite losses, a possible solution for this problem could be presented.

---

# Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung .....	1
1.1.	Ausgangslage .....	1
1.2.	Herausforderungen aus betrieblicher Sicht .....	1
1.2.1.	Klärung der Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung .....	2
1.2.2.	Untersuchungen zur Feinkorndichtesortierung .....	2
1.2.3.	Einsatz alternativer Sortierverfahren .....	2
2.	Zusammenfassung .....	3
2.1.	Erklärungen für die Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung .....	4
2.2.	Möglichkeiten der Feinkorndichtesortierung .....	5
2.2.1.	Verbesserungen durch Stromklassierung .....	6
2.3.	Potentiale alternativer Sortierverfahren .....	7
3.	Geologie, Roherztypen, Anlagenbeschreibung und Produktstrombezeichnungen .....	9
3.1.	Überblick über die Geologie der Grube Clara bei Oberwolfach [1] .....	9
3.2.	Abbau der Erze in der Grube Clara .....	10
3.3.	Roherztypen .....	11
3.3.1.	Schwerspaterze .....	11
3.3.2.	Flußspaterze .....	12
3.4.	Beschreibung der Aufbereitungsanlage in Wolfach .....	12
3.4.1.	Bergevorabscheidung und Vorkonzentratherstellung .....	13
3.4.1.1.	Roherzzwischenlager .....	13
3.4.1.2.	Zerkleinerung .....	13
3.4.1.3.	Schwertrübescheidung .....	13
3.4.1.4.	Feinkorndichtesortierung .....	15
3.4.2.	Flotation .....	15
3.4.2.1.	Flußspatflotation .....	15
3.4.2.2.	Schwerspaterflotation .....	16
3.4.2.3.	Sulfidflotation .....	16

---

3.4.2.4. Füllstoffflotation .....	16
3.4.3. Mahlung nach Trocknung .....	16
3.5. Produktströme der Aufbereitungsanlage .....	17
3.5.1. Produkte der Schwertrübescheidung.....	17
3.5.2. Produkte der Feinkornaufbereitung.....	18
4. Nachweis der Porosität und deren Auswirkungen .....	19
4.1. Erste Anhaltspunkte und Hinweise .....	19
4.2. Bestimmung der Porosität .....	20
4.2.1. Bestimmung der Porosität mit der Einhängemethode .....	21
4.2.2. Bestimmung der Porosität mit Hilfe von Anschliffen .....	21
4.2.2.1. Anschliff von Körnern größer 8 mm (Schliff Nr. 875).....	22
4.2.2.2. Anschliff der Dichteklasse 2,72/3,32 g/cm <sup>3</sup> (Schliff Nr. 878) .....	23
4.2.2.3. Anschliff eines Klaubeproduktes aus der Dichteklasse < 2,72 g/cm <sup>3</sup> aus den Bergen (Schliff Nr. 880) .....	25
4.2.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Anschliffuntersuchungen .....	26
4.2.3. Bestimmung der Porosität durch Pyknometermessungen .....	26
4.2.3.1. Bestimmung der geschlossenen Porosität.....	26
4.2.3.2. Bestimmung der geschlossenen Porosität an Klaubeprodukten aus den Bergen < 2,7 g/cm <sup>3</sup> .....	28
4.2.3.3. Detaillierte Untersuchungen an Bergeproben .....	28
4.2.4. Vergleichsmessungen mit einem Quecksilberporosimeter.....	33
4.3. Untersuchungen zum Aufschlussverhalten der Porosität .....	34
4.3.1. Schwimm-Sink-Analysen der unzerkleinerten Proben.....	35
4.3.2. Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen der zerkleinerten Kornklassen.....	36
4.3.3. Zusammenfassung der Ergebnisse des Aufschlussverhaltens der Porosität .....	36
4.4. Untersuchungen an Dünnschliffen von Flußspatkörnern .....	37
4.5. Auswirkungen der Porosität auf die Dichtesortierung .....	39
5. Untersuchungen zur Schwertrübescheidung .....	40
5.1. Theoretische Aspekte der Schwertrübescheidung [4] .....	40
5.1.1. Anforderungen an Schwerstoffe .....	40

---

5.1.2.	Anforderungen an Schwertrüben.....	41
5.1.3.	Trübestabilität .....	41
5.1.4.	Trübeviskosität .....	41
5.1.5.	Spezielle Auswirkungen des Fliehkraftfeldes auf die Schwertrübe .....	42
5.2.	Der Tri-Flo-Scheider .....	44
5.2.1.	Entwicklung des Tri-Flo-Scheiders .....	44
5.2.1.1.	Strömungsverhältnisse im Tri-Flo-Scheider .....	46
5.2.1.2.	Einflüsse der Kornform auf das Trennergebnis .....	46
5.2.2.	Möglichkeiten zur Modifikation der Bedingungen in den Kammern.....	47
5.2.2.1.	Eine Aufgabetrübedichte .....	47
5.2.2.2.	Zwei Aufgabetrübedichten.....	47
5.2.3.	Betriebserfahrungen mit dem Tri-Flo-Scheider .....	48
5.2.3.1.	Der Tri-Flo-Scheider als 2-Produkte-Sortierer.....	49
5.2.3.2.	Der Tri-Flo-Scheider als 3-Produkte-Sortierer.....	50
5.2.3.3.	Tri-Flo-Scheider in der Kohleaufbereitung [7] .....	50
5.2.3.4.	Einsatz in der Aufbereitungsanlage Wolfach .....	50
5.2.4.	Vorteile des Tri-Flo-Scheiders gegenüber anderen dynamischen Aggregaten der Schwertrübescheidung .....	51
5.2.4.1.	Erreichte Trennschärfen.....	51
5.2.4.2.	Kapazitäten und Kornspannen.....	52
5.3.	Analytik .....	53
5.3.1.	Bestimmung der Trübedichte im Betrieb .....	53
5.3.2.	Chemische Analysen .....	53
5.3.2.1.	Einfluss von Beton auf das Analysenergebnis .....	54
5.3.3.	Schwimm-Sink-Analysen.....	54
5.3.4.	Probenahme.....	55
5.3.4.1.	Probenahme der Schwertrüben .....	55
5.3.4.2.	Probenahme der Aufgabe und Produkte des Tri-Flo-Scheiders .....	55
5.4.	Untersuchungen der Schwertrübe .....	57

---

5.4.1.	Untersuchungen der Schwerstoffe.....	57
5.4.2.	Bestimmung der Trübeviskosität [14] .....	59
5.4.3.	Bestimmung der Trübestabilität [14] .....	60
5.4.4.	Bestimmung des Anteils an unmagnetischen Bestandteilen.....	62
5.4.5.	Untersuchungen zum Entmischungsverhalten der Schwerstoffmischung im Tri-Flo-Scheider .....	62
5.4.6.	Zusammenfassung der Trübeuntersuchungen .....	63
5.5.	Untersuchungen an Mischungen der Flußspaterze.....	63
5.5.1.	Einfluss des Aufgabedruckes auf das Sortierverhalten des Tri-Flo-Scheiders.....	64
5.5.2.	Untersuchungen durch Klaubung und Schwimm-Sink-Analyse an einer Flußspatmischprobe vom 10.8.2007 .....	65
5.6.	Tastversuch zur Korngrößenabhängigkeit der Flußspatverluste am Schwerspaterz.....	68
5.7.	Untersuchungen an unvermischten Roherzen bei unterschiedlichen Drücken der Aufgabetrübe .....	69
5.7.1.	Untersuchung des Erztyps Diagonaltrum.....	70
5.7.2.	Untersuchung des Erztyps Grün .....	73
5.7.3.	Untersuchung des Schwerspaterzes.....	76
5.7.4.	Zusammenfassung der Untersuchungen an unvermischten Erzen bei unterschiedlichem Druck der Aufgabetrübe .....	79
5.8.	Versuche bei verringerter Trübedichte .....	79
5.8.1.	Untersuchung der Spreizung bei geringerer Trübedichte .....	79
5.8.2.	Untersuchung am Flußspaterz Grün bei einer Aufgabetrübedichte von 2,57 g/cm <sup>3</sup> .....	80
5.8.3.	Untersuchung am Flußspaterz Grün bei einer Aufgabetrübedichte von 2,51 g/cm <sup>3</sup> .....	82
5.8.4.	Zusammenfassung der Ergebnisse bei geringerer Trübedichte .....	83
5.9.	Versuche mit umgekehrter Sortierreihenfolge.....	84
5.9.1.	Versuche am Flußspaterz Grün.....	85
5.9.2.	Versuche am Schwerspaterz .....	86
5.9.3.	Zusammenfassung der Versuche mit umgekehrter Sortierreihenfolge .....	87
5.10.	Ermittlung der Teilungszahlen.....	87
5.10.1.	Ermittlung der Teilungskurven für das Flußspaterz Diagonaltrum .....	87

---

5.10.2.	Ermittlung der Teilungskurven für das Flußspaterz Grün.....	88
5.10.3.	Zusammenfassung der Bestimmung der Teilungszahlen .....	89
5.11.	Zusammenfassung der verschiedenen Versuchsreihen .....	90
5.12.	Ergebnisse und Schlüsse aus den Untersuchungen der Schwertrübescheidung.....	91
6.	Feinkorndichtesortierung.....	93
6.1.	Theoretische Aspekte der Feinkorndichtesortierung .....	93
6.1.1.	Bewertung der Sortierbarkeit [17].....	93
6.1.2.	Rohgutvorbereitung .....	94
6.2.	Laboruntersuchungen .....	96
6.2.1.	Versuchsaufbau .....	96
6.2.2.	Versuche zur Abscheidung von reinen Schwespat- und Bergeprodukten .....	97
6.2.3.	Auswertung von Wendelscheiderversuchen nach Korn- und Dichteklassen.....	100
6.2.4.	Stromklassierung zur Verbesserung der Produkte und des Ausbringens .....	103
6.2.5.	Stromklassiersversuche an unvermischten Roherzen .....	107
6.2.5.1.	Beschreibung des Versuchsaufbaues.....	107
6.2.5.2.	Ergebnisse der Klassiersversuche .....	109
6.2.6.	Ergebnisse der Wendelscheiderversuche.....	111
6.2.6.1.	Ergebnisse der Sortiersversuche an den Stromklassen des Schwespatertes .....	111
6.2.6.2.	Ergebnisse der Sortiersversuche an den Stromklassen des Flußspaterzes Grün ....	112
6.2.6.3.	Ergebnisse der Sortiersversuche an den Stromklassen d es Fluß spaterzes Diagonaltrum .....	114
6.2.7.	Beurteilung der Verbesserung des Trennerfolges durch die Stromklassierung.....	115
6.3.	Implementierung einer Wendelscheideranlage .....	115
6.3.1.	Betriebsergebnisse.....	116
6.3.1.1.	Detaillierte Untersuchung eines Versuches mit dem Flußspaterztyp Diagonaltrum.	119
6.4.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Feinkorndichtesortierung.....	121
7.	Prüfung des Einsatzes alternativer Sortierverfahren .....	122
7.1.	Elektroscheidung .....	122
7.1.1.	Versuche mit triboelektrischen Verfahren .....	122

7.1.1.1.	„Triboelektrische“ Sortierung am Walzenscheider Typ Carpco .....	123
7.1.1.2.	Triboelektrische Sortierung von entstaubten Sandproben .....	123
7.1.1.3.	Triboelektrische Sortierung von zerkleinerten Bergeproben .....	129
7.1.2.	Versuche mit Corona-Scheidung.....	131
7.1.2.1.	Versuch zur Verringerung des SiO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Corona-Scheidung .....	131
7.1.2.2.	Versuch zur Abtrennung von Sulfiden aus einem Schwespatprodukt eines Wendelscheiderversuches.....	132
7.1.2.3.	Nachreinigung eines flußspatreichen Produktes eines triboelektrischen Sortierers.	133
7.1.3.	Zusammenfassung und Bewertung der Elektroscheidungsversuche .....	133
7.2.	Magnetscheidung .....	134
7.2.1.	Theoretischer Ansatz.....	134
7.2.2.	Magnetscheideversuche an trockenen Bergeproben .....	135
7.2.2.1.	Magnetscheideversuch an der Kornklasse 4/2 mm einer Bergeprobe .....	135
7.2.2.2.	Magnetscheideversuch mit der Kornklasse 4/2 mm nach zusätzlicher Behandlung mit Schwertrübe .....	136
7.2.2.3.	Magnetscheideversuch mit der Kornklasse 4/2 mm nach zusätzlicher Behandlung mit Ölsäure und Schwertrübe.....	136
7.2.2.4.	Magnetscheideversuch mit der Kornklasse 2/1 mm .....	137
7.2.3.	Untersuchungen unter betriebsnahen Bedingungen .....	137
7.2.3.1.	Vergleichsversuch an einer trockenen Bergeprobe .....	138
7.2.3.2.	Magnetscheideversuch mit einer feuchten Bergeprobe .....	139
7.2.3.3.	Magnetscheideversuch mit einer nassen Bergeprobe .....	139
7.2.4.	Zusammenfassung der Möglichkeiten einer Bergerückgewinnung mittels Magnetscheidung.....	140
7.3.	Untersuchungen zum Bereich der sensorgestützten Sortierung .....	140
7.3.1.	Betrachtung ausgewählter Proben unter UV-Licht .....	141
7.3.2.	Sortierung mittels Röntgentransmission an der Grobfraction des Waschsiebes .....	142
7.3.3.	Farbsortierung an der Grobfraction des Waschsiebes .....	143
7.4.	Bewertung der alternativen Sortierverfahren .....	144
8.	Literaturverzeichnis .....	146

---

9.	Anhang .....	148
A.	Anhang: Geologie und Anlagenbeschreibung.....	A-1
B.	Anhang: Nachweis der Porosität und deren Auswirkungen.....	B-1
C.	Anhang: Untersuchungen der Schwertrübescheidung.....	C-1
D.	Anhang: Feinkorndichtesortierung.....	D-1

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flußspatkorn in einem Anschliff mit einer Porenfläche (silber) von 37 % .....	4
Abbildung 2: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 1,4 bar, 2,66 g/cm <sup>3</sup> .....	4
Abbildung 3: Porosität und CaF <sub>2</sub> -Gehalt von Dichteklassen einer Bergeprobe, Flußspaterz Grün, 2/1 mm .....	5
Abbildung 4: Versuchsergebnisse der Schwertrübescheidung und der Elektroscheidung im Kappa-Netz .....	8
Abbildung 5: Saigerriss der Grube Clara .....	10
Abbildung 6: Grundriss der Teilsohle 12.2.....	11
Abbildung 7: Stammbaum der Aufbereitungsanlage Wolfach, Schwerspatfahrweise [3] .....	14
Abbildung 8: Angeschliffenes Flußspatkorn, Einfärbung mit Permanentmarker .....	22
Abbildung 9: Einfärbung der Poren mit Lackstift, erhöhte Farbintensität .....	23
Abbildung 10: Anschliff der Korngrößenklasse 2/1mm, 2,74/3,32 g/cm <sup>3</sup> .....	24
Abbildung 11: Vergrößerter Teilbereich .....	24
Abbildung 12: Auswertung der Poren an Korn Nr.1 aus Abbildung 11.....	25
Abbildung 13: Körner mit großen Porenflächen aus Schliff Nr. 880.....	26
Abbildung 14: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, 2/1 mm.....	30
Abbildung 15: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, 6,3/4 mm.....	32
Abbildung 16: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, Diagonaltrum, 2/1 mm .....	33
Abbildung 17: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, Grün, 2/1 mm.....	33
Abbildung 18: Poren im Korn aus dem Flußspaterz Grün .....	37
Abbildung 19: Viskositätskurven zweier Trüben mit unterschiedlichem Verhältnis von Magnetit zu Ferrosilizium.....	42
Abbildung 20: Darstellung der Abhängigkeit der Spreizung vom Aufgabedruck der Trübe .....	43
Abbildung 21: Schematische Darstellung eines Tri-Flo-Scheiders [9] .....	45
Abbildung 22: Darstellung der verbesserten Trennschärfe durch den zweistufigen Tri-Flo-Scheider... ..	46
Abbildung 23: Darstellung der Trüberegeneration für zwei Trübedichten [13] .....	48
Abbildung 24: Verbesserung der Flußspataufbereitung durch den Einsatz eines Tri-Flo-Scheiders .....	51

Abbildung 25: Abwurf des Enttrübungssiebes der Bergevorabscheidung .....	56
Abbildung 26: Probenahmestelle Konzentrat der Bergeabscheidung .....	56
Abbildung 27: Probenahme der Aufgabe beim Abwurf des Waschsiebes .....	57
Abbildung 28: Korngrößenverteilungen der Schwerstoffe .....	59
Abbildung 29: Ergebnisse der Viskositätsbestimmungen im Vergleich zu Literaturwerten [5] .....	60
Abbildung 30: Ergebnisse der Stabilitätsbestimmungen.....	61
Abbildung 31: Vergleich der Stabilität mit Werten aus [5] .....	61
Abbildung 32: Abhängigkeit der Spreizung vom Druck bei unterschiedlichen Durchmessern des Leichtgutaustrags .....	64
Abbildung 33: Flußspatgehalt in den Bergen in Abhängigkeit des Druckes der Arbeitstrübe und des Unterlaufdurchmessers .....	65
Abbildung 34: Vergleich der Flußspatgehalte in Aufgabe und Berge .....	65
Abbildung 35: Korngrößenverteilung der Aufgabe und der Trennprodukte, Flußspaterz Diagonaltrum	71
Abbildung 36: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Diagonaltrum, 1,4 bar, 2,70 g/cm <sup>3</sup> .....	72
Abbildung 37: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Diagonaltrum, 1,8 bar, 2,70 g/cm <sup>3</sup> .....	72
Abbildung 38: Korngrößenverteilung der Aufgabe und der Trennprodukte, Flußspaterz Grün.....	74
Abbildung 39: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 1,4 bar, 2,66 g/cm <sup>3</sup> .....	75
Abbildung 40: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 1,8 bar, 2,69 g/cm <sup>3</sup> .....	75
Abbildung 41: Korngrößenverteilung der Aufgabe und der Trennprodukte, Flußspaterz Schwerspaterz .....	77
Abbildung 42: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Schwerspaterz, 1,4 bar, 2,69 g/cm <sup>3</sup> .....	78
Abbildung 43: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Schwerspaterz, 1,8 bar, 2,71 g/cm <sup>3</sup> .....	78
Abbildung 44: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 2,57 g/cm <sup>3</sup> .....	82
Abbildung 45: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 2,51 g/cm <sup>3</sup> .....	84
Abbildung 46: Darstellung der Teilungskurven, Erztyp Diagonaltrum .....	88
Abbildung 47: Darstellung der Teilungskurven, Erztyp Grün .....	89
Abbildung 48: Darstellung der Flußspatgehalte in den Bergen in Abhängigkeit des Aufgabegehaltes .	90
Abbildung 49: Unterschiedliches Klassierverhalten von Siebung und Stromklassierung .....	95

---

Abbildung 50: Effekt der Stromklassierung auf das Sortierverhalten eines Wendelscheiders .....	95
Abbildung 51: schematische Darstellung des Versuchsaufbaues [18] .....	96
Abbildung 52: Abbildung des Produktaustrages und der Prozesswasserrückgewinnung .....	97
Abbildung 53: Korngrößenverteilungen bei unterschiedlicher Rohgutvorbereitung, Flußspatsande.....	98
Abbildung 54: Korngrößenbezogenes Dichteklassenausbringen, BaSO <sub>4</sub> 30 .....	102
Abbildung 55: Korngrößenbezogenes Dichteklassenausbringen, CaF <sub>2</sub> 10/36, SSA .....	103
Abbildung 56: Stromklassierer Typ RICHARDS, Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung .....	104
Abbildung 57: Korngrößenverteilungen der Stromklassen, RICHARDS .....	104
Abbildung 58: Korngrößenbezogenes Dichteklassenausbringen, Stromklasse 3 , RICHARDS .....	106
Abbildung 59: Schematische Darstellung des kontinuierlichen Klassiersystems .....	107
Abbildung 60: Aufgabetrichter mit Dichtemesssonde .....	108
Abbildung 61: Eindickeranlage zur Feingutrückgewinnung.....	109
Abbildung 62: Vergleich der Korngrößenverteilungen der Klassierprodukte, Schwerspaterz, Flußspaterz Grün.....	109
Abbildung 63: Wendelscheideranlage, Aufgabeseite .....	116
Abbildung 64: Wendelscheideranlage, Austragsseite.....	116
Abbildung 65: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Betriebsversuch Wolfach, Diagonaltrum...	120
Abbildung 66: Graphische Darstellung der Inhaltsverteilung auf die Produkte .....	129
Abbildung 67: Proben unter Normallicht .....	141
Abbildung 68: Proben unter UV-Licht .....	141
Abbildung 69: Versuchsergebnisse der Feinkorndichtesortierung und der Elektroscheidung im Kappa- Netz, Schwerspatabscheidung .....	144
Abbildung 70: Versuchsergebnisse der Feinkorndichtesortierung und der triboelektrischen Sortierung im Kappa-Netz, Bergeabscheidung.....	145

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bilanztafel eines Wendelscheiderversuches, CaF <sub>2</sub> 10/36.....	6
Tabelle 2: Bilanztafel des Wendelscheiderversuches, Flußspaterz Grün, Grobgut 2 .....	7
Tabelle 3: Massen der Korngrößenklassen nach der Schwimm-Sink-Analyse und laut Korngrößenverteilung, Grün 1,4 bar.....	20
Tabelle 4: Massen der Korngrößenklassen nach der Schwimm-Sink-Analyse und laut Korngrößenverteilung, Schwerspaterz 1,4 bar .....	20
Tabelle 5: Massen der Korngrößenklassen nach der Schwimm-Sink-Analyse und laut Korngrößenverteilung, Diagonaltrum 1,8 bar.....	21
Tabelle 6: Auswertung der in Abbildung 11 dargestellten Körner .....	25
Tabelle 7: Ergebnisse der Dichtebestimmung und der Bestimmung der geschlossenen Porosität der Dichteklassen 2,74/3,32 g/cm <sup>3</sup> .....	27
Tabelle 8: Ermittlung der geschlossenen Porosität, Klaubeprodukte < 2,72 g/cm <sup>3</sup> .....	28
Tabelle 9: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, 2/1 mm .....	29
Tabelle 10: Nasschemische Analyse der Dichteklassen, 2/1 mm.....	30
Tabelle 11: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, 6,3/4 mm.....	31
Tabelle 12: Vergleichsmessungen der Porosität in [%], GeoPyc - Quecksilberporosimetrie .....	34
Tabelle 13: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse der unzerkleinerten Probe .....	35
Tabelle 14: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse der Kornklasse 1/0 mm .....	35
Tabelle 15: Zusammenfassung der Schwimm-Sink-Analyse der einzelnen Korngrößenklassen.....	36
Tabelle 16: Durchschnittswerte der Ergebnisse der Mikrosondenuntersuchung, Flußspaterz Grün .....	38
Tabelle 17: Durchschnittswerte der Ergebnisse der Mikrosondenuntersuchung, Diagonaltrum .....	38
Tabelle 18: Ergebnisse der Dichtebestimmung zur Untersuchung der Sortierwirkung eines im Zentrifugalkraftfeld betriebenen Schwertrübescheiders auf eine Schwerstoffmischung .	43
Tabelle 19: Zeitliche Abfolge von Inbetriebnahmen von Tri-Flo-Scheideranlagen laut Literaturstellen	49
Tabelle 20: Daten verschiedener Tri-Flo-Scheider-Modelle.....	52
Tabelle 21: Überprüfung der Dichtewaage mit der Pyknometermethode.....	53
Tabelle 22: Chemische Analyse, Aufgabe Diagonaltrum vom 9.11.2007.....	54
Tabelle 23: Chemische Untersuchung einer Betonprobe.....	54

---

Tabelle 24: Ergebnisse der Dichtebestimmung der Schwerstoffe.....	58
Tabelle 25: Ergebnisse der Siebanalysen der Schwerstoffe.....	58
Tabelle 26: Bestimmung der magnetischen und unmagnetischen Bestandteile der Betriebstrübe.....	62
Tabelle 27: Entmischungsverhalten der Schwerstoffmischung im Tri-Flo-Scheider .....	63
Tabelle 28: Bilanztafel der Probenahme vom 10.8.2007 .....	66
Tabelle 29: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse an Korngrößenklassen der Aufgabe .....	66
Tabelle 30: Chemische Analysen der Dichtklassen aus Tabelle 29 .....	67
Tabelle 31: Zusammenfassung der Ergebnisse der Klaube- und Schwimm-Sink-Analyse.....	68
Tabelle 32: Ergebnisse der Bergeuntersuchung, Schwerspaterz.....	69
Tabelle 33: Bilanztafel, Flußspaterz Diagonaltrum, 1,4 bar .....	70
Tabelle 34: Bilanztafel, Flußspaterz Diagonaltrum 1,8 bar .....	70
Tabelle 35: Bilanztafel, Flußspaterz Grün, 1,4 bar.....	73
Tabelle 36: Bilanztafel, Flußspaterz Grün, 1,8 bar.....	73
Tabelle 37: Bilanztafel, Schwerspaterz, 1,4 bar .....	76
Tabelle 38: Bilanztafel, Schwerspaterz, 1,8 bar .....	76
Tabelle 39: Ergebnisse der Trübebehebungen bei geringerer Dichte .....	80
Tabelle 40: Ergebnisse der Trübebehebung vom 13.11.2007.....	80
Tabelle 41: Bilanztafel, Flußspat Grün, 2,57 g/cm <sup>3</sup> .....	81
Tabelle 42: Ergebnisse der Trübebehebung vom 14.11.2007.....	82
Tabelle 43: Bilanztafel, Flußspaterz Grün, 2,51 g/cm <sup>3</sup> .....	83
Tabelle 44: Vergleichsversuch bei normaler Fahrweise, Flußspaterz Grün .....	85
Tabelle 45: Versuchsergebnisse mit umgekehrter Sortierreihenfolge, Flußspaterz Grün.....	85
Tabelle 46: Vergleichsversuch bei normaler Fahrweise, Schwerspaterz.....	86
Tabelle 47: Versuchsergebnisse mit umgekehrter Sortierreihenfolge, Schwerspaterz .....	86
Tabelle 48: Kennwerte der Teilungskurven, Erztyp Diagonaltrum.....	87
Tabelle 49: Kennwerte der Teilungskurven, Erztyp Grün .....	89
Tabelle 50: Beispiele für $k_1/k_2$ bei unterschiedlichen Sortieraufgaben .....	94
Tabelle 51: Wendelscheiderversuch, Schwerspat unklassiert .....	99
Tabelle 52: Wendelscheiderversuch, allflux®-Klasse BaSO <sub>4</sub> 30 .....	99

---

Tabelle 53: Wendelscheiderversuche, allflux®-Klasse CaF <sub>2</sub> 10/36 .....	100
Tabelle 54: Ergebnisse der Porositätsuntersuchungen, allflux®-Klasse CaF <sub>2</sub> 10/36, 2/1 mm.....	101
Tabelle 55: Ergebnisse des Wendelscheiderversuches, BaSO <sub>4</sub> 30, SSA .....	101
Tabelle 56: Ergebnisse des Wendelscheiderversuches, CaF <sub>2</sub> 10/36, SSA .....	102
Tabelle 57: Ergebnisse der chemischen Analyse der Stromklassierung, RICHARDS, Mischsand .....	105
Tabelle 58: Ergebnisse des Wendelscheiderversuches, Stromklasse 3, RICHARDS .....	106
Tabelle 59: Zusammenfassung der Stromklassierungsversuche an den reinen Erzproben.....	110
Tabelle 60: Ergebnisse der Wendelscheiderversuche, Stromklassen, Schwerspaterz .....	112
Tabelle 61: Ergebnisse der Wendelscheiderversuche, Stromklassen, Flußspaterz Grün.....	113
Tabelle 62: Ergebnisse der Wendelscheiderversuche, Stromklassen, Flußspaterz Diagonaltrum .....	114
Tabelle 63: Betriebsversuch auf Testspirale, Flußspaterz Grün.....	117
Tabelle 64: Betriebsversuch auf Testspirale, Silberspat .....	117
Tabelle 65: Betriebsversuch auf Testspirale, Flußspaterz DT.....	118
Tabelle 66: Betriebsversuch auf Testspirale, Flußspaterz DT.....	118
Tabelle 67: Betriebsversuch auf Testspirale, Schwerspaterz und Schwerspatsand.....	119
Tabelle 68: Zusammenfassung der Ergebnisse, Betriebsversuch Wolfach, Diagonaltrum .....	120
Tabelle 69: „Trieboelektrische“ Sortierung am Walzenscheider Typ Carpc.....	123
Tabelle 70: Ergebnis der triboelektrischen Sortierung, CaF <sub>2</sub> -Sand, Guttemperatur 20°C .....	124
Tabelle 71: Ergebnis der triboelektrischen Sortierung, CaF <sub>2</sub> -Sand, Guttemperatur 150°C .....	125
Tabelle 72: Grundstufe des Versuchs mit dem Mischsand.....	125
Tabelle 73: Reinigungsstufe des Produktes der negativen Elektrode der Grundstufe .....	126
Tabelle 74: Ergebnisse der Nachreinigung des Mittulgutes der Grundstufe.....	126
Tabelle 75: Reinigungsstufe des Produktes der negativen Elektrode der Grundstufe .....	127
Tabelle 76: Zusammenfassung des zweistufigen Versuches.....	128
Tabelle 77: Ergebnisse der triboelektrischen Sortierung einer zerkleinerten Bergeprobe.....	130
Tabelle 78: Ergebnisse der triboelektrischen Sortierung der Kornklasse 0,5/0,1 mm der Bergeprobe.....	130
Tabelle 79: Ergebnisse der triboelektrischen Sortierung der Kornklasse 1/0,5 mm der Bergeprobe..	131
Tabelle 80: Ergebnisse der Coronascheidung an einem Wendelscheiderleichtgut.....	132
Tabelle 81: Ergebnisse der Nachreinigung eines Schwerspaterzproduktes .....	132

---

Tabelle 82: Ergebnisse der Nachreinigung eines flußspatreichen Produktes aus den triboelektrischen Sortierversuchen .....	133
Tabelle 83: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 4/2 mm, unbehandelt.....	135
Tabelle 84: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 4/2 mm, mit Schwertrübe vorbehandelt .....	136
Tabelle 85: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 4/2 mm, mit Ölsäure und Schwertrübe .....	137
Tabelle 86: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 2/1 mm, unbehandelt.....	138
Tabelle 87: Magnetscheideversuch an einer trockenen Bergeprobe, Vergleich.....	138
Tabelle 88: Magnetscheideversuch mit einer feuchten Bergeprobe.....	139
Tabelle 89: Magnetscheideversuch mit einer nassen Bergeprobe .....	140
Tabelle 90: Ergebnisse Röntgentransmission, Test 1, Schwerspaterz, 50/20 mm.....	142
Tabelle 91: Ergebnisse Röntgentransmission, Test 2, Flußspaterz, 50/20 mm .....	142
Tabelle 92: Ergebnisse Farbsortierung, Test 5, Schwerspaterz, 50/20 mm.....	143
Tabelle 93: Ergebnisse Farbsortierung, Test 7, Flußspaterz, 50/20 mm .....	143

# 1. Aufgabenstellung

Diese Arbeit beschreibt Untersuchungen zur Optimierung des Schwerspat- und Flußspatausbringens der Aufbereitungsanlage Wolfach der Sachtleben Bergbau GmbH. In dieser Anlage werden vielfältige Aufbereitungsprozesse – von der Mahlung, über die Schwertrübescheidung, bis hin zur Flotation und Trocknung der Produkte – angewendet. Eine besondere aufbereitungstechnische Herausforderung stellt die Untersuchung der Bergevorabscheidung dar, in der große und hinsichtlich des Grades bislang ungelöste Flußspatverluste auftreten.

## 1.1. Ausgangslage

In der Aufbereitungsanlage Wolfach der Sachtleben Bergbau GmbH werden die in der Grube Clara geförderten Erze zu verkaufsfähigen Endprodukten verarbeitet. Die Erze werden schon in der Grube nach ihrer Herkunft aus den unterschiedlichen Gang- und Lagerstättenbereichen vorselektiert und getrennt gefördert. Auf dem Gelände der Aufbereitungsanlage werden die unterschiedlichen Erztypen zwischengelagert und je nach Bedarf entweder „sortenrein“ oder in bestimmten Mischungsverhältnissen der Aufbereitungsanlage zugeführt. Eine genaue Beschreibung der Aufbereitungsanlage ist unter Punkt 3.4 zu finden.

Die jährliche Fördermenge von Schwerspatprotonen beträgt 80.000 Tonnen, aus denen etwa 60.000 Tonnen Schwerspatprodukte hergestellt werden, die überwiegend als Füllstoff zum Einsatz gelangen. Die Flußspatprotonenförderung liegt bei etwa 70.000 Tonnen pro Jahr, woraus 35.000 Tonnen Flotationskonzentrate vor allem für die Schweißtechnik produziert werden.

In den letzten Jahren konnte eine verstärkte Nachfrage nach Flußspatprodukten festgestellt werden, daher sollte durch das Aufzeigen und Umsetzen diverser Verbesserungsmaßnahmen eine Erhöhung des Gesamtausbringens der Anlage erreicht werden.

## 1.2. Herausforderungen aus betrieblicher Sicht

Übergeordnetes Ziel der Aufbereitung ist die Maximierung des Rohgutwertes, ein möglichst hohes Wertstoffausbringen ist daher anzustreben. Der Verringerung der bereits erwähnten Flußspatverluste der Bergevorabscheidung wurde daher höchste Priorität eingeräumt.

Die begleitenden Versuche für die Implementierung einer Feinkorndichtesortierung und die Suche nach alternativen Sortierverfahren ergaben sich erst im Zuge der Untersuchungen.

### **1.2.1. Klärung der Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung**

Bei der Verarbeitung der Flußspaterze traten bislang nicht erklärbare, hohe Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung auf, die einen beträchtlichen Verlust an Wertmineral bedeuteten. Die Flußspatgehalte der Bergeproben schwankten zwischen 2 und 50 %, lagen aber meist zwischen 20 und 30 %. Bei einem durchschnittlichen Masseausbringen des Bergeproduktes von etwa 30 % gingen daher beachtliche Wertmineralinhalte bereits im ersten Schritt des Aufbereitungsprozesses unwiederbringlich verloren, da dieses Bergematerial als Versatz für ausgeerzte Grubenbereiche verwendet wurde. Daher wurde als dringlichstes Ziel die Untersuchung der Bergevorabscheidung zur Klärung der Hintergründe für diese Verluste festgelegt.

### **1.2.2. Untersuchungen zur Feinkorndichtesortierung**

Der zweite Ansatzpunkt zur Verbesserung des Gesamtausbringens der Aufbereitungsanlage war die Implementierung einer Feinkornsartierung. In der bisherigen Anlage wurde der Unterlauf des Waschsiebtes (Sandprodukt) nur einem einfachen, nachfolgend angeführten Aufbereitungsschritt unterzogen und dem jeweiligen Hauptprodukt aus der Schwertrübescheidung wieder zugeschlagen. Bei der Verarbeitung des Schwespatertes wurde der Waschsiebunterlauf meist einer Feinkornsetzmaschine aufgegeben, im Falle der Verarbeitung der Flußspaterze kam eine zweistufige Zyklonierung zum Einsatz. Vor allem für die weitere Verarbeitung der Flußspaterze in der Flotationsanlage ergaben sich dadurch schwierigere Voraussetzungen bezüglich der  $\text{BaSO}_4$ - und  $\text{SiO}_2$ -Gehalte. Die Ziele der Feinkorndichtesortierung waren somit einerseits die möglichst vollständige Abtrennung des Schwespatertes (und damit dessen Aushalten aus der Flußspataufbereitung) und andererseits die Verringerung des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes in der Flotationsaufgabe.

### **1.2.3. Einsatz alternativer Sortierverfahren**

Im Laufe der systematischen Untersuchungen wurden die Grenzen der Aufbereitung mit Verfahren der Dichtesortierung erkannt, die auf der Porosität von Flußspatkörnern aus bestimmten Lagerstättenbereichen der Grube Clara beruhen. Im Zuge eines weiteren Versuchsblocks sollten daher die Einsatzmöglichkeiten alternativer Sortierverfahren untersucht werden. Als mögliche Verfahren wurden die Elektroscheidung – insbesondere die triboelektrisch herbeigeführte Ladungsunterschiede ausnutzende Freifallscheidung im elektrostatischen Feld – und die Magnetscheidung durch Nutzung von in den porösen Flußspatkörnern verbleibenden Kleinmengen an ferromagnetischen Schwerstoffpartikeln getestet. Zusätzlich dazu wurden orientierende Untersuchungen zur sensorgestützten Sortierung ausgewertet.

## 2. Zusammenfassung

Die Flußspatverluste in den Bergen der Aufbereitungsanlage in Wolfach sind seit langem bekannt und waren bereits Gegenstand umfangreicher Untersuchungen einer ganzen Reihe an Forschungsinstitutionen. Im Fokus der bisherigen Untersuchungen standen zwei nach dem Merkmal der Dichte im Fliehkraftfeld arbeitende Tri-Flo-Scheider, die als Hauptverursacher für diese hohen Flußspatverluste galten.

Im Zuge eines mehrjährigen, gemeinsam von Sachtleben Bergbau GmbH und dem Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung der Montanuniversität Leoben im Rahmen der Dissertationsarbeit des Verfassers abgewickelten Forschungsprojektes konnten die Gründe der Wertmineralverluste in der Aufbereitungsanlage Wolfach auf Basis von im Wesentlichen experimentell geprägten Untersuchungsreihen und einer sorgfältigen Charakterisierung des komplexen Mineralbestandes ausgeforscht werden. So konnte etwa die Annahme, dass die Tri-Flo-Scheider oder deren Betriebsweise die hohen Flußspatverluste in den Bergen verursachen, widerlegt werden. Vielmehr konnte als Grund für die Verluste die Rohguteigenschaft „Porosität“, die ein nicht unbeträchtlicher Anteil des Flußspates aufwies, eruiert werden.

Die Untersuchungsreihen gliedern sich in drei Bereiche, in die Betriebsversuche in der Schwertrübeanlage, die Untersuchungen zur Feinkorndichtesortierung und die Suche nach alternativen Sortierverfahren.

Die **Betriebsversuche in der Schwertrübeanlage** in Wolfach – ergänzt durch systematische Untersuchungen im Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung – sollten Aufschlüsse über die Trennaggregate – die beiden Tri-Flo-Scheider – und deren Einflüsse auf die zu verarbeitenden Roherze geben.

Die Untersuchungen zur **Feinkorndichtesortierung** begleiteten den Einbau einer Wendelscheideranlage im Werk, um auch im Korngrößenbereich  $< 1,6$  mm eine Vorsortierung der Roherze möglich zu machen. Dabei wurde in den Untersuchungen auch die Rohgutvorbereitung durch Stromklassierung behandelt.

Der dritte Untersuchungsblock umfasste die Suche nach möglichen **alternativen Trennverfahren**, die nicht das Trennmerkmal „Dichte“ ausnutzen, da die Untersuchungen zur Porosität des Flußspats zeigten, dass bei jeglicher Form der Dichtesortierung z.T. beträchtliche Flußspatverluste in den Bergen in Kauf genommen werden müssen.

## 2.1. Erklärungen für die Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung

Die Haupterztypen „Schwerspaterz“, „Flußspaterz Grün“ und „Flußspaterz Diagonaltrum“ wurden in der zu verarbeitende Korngrößenspanne 18/1,6 mm auf Unterschiede im Trennverhalten untersucht, wobei Unterschiede festgestellt werden konnten.

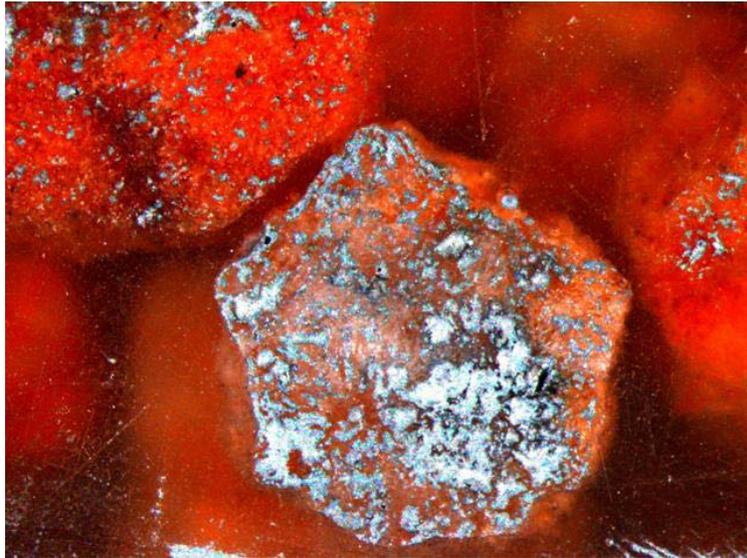


Abbildung 1: Flußspatkorn in einem Anschliff mit einer Porenfläche (silber) von 37 %

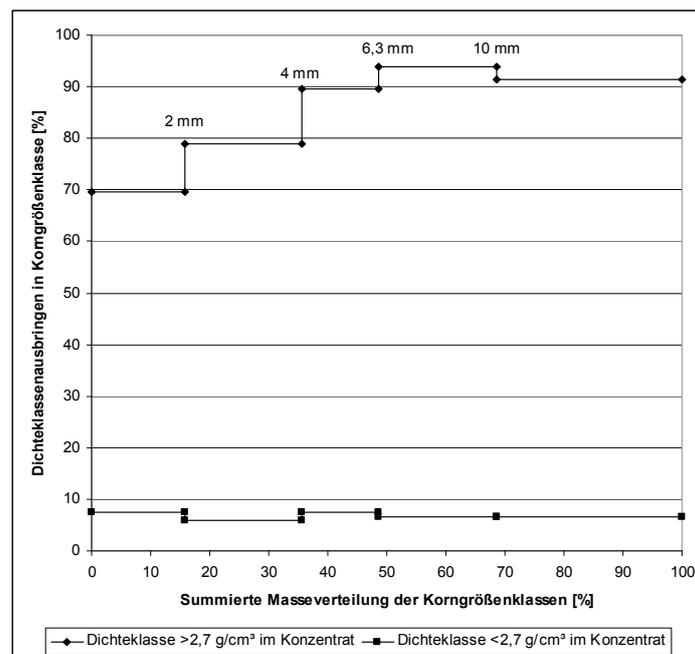


Abbildung 2: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 1,4 bar, 2,66 g/cm<sup>3</sup>

Während der Flußspat aus dem Diagonaltrum keine nachweisbare Porosität aufwies, konnten beim Erz aus dem Hauptflußspatgang (Flußspaterz Grün) Körner mit bis zu 37 % Porenvolumen nachgewiesen werden (siehe Abbildung 1). Diese Porosität verringert die Dichte der Körner in der Schwertrübe in einem solchen Ausmaß, dass diese teilweise unter der Dichte des als Berge abgeschiedenen Nebengesteins liegt.

Wie ein Ergebnis der Untersuchungen in Abbildung 2 zeigt, kommt es vor allem im Korngrößenbereich < 4 mm zu besonders ausgeprägten Verlusten der Dichteklasse > 2,7 g/cm<sup>3</sup>, die im Wesentlichen mit dem Flußspat gleichzusetzen ist. In diesem Korngrößenbereich finden sich auch die höchsten Porositätswerte mit bis zu 32 % als Durchschnittswert der Dichteklasse 2,6/2,7 g/cm<sup>3</sup>, die einen CaF<sub>2</sub>-Gehalt von 96 % aufweist (siehe Abbildung 3).

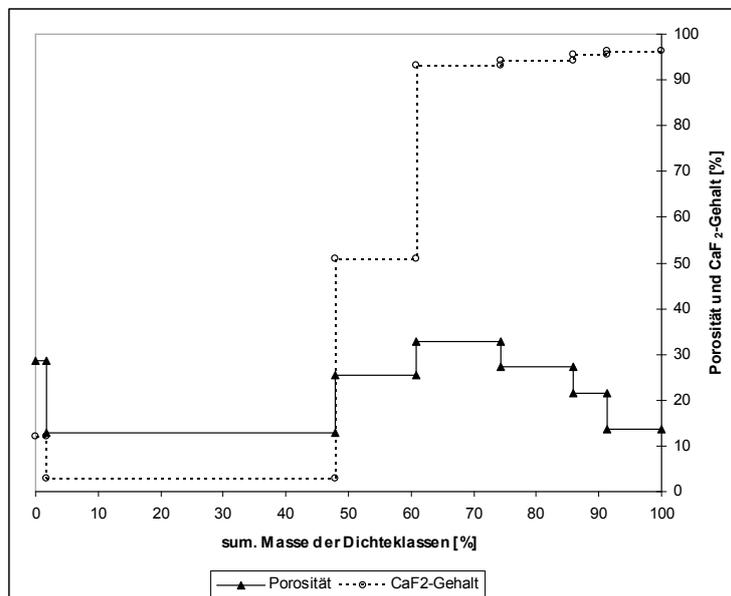


Abbildung 3: Porosität und CaF<sub>2</sub>-Gehalt von Dichteklassen einer Bergeprobe, Flußspaterz Grün, 2/1 mm

Bei den Untersuchungen am Schwerspaterz konnte ein ähnliches Verhalten des Flußspatanteils festgestellt werden. Das bedeutet, dass auch in diesem Erz ein mit den Verfahren der Dichtesortierung unausbringbarer Flußspatanteil vorliegt.

## 2.2. Möglichkeiten der Feinkorndichtesortierung

Die Untersuchungen zu Fragen der Feinkorndichtesortierung begleiteten den Einbau einer Wendelscheideranlage in der Aufbereitungsanlage Wolfach. Wie ein Ergebnis eines Wendelscheiderversuches mit einer entschlämmten Mischsandprobe in Tabelle 1 zeigt, musste im Leichtgut ein dem Flußspat zuordenbarer Gehalt der Dichteklasse 2,7/3,3 g/cm<sup>3</sup> von 52,6 % festgestellt werden. Dies macht deutlich, dass eine Dichtesortierung auch im Feinkornbereich mit

Flußspatverlusten einhergeht. Die Untersuchungen zur Porosität des Flußspates ergaben, dass diese auch im Korngrößenbereich kleiner 1 mm vorliegt (siehe Punkt 4.3).

Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
		< 2,7	2,7/3,3	> 3,3	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Schwergut	17,4	3,3	29,5	67,2	2,2	<b>9,8</b>	<b>56,0</b>
Mittelgut	45,6	19,5	61,4	19,1	33,6	53,2	41,7
Leichtgut	37,0	46,1	<b>52,6</b>	1,3	64,3	37,0	2,4
Aufgabe	100,0	26,5	52,6	20,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 1: Bilanztafel eines Wendelscheiderversuches, CaF<sub>2</sub> 10/36

Dennoch konnten durch den Einbau der Wendelscheideranlage einige Verbesserungen hinsichtlich des Ausbringens der Anlage erzielt werden. Bei der Verarbeitung des Schwerspaterzes resultiert aus der Abtrennung von Flußspat und Nebengestein aus der Sandfraktion eine Qualitätsverbesserung der Schwerspaterprodukte hinsichtlich Gehalt und Weißegrad. Bei der Verarbeitung der Sandfraktion der Flußspaterze konnte durch die Schwerspatabtrennung das Aufgabematerial auf die Flußspatflotation verbessert werden. Allerdings gelangt dadurch ein nicht unbeträchtlicher Teil des Flußspatinhaltes des Sandes in die Schwerspaterflotation und damit in die Füllstoffflotation. Dadurch geht der Vorteil des verringerten Schwerspatergehaltes in der Flußspatflotationsaufgabe mit dem Nachteil eines erhöhten Verlustes von Flußspat an die Füllstoffflotation einher.

### 2.2.1. Verbesserungen durch Stromklassierung

Eine Verbesserung der Ausbringenswerte konnte im Technikumsmaßstab durch eine der Wendelscheidung vorgeschaltete Stromklassierung erzielt werden. Durch diese Vorklassierung konnte im Falle des Schwerspaterzes bereits ein Schwerspaterkonzentrat hergestellt werden und in weiterer Folge das Ausbringen bei der anschließenden Feinkorndichtesortierung verbessert werden. Dadurch gelang es, die Flußspatverluste im Schwerspaterprodukt zu verringern und damit das Flußspatausbringen zu erhöhen.

Wie Tabelle 2 zeigt, konnte durch die Stromklassierung beim „Flußspaterz Grün“ das Ausbringen von Schwerspater im Schwergut erhöht (vergleiche mit Tabelle 1) und zusätzlich das Flußspatausbringen

verringert werden. Eine Bergeabscheidung war trotz der Stromklassierung als Vorbereitung mit einem „Flußspatgehalt“ von 43,7 % im Leichtgut nicht möglich und das trotz stark verringertem Masseausbringen dieses Produktes. Nur beim „Flußspaterz Diagonaltrum“ konnte die Möglichkeit einer Bergeabscheidung tatsächlich beobachtet werden (siehe 6.2.6.2).

Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
		< 2,7	2,71/3,31	> 3,31	< 2,7	2,71/3,31	> 3,31
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Schwergut	9,3	1,5	39,2	59,3	0,6	<b>5,4</b>	<b>75,3</b>
Mittelgut	78,3	24,1	73,6	2,3	72,6	86,4	24,4
Leichtgut	12,4	56,2	<b>43,7</b>	0,2	26,8	8,1	0,3
Summe	100,0	26,0	66,7	7,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 2: Bilanztafel des Wendelscheiderversuches, Flußspaterz Grün, Grobgut 2

### 2.3. Potentiale alternativer Sortierverfahren

Nachdem die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass bei der Anwendung von Verfahren der Dichtesortierung in der Verarbeitung von „Flußspaterz Grün“ und „Schwerspaterz“ immer mit Flußspatverlusten auf Grund der Porosität zu rechnen ist, wurden alternative Sortierverfahren auf ihre Tauglichkeit getestet. Einerseits wurde mittels eines kreativen Gedankenansatzes versucht, den porösen Flußspatanteil durch Magnetscheidung zurückzugewinnen, andererseits konnten mit der Elektroscheidung beachtliche Ergebnisse erzielt werden.

Die Untersuchungen zur Magnetscheidung fußten auf dem Gedankenansatz, dass poröse Flußspatkörner in ein Magnetprodukt überführbar sein sollten, da in den Poren zurückgebliebene bzw. an der rauen Oberfläche anhaftende Schwerstoffpartikel genutzt werden könnten, die Flußspatkörner mittels Starkfeldmagnetscheidung anzureichern. Im trockenen Zustand konnten gute Ergebnisse hinsichtlich des Ausbringens der porösen Flußspatkörner erzielt werden, im betriebsnahen, feuchten bis nassen Probenzustand hingegen konnte nur ein untergeordneter Sortiereffekt erzielt werden.

Mit der Elektroscheidung konnten beachtliche Ergebnisse erzielt werden. So war es in einem zweistufigen Versuch möglich, 92 % des Schwerspatinhaltes in ein Konzentrat zu überführen, das einen BaSO<sub>4</sub>-Gehalt von 96 % aufwies. Auf der anderen Seite konnte ein Bergeprodukt hergestellt werden, das bei einem SiO<sub>2</sub>-Inhaltsausbringen von 63 % Wertmineralverluste von nur 1,3 % aufwies.

Zusätzlich dazu konnte ein Flußspatkonzentrat mit einem  $\text{CaF}_2$ -Gehalt von 94 % hergestellt werden, das durch eine Nachreinigung mittels Corona-Scheidung sogar auf 96 % verbessert werden konnte. Wie unter Punkt 7.4 dargelegt, weist das Verfahren der Elektroscheidung eine weitaus höhere Selektivität in Bezug auf Schwerspatausbringen als auch Bergeausbringen im Vergleich zur Feinkorndichtesortierung auf.

Auch beim Vergleich zur bestehenden Schwertrübescheidung zeigt sich ein selektivitätsbedingter Vorteil der Elektroscheidung. Anzumerken ist hier freilich, dass der direkte Vergleich dieser beiden Verfahren auf Grund der abweichenden zu verarbeitenden Korngrößenspannen schwierig ist.

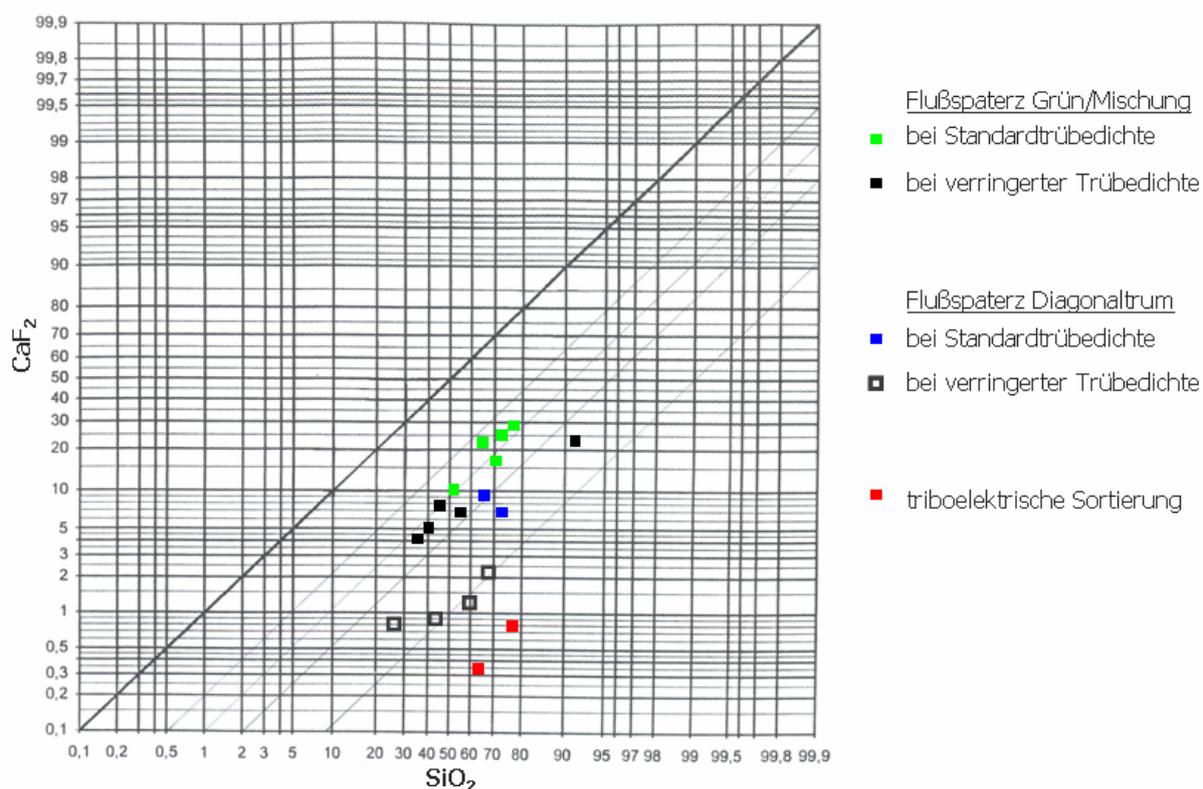


Abbildung 4: Versuchsergebnisse der Schwertrübescheidung und der Elektroscheidung im Kappa-Netz

Mit diesen Ergebnissen wurde nicht nur die prinzipielle Tauglichkeit der Elektroscheidung für die Sortieraufgabe Schwerspat/Flußspat/Quarz festgestellt, sondern es wurde auch eine im Vergleich zum derzeit eingesetzten Verfahren der Dichtesortierung eine höhere Selektivität nachgewiesen.

Mit diesem Verfahren können auch die porösen Flußspatanteile der Roherze in Konzentrate hoher Qualität überführt werden, sodass in dieser Arbeit nicht nur der Grund der Flußspatverluste in den Bergen der Schwertrübescheidung aufgedeckt, sondern auch eine geeignete Lösung aufgezeigt wurde.

### **3. Geologie, Roherztypen, Anlagenbeschreibung und Produktstrombezeichnungen**

Dieses Kapitel soll einen kurzen Überblick über die Geologie der Grube Clara geben, um die Herkunft der unterschiedlichen Roherze aus der Lagerstätte und die daraus resultierenden Problemstellungen in Verbindung zu bringen.

Die Anlagenbeschreibung gibt einen Überblick über die Aufbereitungsanlage. Auf Grund der Komplexität der Anlage und der roherzspezifischen Verschaltungsmöglichkeiten wäre eine Gesamtdarstellung sehr unübersichtlich.

#### **3.1. Überblick über die Geologie der Grube Clara bei Oberwolfach [1]**

Die Flußspat-/Schwerspatlagerstätte in Wolfach (Grube Clara) befindet sich im „Zentralschwarzwälder Gneiskomplex“, der den größten Teil des mittleren Schwarzwaldes umfasst. Die Bildung dieser metamorphen Gesteine geschah während der variszischen Gebirgsbildung vor rund 300 Millionen Jahren. Das Nebengestein der Grube Clara besteht vorwiegend aus biotitführenden Plagioklas-Gneisen. Das Gangsystem entstand wahrscheinlich schon vor der variszischen Gebirgsbildung und wurde wiederholt tektonisch reaktiviert.

Es konnten mehrere Mineralisationen festgestellt werden, wobei die Abfolge laut HUCK (1986) folgende war: Zuerst erfolgte die Bildung der Flußspatgänge, daran anschließend die Mineralisation der Hauptschwerspatgänge mit einer später folgenden zweiten Mineralisationsphase, zuletzt entstanden die flußspatführenden Diagonaltrümer.

Die Flußspatgangzone war im Bereich der Sohle 9 über 50 m mächtig, nahm aber mit der Teufe ab. Im Bereich tieferer Sohlen konnte nur mehr ein Gang beobachtet werden (siehe Abbildung 5).

In der zweiten Mineralisationsphase wurde der Schwerspatgang gebildet, dieser läuft parallel zum Flußspatgang. Durch unterschiedliche Paragenesen in diesem Gang konnte von vier aufeinanderfolgenden Öffnungen dieses Gangsystems ausgegangen werden. Der Schwerspatgang wies stellenweise Mächtigkeiten von bis zu 10 m auf.

In der letzten großen Mineralisationsphase entstand das Diagonaltrum. Dabei wurden früher gebildete Ganginhalte brekziiert und Schwerspat teilweise verdrängt. Das Diagonaltrum wies Mächtigkeiten bis zu 5 Meter auf.

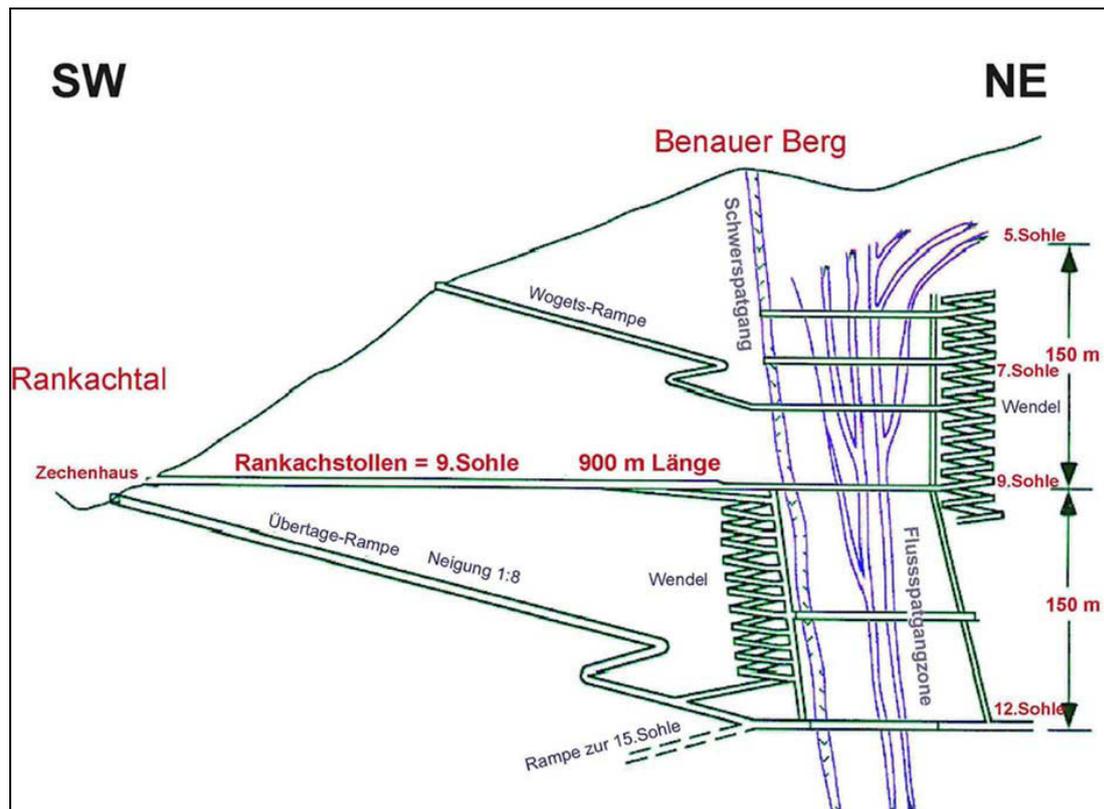


Abbildung 5: Saigerriss der Grube Clara [2]

### 3.2. Abbau der Erze in der Grube Clara

Im Bergbau der Grube Clara werden die drei Hauptbereiche Schwerspatgang, Flußspatgang und das Diagonaltrum abgebaut. Dabei erfolgt eine weitere Einteilung des Diagonaltrums in bleireich und bleiarm. Beim Schwerspatgang werden sulfidhaltige Abschläge als Silberspat bezeichnet und getrennt vom normalen Schwerspat in der Aufbereitungsanlage verarbeitet. Auf Grund der wechselnden Verhältnisse und Gangmchtigkeiten ist dabei die Erfahrung der Bergbaumannschaft bei der optischen Zuordnung entscheidend.

Bei stark wechselnden Gehalten kann die Zuordnung zu den Erztypen schwierig sein, da die Beurteilung neben den Erkundungsbohrungen nur über die optische Betrachtung der Ortsbrust der Vorrichtungsstollen erfolgt. Mit zunehmender Teufe wird die Beurteilung noch schwieriger, da sich die Gänge in großer Teufe anscheinend vereinen oder zumindest kreuzen.

Die Gewinnung der Roherze erfolgt im Teilsohlenweitungsbaue durch konventionelles Bohren und Sprengen. Gesichert wird das Grubengebäude mit Baustahlgitter und Spritzbeton. Dieser Spritzbeton ist zusätzlich mit Stahlfasern bewährt, was – so diese mit dem Roherz ausgebracht werden – zusätzliche Anstrengungen in der Aufbereitungsanlage erfordert, da die Stahlfasern mit mehreren Magnetscheidern an unterschiedlichen Stellen aus dem Produktionsprozess ausgeschleust werden müssen.

Die Roherze werden von LKW einer Fremdfirma direkt in der Grube abgeholt und in die etwa 13 km entfernte Aufbereitungsanlage geliefert.

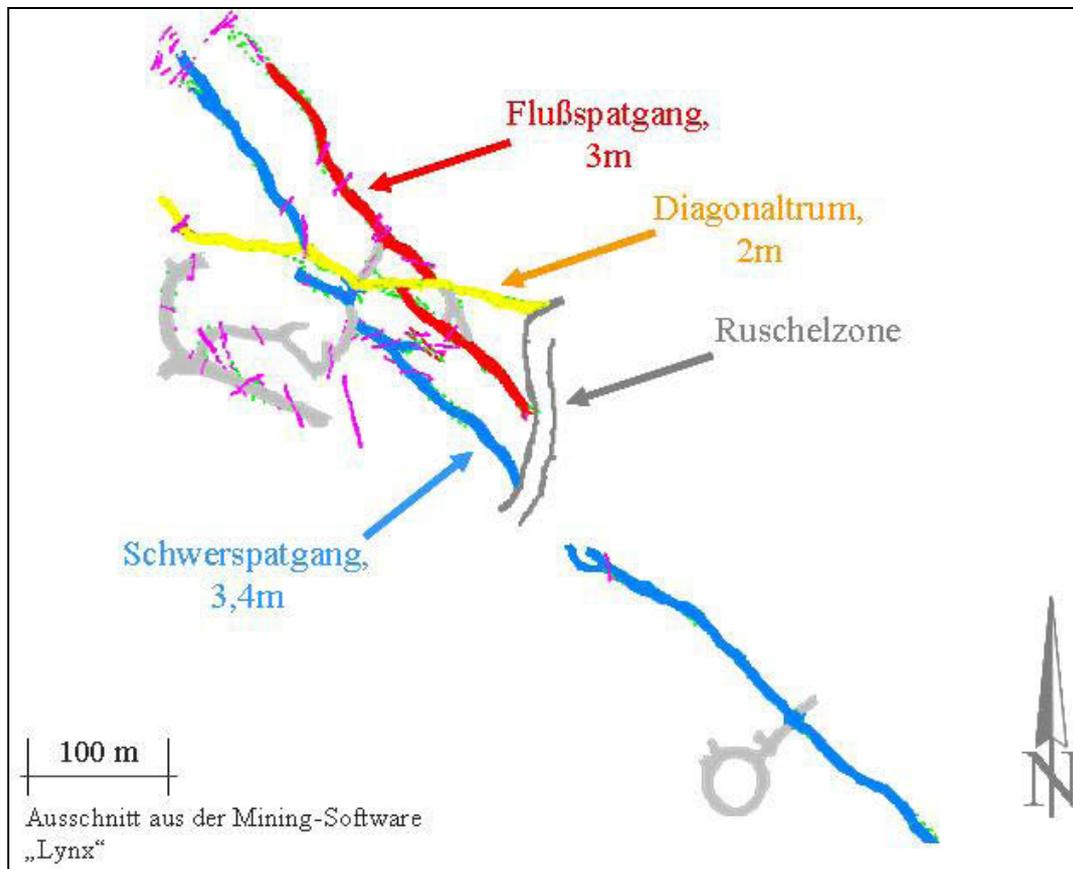


Abbildung 6: Grundriss der Teilsohle 12.2 [2]

### 3.3. Roherztypen

Sämtliche Erztypen führen als Wertminerale Schwerspat und Flußspat in unterschiedlichen Verhältnissen. Als weitere wertvolle Mineralgruppe können Sulfide – und hier vor allem silberführende Fahlerze – genannt werden, die bei entsprechend hohen Gehalten in der Sulfidflotation vor der Schwerspatflotation gewonnen werden und als weiteres erlösbringendes Produkt der Aufbereitungsanlage anfallen. Neben Schwerspat und Flußspat tritt Quarz als weiteres Hauptmineral der Gangfüllung auf, das Nebengestein besteht hauptsächlich aus Gneisen.

#### 3.3.1. Schwerspaterze

Das Roherz aus dem Schwerspatgang zeichnet sich durch einen entsprechend hohen Gehalt an Schwerspat aus, der im Regelfall zwischen 50 und 65 % liegt. Der Flußspatgehalt schwankt zwischen

15 und 20 %. Der Rest besteht überwiegend aus Quarz, Gneis und Beton aus dem Spritzbetonausbau des Grubengebäudes.

Als weitere aufbereitungstechnisch relevante Nebenbestandteile der Erzgänge sind verschiedene Sulfide zu nennen. Dabei handelt es sich vorwiegend um silberführende Fahlerze, Kupferkies und Bleiglanz, die bei entsprechend hohen Gehalten die alleinige Verarbeitung des Schwerspaterzes zur Endproduktqualität mittels Dichtesortierung verunmöglichen. Daher werden diese Roherze in gesonderten Kampagnen durch die Schwertrübescheidung durchgesetzt und vor der Schwerspatflotation durch eine Sulfidflotation ergänzt.

Der Hauptteil des gewonnenen Roherzes ist dem gewöhnlichen Schwerspaterz zuzuordnen. Zusätzlich werden auch schwerspatreiche Roherze aus dem Diagonaltrum gewonnen (Schwerspat DT). Dieses zeichnet sich durch besonders hohe Weißgrade und gute Verwachsungsverhältnisse aus und wird meist zur Herstellung von Betonspat verwendet. Sulfidführende Partien werden, sofern als solche erkannt, als „Silberspat“ bezeichnet.

### 3.3.2. Flußspaterze

Die Flußspaterze stammen zum einen Teil aus dem Hauptflußspatgang, zum anderen Teil aus dem sogenannten Diagonaltrum. Vor allem auf Grund der unterschiedlichen Flußspatgehalte erfolgte bislang eine getrennte Förderung und Zwischenlagerung.

- **Flußspaterztyp Hauptflußspatgang (Grün)**

Als Flußspaterztyp Grün wird das Roherz aus dem Hauptflußspatgang bezeichnet. Dieses Roherz zeichnet sich durch hohe Flußspat- und niedrige Schwerspatgehalte aus. Nebenbestandteile sind überwiegend Gneis und Quarz wie auch Spritzbeton.

- **Flußspaterztyp Diagonaltrum (DT)**

Das Flußspaterz aus dem Diagonaltrum weist im Vergleich zum Erz aus dem Flußspatgang geringere Flußspatgehalte auf. Der Schwerspatanteil ist höher, der Hauptanteil der Gangfüllung besteht aus Quarz. Die Fluß- und Schwerspatanteile schwanken stark, sodass Abschlüsse teilweise dem Schwerspaterz (Schwerspat DT) zugeordnet werden.

Zusätzlich wird nach dem Bleigehalt unterschieden und das bleireiche Diagonaltrumerz auch als „DT bleireich“ bezeichnet.

## 3.4. Beschreibung der Aufbereitungsanlage in Wolfach

Die Aufbereitungsanlage lässt sich hinsichtlich des Grundprozesses „Sortierung“ in zwei große Hauptbereiche gliedern. Zunächst erfolgt mittels **Schwertrübescheidung** (3.4.1) eine Vorabscheidung der Berge und eine nachfolgende Trennung des Bauschkonzentrates in ein Schwerspat- und ein Flußspatkonzentrat. Das Flußspatkonzentrat wird mittels **Flotation** (3.4.2) zu

Endkonzentratqualitäten veredelt. Das Schwerspatkonzentrat wird mittels **Mahlung** (3.4.3) nach vorheriger Trocknung zu fein- und feinstdispersen Endprodukten aufbereitet.

### **3.4.1. Bergevorabscheidung und Vorkonzentratherstellung**

In diesem ersten Aufbereitungsschritt werden die im Außenbereich zwischengelagerten und nach Erztypen untergliederten Roherze in Kampagnen durchgesetzt und die entstandenen Produktströme den weiteren Aufbereitungsschritten zugeordnet.

#### **3.4.1.1. Roherzzwischenlager**

Die Erze werden im Bereich der Aufbereitungsanlage zwischengelagert. Von dort aus wird die Brecheranlage mittels Radlager beschickt. Zusätzlich zu den Roherzzwischenlagern gibt es auch solche für die Lagerung von Zwischenprodukten, die bei Bedarf an unterschiedlichen Stellen wieder in den Prozess eingeschleust werden.

#### **3.4.1.2. Zerkleinerung**

Für die Vorzerkleinerung wird ein Backenbrecher verwendet, dem ein Stangenrost zur Feinkornentfrachtung vorgeschaltet ist. In diesem Backenbrecher wird das Roherz auf eine Korngröße kleiner etwa 20 cm zerkleinert.

Das vorzerkleinerte Gut gelangt über Förderbänder auf das Waschsieb. Ein Rost entfernt zu grobe Körner aus dem Gutstrom, bevor dieser auf das Sieb trifft. Das Waschsieb ist mit zwei Siebdecks ausgestattet, dessen Mittelgut als Aufgabe auf die Schwertrübescheidung dient.

Das Grobgut des Waschsiebes wird im Kreislauf mit einem Flachkegelbrecher weiter zerkleinert und wieder auf das Waschsieb rückgeführt. Das Feingut wurde zunächst unsortiert den Hauptproduktströmen zugeschlagen. Durch den Einbau der Wendelscheideranlage kann mittlerweile auch in diesem Korngrößenbereich eine Vorsortierung (d.h. Schwerspatabscheidung) erreicht werden.

#### **3.4.1.3. Schwertrübescheidung**

In der Schwertrübescheidung werden zwei Tri-Flo-Scheider eingesetzt. Im ersten Tri-Flo-Scheider werden die Berge abgetrennt, erst im zweiten Tri-Flo-Scheider erfolgt die Trennung in das Schwerspat- und das Flußspatkonzentrat. Dieser Scheidertyp wird unter Punkt 5.2 näher beschrieben.

Das Mittelgut des Waschsiebes fällt direkt in den Aufgabetrichter des ersten Tri-Flo-Scheiders und wird dort bereits mit einem Teil der Schwertrübe vermischt. Als Schwerstoff in dieser Stufe wird ein Gemisch aus gemahlenem Magnetit und verdüstem Ferrosilizium eingesetzt. Damit kann eine Aufgabetrübedichte von etwa 2,7 g/cm<sup>3</sup> eingestellt werden. Die tatsächliche Trenndichte liegt wie bei

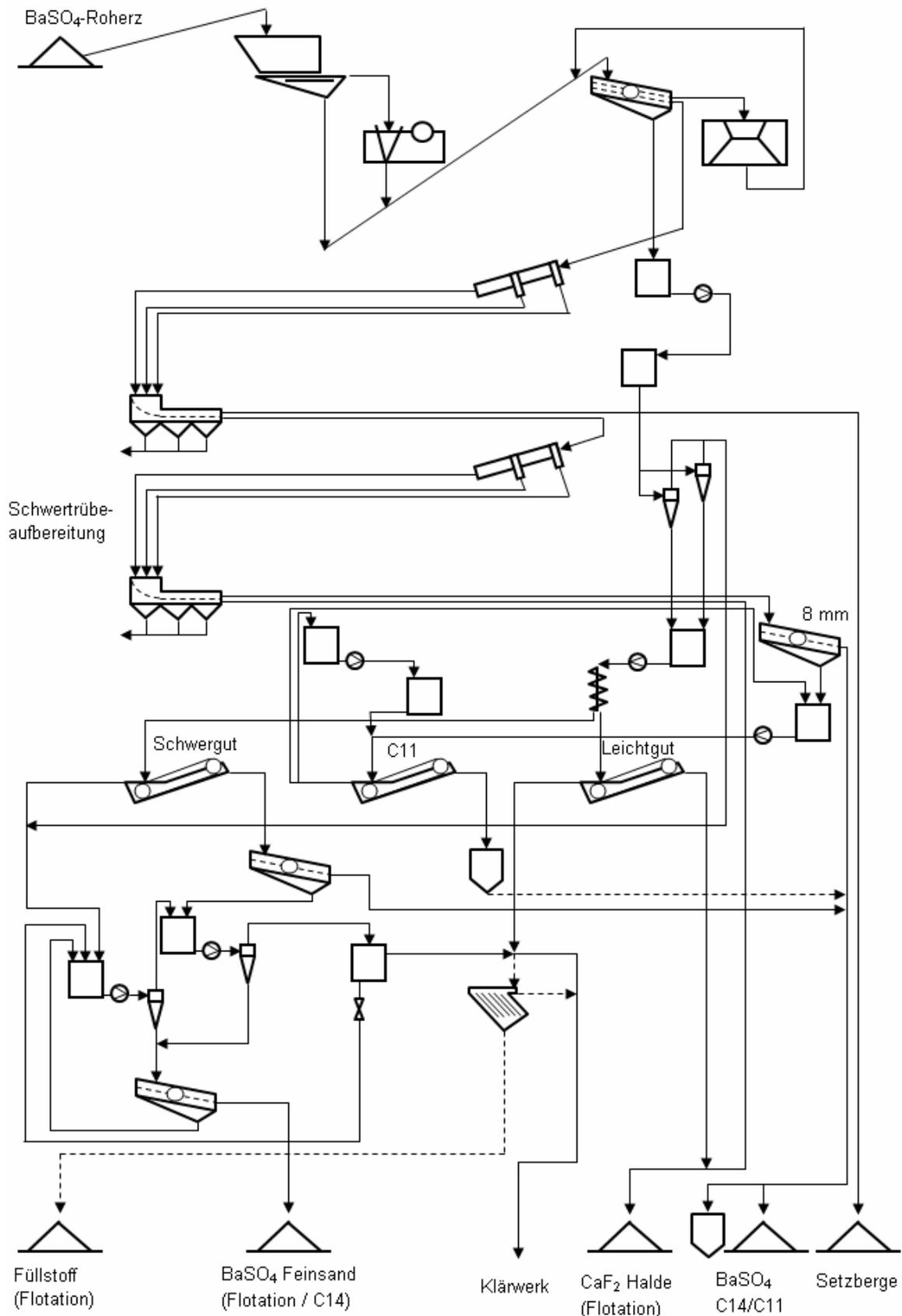


Abbildung 7: Stammbaum der Aufbereitungsanlage Wolfach, Schwerspatfahrweise [3]

anderen Fliehkraftscheidern aber etwas höher (siehe Punkt 5.10). Als Leichtgut dieser Stufe fällt das sich vornehmlich aus Quarz, Gneis und Beton zusammensetzende Bergeprodukt an, welches aus dem Betrieb ausgeschleust und im Bergbau als Versatzmaterial verwendet wird. Die beiden Sinkgutströme werden bereits auf dem Abtropfsieb wieder zusammengeführt und auf den zweiten Tri-Flo-Scheider aufgegeben.

In der zweiten Stufe wird als Schwerstoff reines Ferrosilizium verwendet, mit dem sich Trübedichten bis etwa  $3,4 \text{ g/cm}^3$  einstellen lassen. Bei dieser Dichte kann der Schwerspat vom spezifisch leichteren Flußspat getrennt werden. In der ersten Stufe nicht abgeschiedenes Nebengestein, Quarz und Beton werden im Flußspatkonzentrat ausgebracht.

#### **3.4.1.4. Feinkorndichtesortierung**

Zu Beginn der Untersuchungen bestand die Feinkornaufbereitung – im Falle der Schwerspatkampagne – aus einer Feinkornsetzmaschine und – im Falle der Flußspatkampagne – aus Entschlammungs- und Entwässerungsstufen mittels Zyklonen und Entwässerungssieben.

Zur Durchführung der systematischen Untersuchungen zur Verbesserung des Bereiches der Feinkorndichtesortierung wurde zunächst eine Wendelscheiderpilotanlage (siehe 6.3) im Bereich der Trüberegenerationsanlage der Schwertrübescheidung eingebaut, die die Aufbereitung eines Teilstroms des Waschsiebunterlaufes unter betrieblichen Verhältnissen gestattete.

Auf Grund der Ergebnisse der Untersuchungen (siehe Punkt 6) wurde eine Wendelscheideranlage installiert, die den gesamten Waschsiebunterlauf verarbeiten kann und auch Kapazitäten für eventuelle Nachreinigungsstufen aufweist. Die Schwerspatabtrennung könnte durch den Einbau einer Stromklassierung weiter verbessert werden (siehe 6.2.5), um die Flußspatverluste im Schwerspatprodukt zu verringern.

### **3.4.2. Flotation**

Die Flotationsanlage produziert einerseits Flußspatkonzentrate mit ausgezeichneten Gehalten von bis zu 98 %  $\text{CaF}_2$  und ist andererseits für die Aufbereitung diverser Zwischenproduktströme (z.B. Schwerspatkonzentrat aus dem Flußspaterz, Bergeströme der Flotationsanlagen) und die Erzielung des hohen Gesamtinhaltsausbringens der Aufbereitungsanlage Wolfach verantwortlich.

#### **3.4.2.1. Flußspatflotation**

Der Flußspatflotation ist eine Mahlanlage vorgeschaltet, die hauptsächlich aus den beiden Flußspatbunkern beschickt wird. Zusätzlich dazu können über eine Außenaufgabe Zwischenprodukte wie Splitt oder das Flußspatkonzentrat aus dem Schwerspaterz aufgegeben werden. Die Hauptzerkleinerungsarbeit übernimmt eine Stabmühle, die mit Zyklonen im Kreislauf geschaltet ist. Im Bedarfsfall kann eine Kugelmühle zusätzlich in den Mahlkreislauf eingeschaltet werden. Darüber

hinaus besteht die Möglichkeit, gewisse Zwischenproduktströme aus der Flotationsanlage in einer separaten Mühle weiter zu zerkleinern.

Das Feingut des Mahlkreislaufes gelangt in einen Konditionierbehälter, in dem bereits ein Teil der notwendigen Reagenzienmenge zugesetzt wird. Die restliche Menge wird auf die Zellen der Grundstufe aufgeteilt.

Mit bis zu fünf Reinigungsstufen können  $\text{CaF}_2$ -Gehalte von teilweise über 98 % erzielt werden. Um ein hohes Inhaltsausbringen zu gewährleisten, wird eine Nachreinigung der Abgänge durchgeführt, deren Abgänge der Füllstoffflotation aufgegeben werden.

#### **3.4.2.2. Schwerspatflotation**

In der Schwerspatflotation wurden bislang vor allem das Schwerspatkonzentrat aus dem Flußspaterz und der Silberspat aufbereitet. Durch den Einbau der Wendelscheideranlage kommen noch zusätzliche Ströme hinzu. Die flotierten Schwerspatkonzentrate können auf Grund der veränderten Oberflächeneigenschaften nicht in allen Anwendungsgebieten eingesetzt werden, bieten aber Vorteile bezüglich ihres hohen  $\text{BaSO}_4$ -Gehaltes. Die Abgänge der Schwerspatflotation werden auf die Füllstoffflotation aufgegeben und sichern somit das gute Gesamtausbringen der Anlage.

#### **3.4.2.3. Sulfidflotation**

Bei hohen Sulfidgehalten wird der Schwerspatflotation eine Sulfidflotation vorgeschaltet. Dabei wird ein Bauschkonzentrat hergestellt, das auf Grund seines hohen Silber- und Kupfergehaltes ein nicht mehr wegzudenkender Erlösbringer der Aufbereitungsanlage ist. Die Sulfidflotation besteht aus einer Grundstufe mit sechs Zellen und vier Reinigungsstufen mit jeweils einer Zelle.

#### **3.4.2.4. Füllstoffflotation**

Die Füllstoffflotation sorgt für das hohe Gesamtausbringen der Flotationsanlage, produziert aber ein geringwertiges Füllstoffprodukt mit stark schwankenden Gehalten. Um dieses Produkt absetzen zu können, muss es einen Mindestgehalt an Schwerspat aufweisen, der auch nachträglich durch Zumischung von nicht flotiertem Schwerspat aufgebessert werden kann. Zusätzlich zu vergleichsweise geringen Erlösen kommen Absatzschwierigkeiten hinzu, da dieses Produkt durch billigere Füllstoffe substituiert werden kann.

### **3.4.3. Mahlung nach Trocknung**

Auf Grund der hohen Produkthanforderungen gibt es bereits bei der Trocknung zwei Verfahrenslinien, eine für Schwerspatprodukte, eine für die Flußspatprodukte, um ein Vermischen und damit die Verunreinigung der Produkte von vorne herein auszuschließen.

Die getrockneten Schwerspatprodukte werden im Mahlkreislauf mit Sichern auf die jeweilig benötigte Produktfeinheit gebracht. Die getrockneten Flußspatprodukte werden gegebenenfalls nur über eine Schutzabsiebung den Qualitätsanforderungen angepasst.

Die Produkte können abgesackt oder in Big-Bags abgefüllt werden. Eine Ladevorrichtung für Silo-LKW ist vorhanden und auch die Möglichkeit einer Bahnverladung ist gegeben.

### 3.5. Produktströme der Aufbereitungsanlage

Auf Grund der verschiedenen Roherztypen und unterschiedlichen Fahrweisen der Anlage kommt es zu einer Vielzahl von Produktströmen. In diesen Punkt werden diese aufgelistet und näher beschrieben.

#### 3.5.1. Produkte der Schwertrübescheidung

In der Schwertrübescheidung wird die Korngrößenklassen 18/1,6 mm in die Produkte **Berge**, **Flußspatkonzentrat** und **Schwerspatkonzentrat** sortiert. Es werden zwei Tri-Flo-Scheider hintereinander durchlaufen, so dass als Zwischenprodukt auch ein Bauschkonzentrat auftritt.

- **Leichtgut Tri-Flo 1, Berge**

Die Berge entstehen in der ersten Sortierstufe, in der die spezifisch leichteren Bestandteile, wie Quarz oder Beton, aus dem Prozess ausgeschleust werden. Die in den Bergen enthaltenen Wertstoffinhalte sind verloren, da diese zum Versetzen der ausgeerzten Grubenteile verwendet werden.

- **Schwergut Tri-Flo 1, Bauschkonzentrat, Aufgabe Tri-Flo 2**

Das Sinkgut des ersten Tri-Flo-Scheiders besteht hauptsächlich aus Flußspat und Schwerspat. Zusätzlich kommen noch die Sulfide und die Fehlausträge an Bergebestandteilen der ersten Stufe hinzu. Aus diesem Bauschkonzentrat werden die Stahlfasern des Spritzbetons mit Überbandmagnetscheidern an den Bandabwürfen abgeschieden.

- **Leichtgut Tri-Flo 2, Flußspatkonzentrat**

Bei der Verarbeitung der Flußspaterze wird dieser Produktstrom mit dem Grobsand (siehe 3.5.2) gemeinsam über Förderbänder in die Vorratsbunker der Flotationsanlage befördert. Bei der Verarbeitung von Schwerspaterz wird dieser Produktstrom außerhalb der Anlage zwischengelagert und bei Bedarf über die Außenaufgabe in den Flotationsmahlkreislauf aufgegeben (Flußspat aus Schwerspat).

- **Schwergut Tri-Flo 2, Schwerspatkonzentrat**

Bei einer Aufgabetrübedichte von  $3,4 \text{ g/cm}^3$  fällt Schwerspat als Sinkgut an. Bei der Verarbeitung von Schwerspaterzen wird dieser Produktstrom zusammen mit dem Waschsiebunterlauf oder dem Schwergut der Setzmaschine (3.5.2) in die Entwässerungsbunker der Trocknungsanlage befördert. Diese Sande erhöhen den Wassergehalt und verringern den Weißgrad der Produkte. Sind hohe

Weißgrade gefordert, wird die Kornfraktion 8/1,6 mm aus dem Schwergut gesondert zu Produkten hoher Weiße verarbeitet.

Bei der Verarbeitung der Flußspaterze wird dieser Produktstrom aus der Anlage ausgeschleust und der Schwerspatflotation aufgegeben.

- **Splitt**

Das Haftkorn des Bergebandes wird als Splitt bezeichnet. Durch einen Abstreifer wird der Splitt gewonnen und als flußspatreiche Fraktion der Flußspatflotation über die Außenaufgabe zugeführt. Dies ist eine Übergangslösung, um Flußspatverluste in den Bergen gering zu halten, bis für das Problem der Flußspatverluste in den Bergen eine geeignete Lösung gefunden wird. Möglichkeiten dazu werden unter Punkt 7 beschrieben.

### **3.5.2. Produkte der Feinkornaufbereitung**

In diesem Punkt werden die Produktströme der Feinkornaufbereitung vor dem Einbau der Wendelscheideranlage beschrieben.

- **Waschsiebunterlauf, Sandprodukt**

Das Sandprodukt fällt als Unterlauf des Waschsiebes bei der Gutvorbereitung für die Schwertrübescheidung an und wird den Hauptkonzentraten der Schwertrübescheidung wieder zugeschlagen.

- **Grobsand**

Bei der Verarbeitung von Flußspaterz werden die Sande über Zykclone, Kratzbänder und Entwässerungssiebe entwässert und dem Flußspatkonzentrat zugegeben. Der Wassergehalt dieser Sande muss vor allem im Winter gering sein, damit ein Zufrieren der Flußspatbunker der Flotationsanlage, die nicht als Entwässerungsbunker ausgelegt sind, verhindert wird.

- **Feinsand**

Der Unterlauf des Grobsandentwässerungssiebes wird einem Zyklon aufgegeben, dessen Unterlauf wiederum auf einem Entwässerungssieb entwässert wird. Dieser Sand wird aus der Anlage ausgeschleust und je nach Bedarf und Möglichkeit über die Außenaufgabe der Flußspatflotation zugegeben.

- **Produkte der Setzmaschine**

Bei der Verarbeitung von Schwerspaterzen kommt in manchen Fällen eine Feinkornsetzmaschine zum Einsatz. Durch den Einsatz der Setzmaschine kann der Weißegrad der Schwerspatprodukte verbessert werden.

## **4. Nachweis der Porosität und deren Auswirkungen**

Das Erkennen und der Nachweis der Porosität in den Flußspatkörnern kann als eine der wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit genannt werden. Die Quantifizierung der Porosität gestaltete sich zunächst schwierig, da für eine einfache Bestimmung des Porenvolumens meist das Volumen der zu untersuchenden Probe bekannt oder berechenbar sein muss. Natürliche Körner eines Zerkleinerungsprozesses sind meist zu klein, um daraus geeignete Prüfkörper herstellen zu können. Die Schwankungen der Ergebnisse eines Tränkverfahrens waren sehr hoch und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben, sodass andere Methoden angewandt werden mussten. Auf die Quecksilberporosimetrie wurde bis auf wenige Vergleichsmessungen verzichtet, da ein solches Gerät für tagtägliche Untersuchungen nicht zur Verfügung stand, vor allem aber weil die Proben im Anschluss an die Bestimmung der Porosität für weitere Untersuchungen verfügbar sein mussten. Daher wurde auf die Bestimmung mittels zweier Pyknometer zurückgegriffen. Neben dem Helium-Pyknometer für die Reindichte wurde ein Pyknometer zur Bestimmung des einhüllenden Volumens verwendet.

### **4.1. Erste Anhaltspunkte und Hinweise**

In den ersten Betriebsuntersuchungen in der Schwertrübeanlage Wolfach wurden die einstellbaren Parameter – wie z.B. Druck der Aufgabetrübe und Aufgaberate oder auch geometrische Veränderungen am Tri-Flo-Scheider selbst – untersucht. Nachdem diese Untersuchungen keine Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich des Flußspatausbringes aufgezeigt haben, wurden die unvermischten Roherztypen einer näheren Betrachtung unterzogen.

Bei der Auswertung der Bergeproben in Korn- und Dichteklassen (Punkt 5.7) konnten bereits erste Beobachtungen gemacht werden, die auf eine Porosität des Flußspates hindeuteten. Bei der Aufgabe der Proben in die Schwerlösungen (Natriumpolywolframat) wurde das Aufsteigen von Gasblasen beobachtet. Nach dem Abschwimmen wurden die Dichteklassen mit destilliertem Wasser abgebraust, um das Natriumpolywolframat zurückzugewinnen und anschließend unter fließendem Wasser gewaschen, um die Proben zu reinigen. Beim Auswägen der Proben wurde festgestellt, dass es bei den Bergeproben aus dem Erztyp Grün und dem Schwerspaterz zu einer beträchtlichen Gewichtszunahme gekommen war (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4). Die Bergeproben des Diagonaltrums hingegen zeigen eine weitaus geringere Gewichtszunahme (Tabelle 5).

Korngrößenklasse	Masse nach SSA	Masse vor SSA	Differenz	Differenz
[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]
18/10	161,2	153,6	7,62	4,73
10/6,3	118,8	113,3	5,47	4,61
6,3/4	102,9	97,6	5,32	5,17
4/2	160,5	153,9	6,60	4,11
2/1	159,3	155,7	3,57	2,24

Tabelle 3: Massen der Korngrößenklassen nach der Schwimm-Sink-Analyse und laut Korngrößenverteilung, Grün 1,4 bar

Korngrößenklasse	Masse nach SSA	Masse vor SSA	Differenz	Differenz
[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]
18/10	577,5	568,3	9,2	1,62
10/6,3	352,4	344,5	7,9	2,29
6,3/4	279,0	272,3	6,7	2,46

Tabelle 4: Massen der Korngrößenklassen nach der Schwimm-Sink-Analyse und laut Korngrößenverteilung, Schwerspaterz 1,4 bar

Die Gewichtszunahme weist auf Hohlräume hin, die sich während der Schwimm-Sink-Analyse mit der Natriumpolywolframatlösung gefüllt hatten. Trotz der Reinigung der Proben mit Wasser muss ein Teil der Schwerelösung in den Hohlräumen verblieben sein und nach der Trocknung die Gewichtszunahme hervorgerufen haben.

## 4.2. Bestimmung der Porosität

In Hinblick auf die Aufbereitung mittels Dichtesortierung waren Kenntnisse über die Verteilung und die Größe der Porosität von Bedeutung. Es wurden einige Verfahren angewendet, um die Porosität nachzuweisen und auch quantitativ zu bestimmen.

Korngrößenklasse	Masse nach SSA	Masse vor SSA	Differenz	Differenz
[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]
18/10	377,1	376,4	0,71	0,19
10/6,3	216,6	215,4	1,22	0,56
6,3/4	140,6	139,5	1,09	0,78
4/2	174,5	173,4	1,13	0,65
2/1	112,5	112,1	0,36	0,32

Tabelle 5: Massen der Korngrößenklassen nach der Schwimm-Sink-Analyse und laut Korngrößenverteilung, Diagonaltrum 1,8 bar

#### 4.2.1. Bestimmung der Porosität mit der Einhängemethode

Die Bestimmung nach der Einhängemethode ist ein einfaches Verfahren, das auf Wägungen der Probe im trockenen Zustand, unter Wasser und im wassersatten Zustand basiert. Dabei ist es von Vorteil, wenn ein Probenkörper mit definiertem Volumen hergestellt werden kann. Bei unregelmäßigen Proben wird die Bestimmung des Volumens etwas schwieriger.

Bei der Untersuchung an Körnern aus Zerkleinerungsprodukten kommen folgende Schwierigkeiten hinzu:

- Ein definierter Probekörper kann in den wenigsten Fällen hergestellt werden.
- Die Definition des wassersatten Zustandes ist schwierig.
- Die vollständige Sättigung der Probe mit Wasser kann nicht überprüft werden.

Es wurden einige Bestimmungen durchgeführt, jedoch konnten die Ergebnisse nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit reproduziert werden. Aus diesem Grund wurden andere Bestimmungsmethoden angewendet.

#### 4.2.2. Bestimmung der Porosität mit Hilfe von Anschliffen

Als Voruntersuchung wurden ausgewählte Körner mit einem Schleifpapier angeschliffen. Die geschliffene Oberfläche wurde mit einem wasserfesten Stift bemalt, um die Porenflächen nach wiederholtem Schleifen sichtbar zu machen. Dabei wurde die Farbe von den Körnern wie von einem Schwamm aufgesogen. Um die Schliffoberfläche besser bearbeiten zu können, wurden die Körner in

Kunstharz eingebettet und angeschliffen.

#### 4.2.2.1. Anschliff von Körnern größer 8 mm (Schliff Nr. 875)

Abbildung 8 zeigt die schwammartige Struktur des Korns, deren Auswertung hinsichtlich der Porenfläche aber auf Grund der Durchsichtigkeit des Flußspates und dem Durchscheinen der schwarzen Farbe nicht möglich war. Gut zu erkennen sind aber einige größere Poren und die von der aufgesogenen Farbe schwarz gefärbte, schwammartige Struktur.

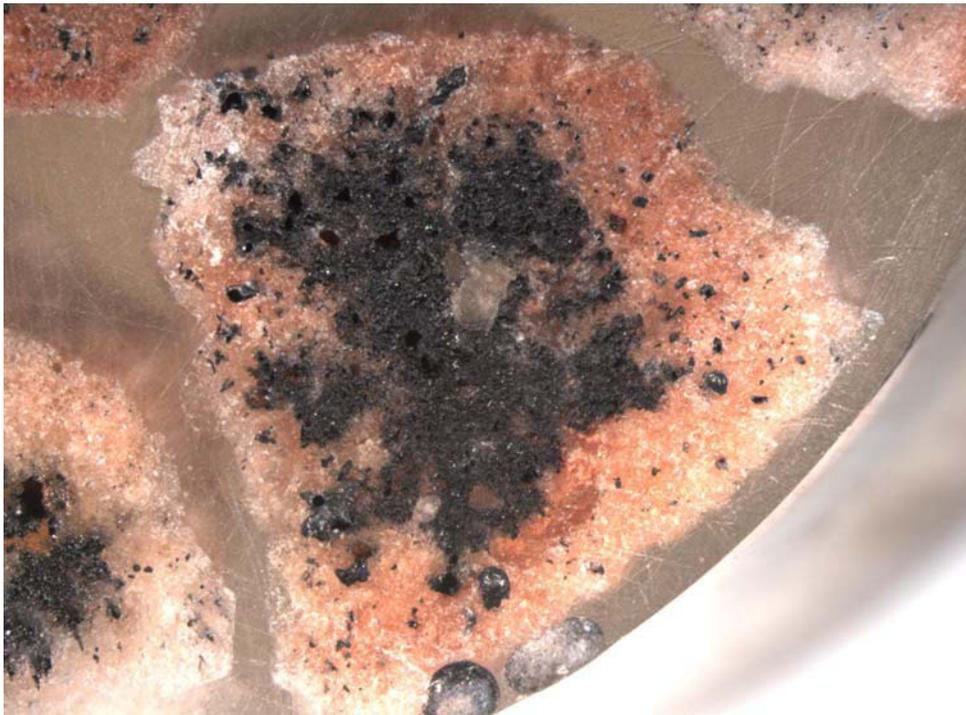


Abbildung 8: Angeschliffenes Flußspatkorn, Einfärbung mit Permanentmarker

Um eine Auswertung zu ermöglichen, wurde das Einfärben der Poren mit einem Lackstift wiederholt. Mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware des Stereomikroskopes (Erhöhung der Farbtintensität) konnte folgende Abbildung 9 aufgenommen werden. Mit dieser Methode der Anschliffherstellung und der Auswertesoftware war es in weiterer Folge möglich, die Porenflächen zu bestimmen.



Abbildung 9: Einfärbung der Poren mit Lackstift, erhöhte Farbintensität

#### 4.2.2.2. Anschliff der Dichteklasse 2,72/3,32 g/cm<sup>3</sup> (Schliff Nr. 878)

Für die Herstellung des Schliffes Nr. 878 wurde eine Teilprobe der Dichteklasse 2,74/3,32 g/cm<sup>3</sup> der Korngrößenklasse 2/1 mm eingebettet, Abbildung 10 zeigt den Anschliff. Es waren sowohl Körner ohne Poren als auch viele poröse Körner feststellbar. In Abbildung 11 ist ein Teilbereich vergrößert dargestellt, der mit der Auswertesoftware des Stereomikroskopes bearbeitet wurde. Mit Hilfe dieser Software konnten die Porenflächen vermessen werden. Die Ergebnisse der Vermessung der Porenfläche dieser Körner ist in Tabelle 6 aufgelistet. Ein Beispiel für die Auswertung eines Kornes ist in Abbildung 12 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass kleine Poren nur sehr schwer zu erkennen, von Innenreflexen zu unterscheiden und auf Grund der beschränkten Auflösung der Digitalkamera schwer zu erfassen sind. Aus diesem Grund konnten Poren mit einer Fläche < 200 µm<sup>2</sup> nicht ausgewertet werden. Für die Vermessung der Flächen waren die Bilder allein nicht immer aussagekräftig, denn große und tiefgehende Poren wurden nicht vollständig mit Lack gefüllt und erschienen schwarz. Teilweise traten durch die Beleuchtung Schatten auf, die ebenfalls dunkel erschienen. Die Unterscheidung von dunklen Einschlüssen war nur unter dem Stereomikroskop möglich. Auch die Unterscheidung zwischen den mit Lack gefüllten Porenräumen und Reflexionen im Mineral war auf den Bildern in digitaler Form nicht immer möglich. Das machte ein gleichzeitiges Arbeiten mit Software und Stereomikroskop nötig.



Abbildung 10: Anschliff der Korngrößenklasse 2/1mm, 2,74/3,32 g/cm<sup>3</sup>

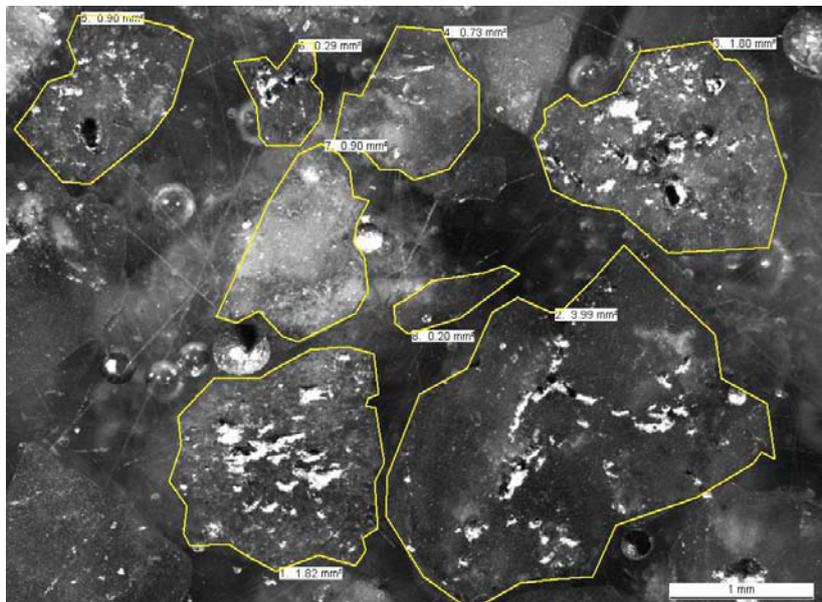


Abbildung 11: Vergrößerter Teilbereich

Korn	Gesamtfläche	Porenfläche	Porenfläche
Nummer	[ $\mu\text{m}^2$ ]	[ $\mu\text{m}^2$ ]	[%]
1	1.734.091	293.829	16,94
2	3.862.317	270.492	7,00
3	1.791.494	303.977	16,97
4	743.353	24.995	3,36
5	876.190	97.282	11,10
6	286.694	43.995	15,35

Tabelle 6: Auswertung der in Abbildung 11 dargestellten Körner

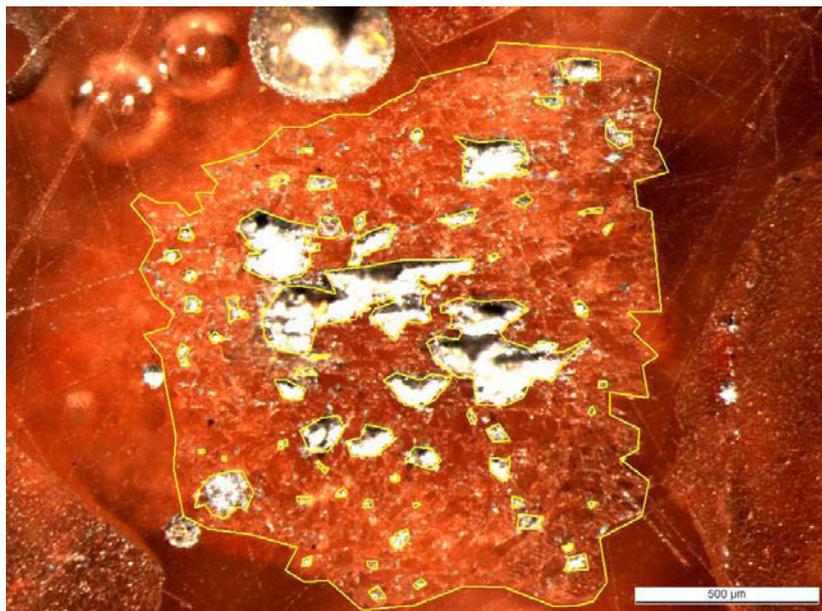
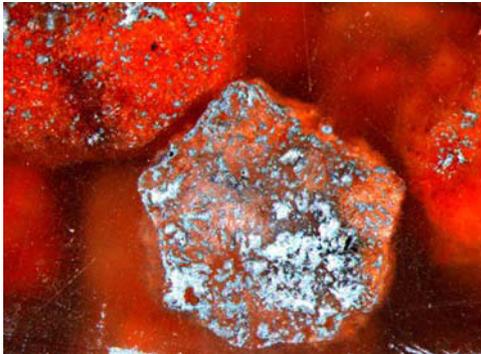


Abbildung 12: Auswertung der Poren an Korn Nr.1 aus Abbildung 11

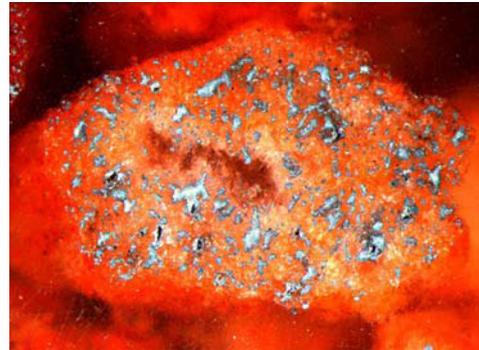
#### 4.2.2.3. Anschliff eines Klaubeproduktes aus der Dichteklasse < $2,72 \text{ g/cm}^3$ aus den Bergen (Schliff Nr. 880)

Die porösen Flußspatkörner aus Schliff Nr. 878 zeigten eine orange Färbung. Daher wurden für den nächsten Anschliff aus den Schwimmprodukten bei  $2,72 \text{ g/cm}^3$  der Berge der Korngrößenklassen 4/2 und 2/1 mm Körner mit gleichem Erscheinungsbild wie das der zuvor untersuchten Flußspatkörner

ausgeklaut. Die Auswertungen der Körner dieses Anschliffs ergaben sehr hohe Anteile an Porenfläche (Abbildung 13) in den einzelnen Flußspatkörnern.



Korn mit 37 % Porenfläche



Korn mit 19 % Porenfläche

Abbildung 13: Körner mit großen Porenflächen aus Schliff Nr. 880

#### 4.2.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Anschliffuntersuchungen

Die Bestimmung der Porosität an Anschliffen war mit großem Aufwand verbunden. Neben der Herstellung der Schläffe selbst kam auch noch die langwierige Auswertung mit der Messsoftware des Stereomikroskopes hinzu.

Die Auswertung erfasste nur Porenflächen, die eine Fläche größer etwa  $200 \mu\text{m}^2$  aufwiesen. Die Gesamtporosität ließ sich somit nur mit gewissen Einschränkungen in Bezug auf die feinsten Poren bestimmen. Wie die Abbildungen der Anschliffe zeigen, ist von einer inhomogenen Verteilung der Porosität auszugehen.

#### 4.2.3. Bestimmung der Porosität durch Pyknometermessungen

Mit Hilfe von Pyknometern wurden Volumina von Proben durch den Einsatz von Fluiden als Messmedium bestimmt. Beim GeoPyc 1360 diente als Fluid ein Kunststoffgranulat, wodurch sich einige Vorteile ergaben.

##### 4.2.3.1. Bestimmung der geschlossenen Porosität

Mit dem Heliumpyknometer wurde das Volumen der vorgelegten Probe ermittelt. Die gesamte offene Porosität füllte sich mit Gas und trug daher nichts zum Volumen der Probe bei. Die geschlossenen Poren hingegen wurden nicht gefüllt. So konnte mit diesem Pyknometer nur eine Form der Rohdichte gemessen werden, die den Anteil der geschlossenen Porosität einschließt. Um dennoch eine Reindichte des Stoffes zu ermitteln, musste ein Teil der Probe aufgemahlen werden, damit die

geschlossene Porosität verringert bzw. aufgeschlossen wurde. Die geschlossene Porosität konnte mit der unten angeführten Gleichung 1 berechnet werden.

$$P_{\text{geschl.}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{Roh}}}{\rho_{\text{Rein}}}\right) \cdot 100\% \quad \text{Glg. 1}$$

Für diese Untersuchungen wurde eine Probe der Tri-Flo-Aufgabe in Kornklassen eingeteilt und mit organischen Schwereflüssigkeiten abgeschwommen, da diese im Gegensatz zu den Natriumpolywolframatlösungen rückstandsfrei von den Körnern und aus den Poren entfernbar waren. Die obere Grenze der Dichteklasse wurde mit 3,32 g/cm<sup>3</sup> gewählt. Da es keine auffallenden Verwachsungen zwischen Flußspat und Schwerspat gab, konnte mit diesem Trennschnitt der Schwerspat abgetrennt werden. Für diesen Trennschnitt wurde reines Dijodmethan verwendet. Die untere Grenze wurde bei einer Dichte von 2,74 g/cm<sup>3</sup> festgelegt, um die Hauptbergekomponenten Quarz, Beton und Gneis abzutrennen.

Die Dichtebestimmung der Dichteklassen 2,74/3,32 g/cm<sup>3</sup> erfolgte mit einem Heliumpyknometer. Die Werte sind in Tabelle 7 dargestellt und liegen nahe an der berechneten Dichte für reinen Flußspat (3,18 g/cm<sup>3</sup>). Eine Teilprobe der Korngrößenklasse 1/0,5 mm wurde auf 100 % kleiner 40 µm zerkleinert und die Reindichte zu 3,175 g/cm<sup>3</sup> bestimmt. Daraus ergibt sich die geschlossene Porosität nach Gleichung 1 mit den in Tabelle 7 dargestellten Werten. Auch die durch den Aufschluss der geschlossenen Porosität erwartete Zunahme der Dichte mit fallender Korngröße war erkennbar.

Korngrößenklasse	Rohdichte	geschlossene Porosität
[mm]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
6,3/4	3,133	1,32
4/2	3,141	1,07
2/1	3,145	0,94
1/0,5	3,161	0,44
0,5/0,315	3,152	0,72

Tabelle 7: Ergebnisse der Dichtebestimmung und der Bestimmung der geschlossenen Porosität der Dichteklassen 2,74/3,32 g/cm<sup>3</sup>

Die in Tabelle 7 angegebenen geschlossenen Porositäten bezogen sich auf die Aufgabe und konnten daher als Mittelwert angesehen werden.

#### 4.2.3.2. Bestimmung der geschlossenen Porosität an Klaubeprodukten aus den Bergen < 2,7 g/cm<sup>3</sup>

Für diese Vergleichsuntersuchung wurden aus den Dichteklassen < 2,7 g/cm<sup>3</sup> orangefarbige Körner ausgeklaubt. Die Dichten der Klaubeprodukte wurden mit dem Heliumpyknometer bestimmt. Anschließend wurden auch diese Proben eingebettet und angeschliffen (Anschliffe siehe Punkt 4.2.2.3). Der Rest der Probe 4/2 mm wurde auf 100 % kleiner 40 µm zerkleinert und die Dichte abermals mit dem Heliumpyknometer zu 3,078 g/cm<sup>3</sup> bestimmt. Diese verringerte Reindichte kann durch eventuell vorhandene Verwachsungen hervorgerufen worden sein.

Die Ergebnisse in Tabelle 8 zeigen im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Ergebnissen doppelt so hohe Werte für die geschlossene Porosität.

Korngrößenklasse	Rohdichte	Porosität
[mm]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
4/2	3,013	2,11
2/1	3,006	2,34

Tabelle 8: Ermittlung der geschlossenen Porosität, Klaubeprodukte < 2,72 g/cm<sup>3</sup>

#### 4.2.3.3. Detaillierte Untersuchungen an Bergeproben

Die Untersuchungen wurden an den beiden Korngrößenklassen 6,3/4 und 2/1 mm einer Bergeprobe durchgeführt, wobei die Aufgabe auf den Tri-Flo-Scheider zum Zeitpunkt der Probenahme aus einer Mischung (Flußspaterz Grün : Diagonaltrum = 3:1) bestand. Als Vergleichsproben dienten die Kornklasse 2/1 mm zweier Bergeproben der Erztypen Diagonaltrum und Grün.

Die Korngrößenklassen wurden in Natriumpolywolframatlösungen mit Dichten zwischen 3,0 und 2,5 g/cm<sup>3</sup> abgeschwommen. Insgesamt wurden so sieben Dichteklassen hergestellt, die anschließend gut gewaschen wurden, um Natriumpolywolframatreste zu entfernen. Die Dichten der Dichteklassen wurden sowohl mit dem Heliumpyknometer als auch mit dem GeoPyc 1360 bestimmt. Aus diesen Dichtewerten konnte die Porosität berechnet werden. Zusätzlich wurden die Dichteklassen nasschemisch analysiert.

Mit Hilfe der Porosität wurde die scheinbare Dichte des Kornes bei vollständiger Sättigung mit Wasser berechnet. Dabei stellte sich heraus, dass sämtliche Dichteklassen eine durchschnittliche scheinbare Dichte aufwiesen, die geringer als jene des Trennschnittes ( $T_{50} = 2,98 \text{ g/cm}^3$ ) war (siehe Tabelle 9). Somit kann hier im Sinne der Dichtesortierung nicht von einem Fehlaustrag gesprochen werden.

Dichte- klasse	Masse	Durchgang	Dichte Helium- pyknometer	Dichte GeoPyc 1360	Porosität	Dichte bei Wasser- sättigung
[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]
> 3,0	8,66	91,34	3,193	2,757	13,7	2,893
> 2,9	5,52	85,82	3,196	2,506	21,6	2,722
> 2,8	11,43	74,39	3,204	2,332	27,2	2,604
> 2,7	13,65	60,74	3,216	2,161	32,8	2,489
> 2,6	12,85	47,89	3,015	2,248	25,4	2,502
> 2,5	46,20	1,69	2,719	2,369	12,9	2,498
< 2,5	1,69	0,00	2,758	1,971	28,5	2,256
Summe	100,00		2,931	2,345	20,0	

Tabelle 9: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, 2/1 mm

Die Ergebnisse der nasschemischen Analysen der Dichteklassen sind in Tabelle 10 aufgelistet. Bis zur Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  handelte es sich um beinahe reinen Flußspat mit steigenden Anteilen an Verwachsungen, deren  $\text{SiO}_2$ -Gehalt von 1,3 auf 4,5 % stieg. Die Dichteklasse  $> 2,6 \text{ g/cm}^3$  zeigte einen  $\text{CaF}_2$ -Gehalt von 51 %, der aber nicht in Verwachsungen vorlag. Die Dichteklasse  $< 2,5 \text{ g/cm}^3$  bestand aus reinem Beton (optische Beurteilung), die chemische Analyse wies allerdings auch  $\text{CaF}_2$  aus. Ein Fehler dürfte bei der Analyse der Dichteklasse  $> 2,5 \text{ g/cm}^3$  aufgetreten sein, da die Summe größer als 100 % war. Der Flußspatgehalt der Korngrößenklasse lag mit 45,2 % deutlich über der Durchschnittsanalyse der Gesamtberge (37,1 %). Damit zeigte sich, dass sich die Flußspatverluste im Feinkornbereich vergrößerten.

Dichteklasse	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Summe
[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
> 3,0	96,4	0,57	1,3	1,42	99,69
> 2,9	95,5	0,67	2,3	1,37	99,84
> 2,8	94,3	0,61	2,0	1,45	98,36
> 2,7	93,1	0,44	4,5	1,37	99,41
> 2,6	51,0	0,33	32,6	2,07	86,00
> 2,5	2,8	0,11	85,9	18,50	107,31
< 2,5	12,2	0,20	58,3	14,40	85,10
Summe	45,2	0,31	45,9	9,61	

Tabelle 10: Nasschemische Analyse der Dichteklassen, 2/1 mm

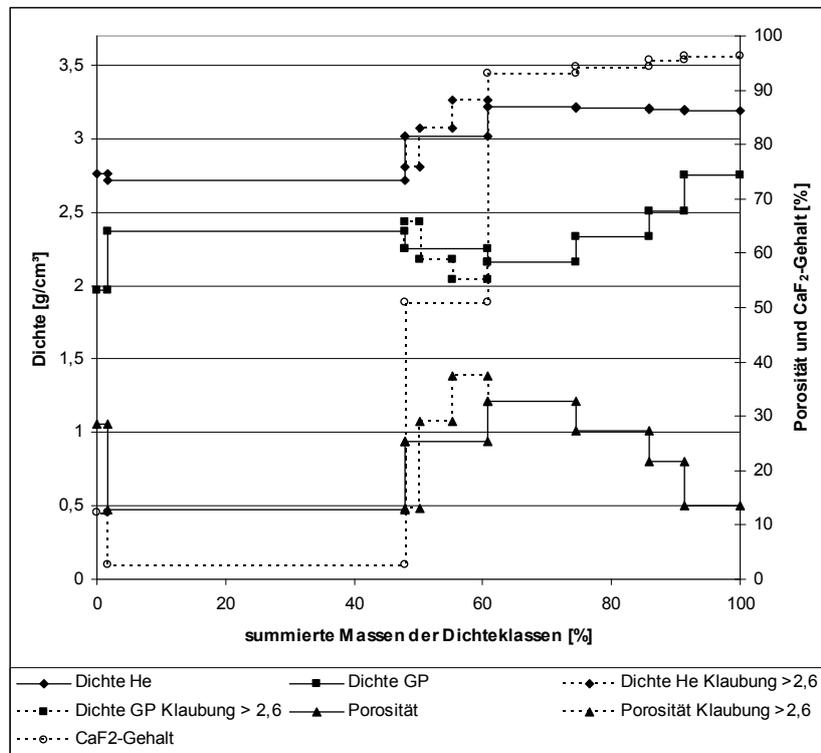


Abbildung 14: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, 2/1 mm

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt. Auf der Ordinate wurde die summierte Masseverteilung der Dichteklassen beginnend bei der leichtesten aufgetragen, auf der Abszisse die Dichten der Dichteklassen. Auf der Sekundärachse wurden die Porosität und der Flußspatgehalt der Dichteklassen aufgetragen.

Mit Karos wurden die Werte der Dichtebestimmung mit dem Heliumpyknometer gekennzeichnet, mit Quadraten die Werte des GeoPyc 1360. Die Dreiecke markierten die daraus berechneten Porositäten. Die unterbrochenen Linien mit Karo, Quadrat und Dreieck stellten die Ergebnisse einer Klaubung der Dichteklasse  $> 2,6 \text{ g/cm}^3$  dar. Der  $\text{CaF}_2$ -Gehalt wurde strichliert eingezeichnet und mit Kreisen markiert.

Dichte- klasse	Masse	Durchgang	Dichte Helium- pyknometer	Dichte GeoPyc 1360	Porosität	Dichte bei Wasser- sättigung
[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]
3	0,86	99,14	3,191	2,891	9,4	2,985
2,9	1,56	97,58	3,192	2,692	15,7	2,849
2,8	7,04	90,54	3,176	2,440	23,2	2,672
2,7	11,28	79,26	3,054	2,277	25,5	2,531
2,6	28,32	50,93	2,833	2,419	14,6	2,565
2,5	42,42	8,51	2,687	2,440	9,2	2,532
2,4	8,51	0,00	2,692	2,150	20,1	2,351
Summe	100,00		2,808	2,394	14,6	

Tabelle 11: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, 6,3/4 mm

Die bis zur Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  steigenden Dichtewerte des Heliumpyknometers konnten auf Natriumpolywolframat in den Poren zurückgeführt werden. Gleichzeitig sanken die Dichtewerte des GeoPyc 1360 stark ab. Dies führte zu immer höheren Porositäten bis zu 32,8 %. Die Dichteklasse  $> 2,5 \text{ g/cm}^3$  wies mit einer Porosität von 12,9 % einen vergleichsweise geringen Wert auf.

Die Klaubung der Dichteklasse  $> 2,6 \text{ g/cm}^3$  in drei farblich unterscheidbare Klassen ergab die

zusätzlich eingetragenen strichlierten Linien. Dabei war ein Anstieg der Porosität auf 37,5 % in einer Klaubeklasse feststellbar. Eine gute Übereinstimmung der Helium-Pyknometerdichten ergab sich mit dem  $\text{CaF}_2$ -Gehalt aus den chemischen Analysen.

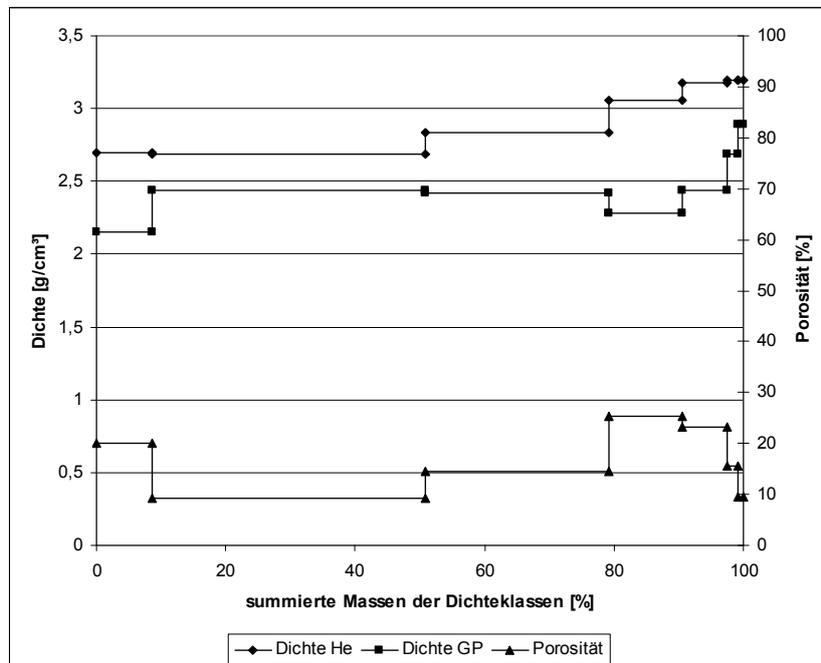


Abbildung 15: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, 6,3/4 mm

Ein ähnliches, aber bei weitem nicht so drastisches Bild (Abbildung 15) ergab die Auswertung (Tabelle 11) der Korngrößenklasse 6,3/4 mm. Auf eine nasschemische Analyse der Dichteklassen wurde verzichtet.

Die Vergleichsuntersuchungen an der Korngrößenklasse 2/1 mm einer Bergeprobe des Diagonaltrums ergaben das in Abbildung 16 dargestellte Ergebnis. Es fand sich zwar ein gewisser Anteil der Dichteklasse  $> 3 \text{ g/cm}^3$  (He-Pyknometer) in den Bergen wieder, dieser war allerdings mit etwa 9 % um ein Vielfaches geringer als bei der vergleichbaren Korngrößenklasse beim Erztyp Grün (45 %, siehe Abbildung 14). Die Porosität der Flußspatfraktionen lag nur in einer Dichteklasse ( $> 2,8 \text{ g/cm}^3$ ) knapp über der des Nebengesteins und sollte aus diesem Grund das Trennergebnis nicht in dem Ausmaß negativ beeinflussen, wie es beim Erztyp Grün der Fall war.

Eine Untersuchung an der Korngrößenklasse 2/1 mm des Bergeproduktes (Erztyp Grün) bestätigte die bereits zuvor gemachten Beobachtungen. Wie aus Abbildung 17 ersichtlich, ist die Masse der Dichteklasse  $> 3 \text{ g/cm}^3$  (Heliumpyknometer) mit 25 % zwar etwas geringer als bei der in Abbildung 14 dargestellten Bergeprobe, die Beträge der Porosität sind mit Werten um 28 % aber wiederum sehr hoch. Die daraus berechnete scheinbare Dichte dieser Klasse lag bei etwa  $2,6 \text{ g/cm}^3$  bei vollständiger Wasserfüllung der Poren.

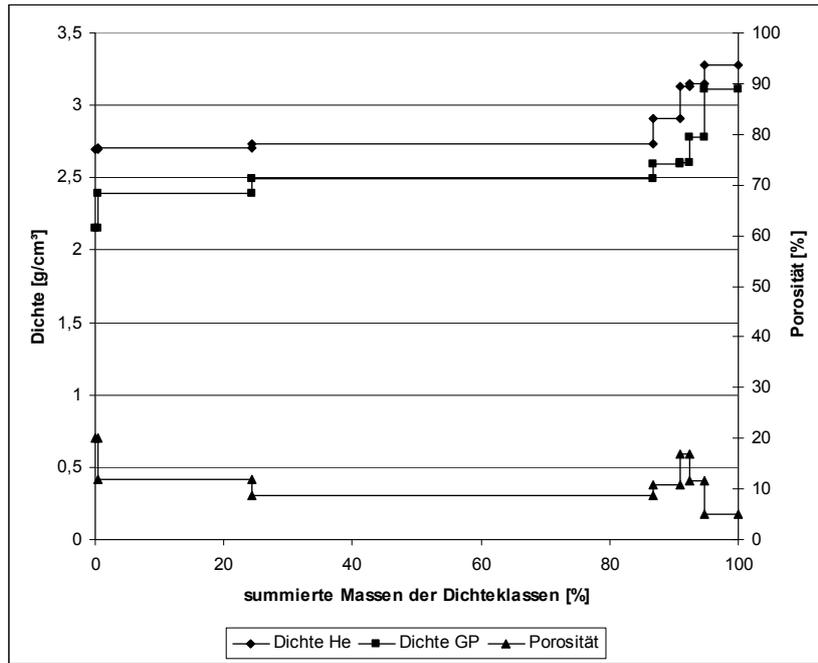


Abbildung 16: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, Diagonaltrum, 2/1 mm

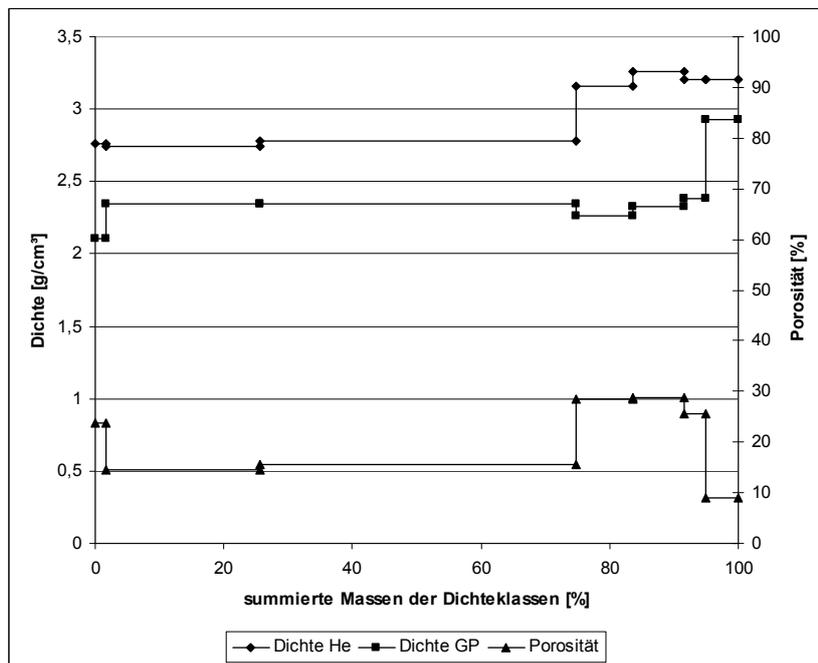


Abbildung 17: Graphische Darstellung der Porositätsuntersuchungen, Grün, 2/1 mm

#### 4.2.4. Vergleichsmessungen mit einem Quecksilberporosimeter

Um die Ergebnisse der Porositätsbestimmung abzusichern, wurden Vergleichsmessungen an zwei Proben durchgeführt. Teilproben der Klassen > 3,0 g/cm und 2,7/2,8 g/cm<sup>3</sup> aus der in Abbildung 14

dargestellten Ergebnisse wurden mit einem Quecksilberporosimeter untersucht. Weiters wurden dieselben Proben wiederholt mit dem GeoPyc 1360 überprüft und zusätzlich verschiedene Teilproben untersucht.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Werte der Quecksilberporosimetrie nur knapp außerhalb der Schwankungsbreite der Pycnometermesswerte liegen und damit eine ausreichende Übereinstimmung gegeben ist.

Dichteklasse	> 3 g/cm <sup>3</sup>	2,8/2,7 g/cm <sup>3</sup>
Mittelwert aus 8 Messungen	12,5±0,2	32,7±0,2
Mittelwert aus 4 Teilproben	13,2±0,3	33,0±0,6
Quecksilberporosimetrie	12,9	33,9

Tabelle 12: Vergleichsmessungen der Porosität in [%], GeoPyc - Quecksilberporosimetrie

### 4.3. Untersuchungen zum Aufschlussverhalten der Porosität

Für diese Untersuchungen stand eine Sammelprobe der Berge der Schwertrübescheidung zur Verfügung, wobei über einige Tage hinweg ausschließlich bei der Fahrweise mit reinem Flußspaterz Grün Teilproben gezogen wurden. Die Untersuchungen umfassten die Einteilung der Probe in Korngrößenklassen, das schrittweise Zerkleinern dieser Korngrößenklassen auf < 1 mm und das Abschwimmen von Korngrößenklassen der Aufgabe und der Zerkleinerungsprodukte bei den Dichten 2,8 und 3,1 g/cm<sup>3</sup>.

Die Zerkleinerung der halben Teilproben der Korngrößenklassen 6,3/4 und 4/2 mm erfolgte in einer ersten Stufe mit einem Schlagmörser auf 100 % < 2 mm. In einer weiteren Stufe wurde auch die Kornklasse 2/1 mm mit dem Handmörser auf 100 % < 1 mm zerkleinert und mit Sieben der Maschenweiten 500 und 100 µm abgesiebt. Sowohl die Ausgangskornklassen als auch die Kornklassen der Zerkleinerungsprodukte > 0,1 mm wurden in Schwereflüssigkeiten bei den Dichten 2,8 und 3,1 g/cm<sup>3</sup> abgeschwommen. Die Dichten wurden so gewählt, dass die mittlere Dichtefraktion den porösen Anteil des Flußspates enthalten sollte.

### 4.3.1. Schwimm-Sink-Analysen der unzerkleinerten Proben

Die Gehalte der Korngrößenklasse 1/0 mm in Tabelle 13 wurden aus der Schwimm-Sink-Analyse der Kornklassen 1/0,5 und 0,5/0,1 mm berechnet (siehe Tabelle 14). Wie schon frühere Untersuchungen zeigten, konnte auch hier in den feineren Kornklassen höhere Gehalte der Dichteklasse  $> 2,8 \text{ g/cm}^3$  beobachtet werden. In dieser Dichteklasse findet sich bis auf wenige Nebenbestandteile ausschließlich Flußspat.

Aufgabe		Gehalt der Dichteklassen			Verteilung der Dichteklassen		
		< 2,8	2,8/3,1	> 3,1	< 2,8	2,8/3,1	> 3,1
Maschenweite	Masse						
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
4	26,9	89,4	9,3	1,3	32,0	12,2	8,3
2	42,7	76,1	20,7	3,2	43,3	42,8	32,2
1	23,3	62,6	31,2	6,2	19,4	35,3	33,7
0	7,1	56,2	28,2	15,6	5,3	9,7	25,8
Summe	100,0	75,1	20,6	4,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 13: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse der unzerkleinerten Probe

1/0 mm		Gehalt der Dichteklassen			Verteilung der Dichteklassen		
		< 2,8	2,8/3,1	> 3,1	< 2,8	2,8/3,1	> 3,1
Maschenweite	Masse						
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,5	64,63	51,7	35,8	12,5	59,5	82,1	51,6
0,1	35,37	64,3	14,3	21,4	40,5	17,9	48,4
Summe	100,00	56,2	28,2	15,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 14: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse der Kornklasse 1/0 mm

### 4.3.2. Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen der zerkleinerten Kornklassen

In der Tabelle 15 sind die Ergebnisse der einzelnen Korngrößenklassen zusammengefasst. Im Vergleich zu der Zusammensetzung der Aufgabe konnte ein um etwa 9 %-Punkte höherer Gehalt der Dichteklasse  $> 3,1 \text{ g/cm}^3$  festgestellt werden. Im selben Ausmaß reduzierte sich der Gehalt der Dichteklassen  $< 2,8 \text{ g/cm}^3$ . Der Anteil der porösen Fraktion blieb in etwa gleich. Diese Verschiebung konnte darauf zurückgeführt werden, dass auch ein poröser Flußspatanteil in der Dichteklasse  $< 2,8 \text{ g/cm}^3$  vorhanden ist, der wahrscheinlich auch nach der Zerkleinerung in geringerem Ausmaß erhalten blieb. Wie andere Untersuchungen gezeigt haben, findet sich der poröse Flußspat auch in Dichteklassen mit einer unteren Grenze von  $2,6 \text{ g/cm}^3$ .

Aufgabe	Masse	Gehalt der Dichteklassen			Verteilung der Dichteklassen		
		$< 2,8$	$2,8/3,1$	$> 3,1$	$< 2,8$	$2,8/3,1$	$> 3,1$
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
4	26,9	77,8	13,5	8,8	32,1	16,9	17,5
2	42,7	64,8	19,9	15,3	42,4	39,8	48,5
1	23,3	54,1	31,1	14,8	19,4	33,9	25,7
0	7,1	56,2	28,2	15,6	6,1	9,4	8,3
Summe	100,0	65,2	21,4	13,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 15: Zusammenfassung der Schwimm-Sink-Analyse der einzelnen Korngrößenklassen

### 4.3.3. Zusammenfassung der Ergebnisse des Aufschlussverhaltens der Porosität

Die Porosität des Flußspates ließ sich im Korngrößenbereich  $< 1 \text{ mm}$  zum Teil aufschließen. Auch in der Dichteklasse  $< 2,8 \text{ g/cm}^3$  der Aufgabe befand sich poröser Flußspat, da der Gehalt dieser Dichteklasse nach der Zerkleinerung von 75 % auf 65 % zurückging. Wäre dies nicht der Fall, wäre es nur zu einer Verschiebung der Gehalte der Dichteklassen  $> 2,8 \text{ g/cm}^3$  gekommen. Nach der Zerkleinerung lag noch immer ein beachtlicher Anteil (21,4 %) in der Dichteklasse  $2,8/3,1 \text{ g/cm}^3$  vor,

die den porösen Flußspat enthielt.

Der Anteil der Dichteklasse  $> 3,1 \text{ g/cm}^3$  konnte von 4 auf 13 % gesteigert werden. Dieser Anstieg zeigte zwar, dass es zu einem Teilaufschluss der Porosität kam, aber eine Aufbereitung mittels Dichtesortierung auf Grund des mit 21,4 % noch immer hohen Gehaltes der Dichteklasse  $< 3,1 \text{ g/cm}^3$  wieder große Verluste mit sich bringen würde.

#### 4.4. Untersuchungen an Dünnschliffen von Flußspatkörnern

Ziel dieser Untersuchungen war es, eventuelle Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung und der in Teilen der Lagerstätte auftretenden Porosität zu bestimmen. Dazu wurden Dünnschliffe aus Körnern der betreffenden Bereiche angefertigt und mit einem Rasterelektronenmikroskop und Mikrosonde untersucht. Diese Untersuchungen wurden von Prof. Dr. O. Thalhammer vorgeschlagen und begleitet. In Abbildung 18 ist ein Ausschnitt aus einem Korn aus dem Flußspaterz Grün dargestellt. Gut zu erkennen sind die ungerichtete Orientierung und die unterschiedlichen Größen der Poren.

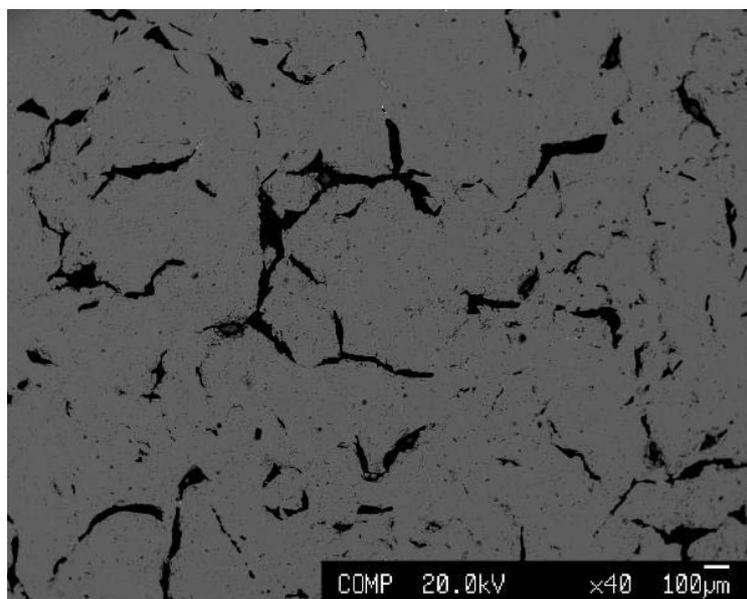


Abbildung 18: Poren im Korn aus dem Flußspaterz Grün

Die Ergebnisse der Untersuchungen (Tabelle 16 und Tabelle 17) zeigten keine deutlichen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung des Flußspates aus den unterschiedlichen Lagerstättenbereichen und innerhalb der Körner selbst. Spurenelemente konnten mit der Mikrosonde nicht nachgewiesen werden.

Element	Gesamt	Rand	Mitte	Zentrum
	[%]	[%]	[%]	[%]
F	51,079	50,932	51,596	50,708
Mg	0,006	0,009	0,005	0,003
Cl	0,013	0,015	0,015	0,009
Ca	49,620	49,436	49,570	49,853
K	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,008	0,015	0,000	0,010
Fe	0,005	0,004	0,000	0,010

Tabelle 16: Durchschnittswerte der Ergebnisse der Mikrosondenuntersuchung, Flußspaterz Grün

Element	Gesamt	Rand	Mitte	Zentrum
	[%]	[%]	[%]	[%]
F	50,430	50,118	50,313	50,860
Mg	0,005	0,001	0,012	0,002
Cl	0,040	0,030	0,040	0,050
Ca	49,352	49,837	49,374	48,844
K	0,002	0,000	0,006	0,000
Na	0,009	0,009	0,013	0,004
Fe	0,004	0,011	0,000	0,000

Tabelle 17: Durchschnittswerte der Ergebnisse der Mikrosondenuntersuchung, Diagonaltrum

Im Vergleich zur berechneten Zusammensetzung von  $\text{CaF}_2$  mit 51,33 % Ca und 48,67 % F war das Verhältnis in den Proben etwas in Richtung F verschoben. Dies wurde auf die Kalibration der

Mikrosonde zurückgeführt, da es sich um sehr leichte Elemente handelt und die Kalibration dadurch erschwert war.

Als einzigen erkennbaren Unterschied konnten die etwas höheren Chlorwerte des Diagonaltrums angegeben werden. Ansonsten wurden keine wesentlichen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung festgestellt.

Ein Scan auf Spurenelemente, wie Uran, Thorium, Blei, u.a. in den Flußspatkörnern blieb sowohl im Hauptflußspatgang als auch im Diagonaltrum ergebnislos. Die Ergebnisse sind im Anhang ausgewiesen und zeigen einige Peaks, die jedoch gerätespezifisch waren. Die Ausschläge sind viel zu klein, um auf das Vorhandensein von Spurenelementen hinzudeuten.

## 4.5. Auswirkungen der Porosität auf die Dichtesortierung

Die Porosität beschränkt sich auf den Hauptflußspatgang und den Flußspatanteil im Schwerspatgang. Das Erz aus dem Diagonaltrum zeigt weitaus geringere Porositäten und Anteile an porösen Körnern. In Hinblick auf ein möglichst vollständiges Inhaltsausbringen an Flußspat muss festgehalten werden, dass daher Verfahren der Dichtesortierung immer mit großen Flußspatverlusten behaftet sein werden.

Durch die Porosität wird die scheinbare Dichte der Körner herabgesetzt. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass sich die Poren nicht mit Schwertrübe, sondern nur mit Wasser füllen. Dadurch werden poröse Flußspatkörner, die zu mehr als 96 % aus Flußspat bestehen und eine Helium-Pyknometerdichte von größer  $3,1 \text{ g/cm}^3$  aufweisen, in den Bergen ausgetragen, da die Porosität zu einer scheinbaren Dichte von  $2,7 \text{ g/cm}^3$  und darunter führt. Diese Körner sind auch mit anderen Verfahren der Dichtesortierung wie z.B. Setzarbeit nicht vom Nebengestein zu trennen.

Auch im Bereich der Feinkorndichtesortierung wirkt sich die Porosität auf die Trennergebnisse aus. So konnte beim Flußspaterz Diagonaltrum ein Bergeprodukt mit einem  $\text{CaF}_2$ -Gehalt von etwa 10 % hergestellt werden, beim Flußspaterz Grün hingegen musste ein  $\text{CaF}_2$ -Gehalt von bis zu 50 % festgestellt werden, wodurch eine Bergeabscheidung bei diesem Erztyp nicht sinnvoll erscheint.

Durch die Untersuchung zum Aufschlussverhalten der Porosität wurde gezeigt, dass die Zerkleinerung des mit porösen Flußspat behafteten Bergeanteils auf  $100 \% < 1 \text{ mm}$  zu keinem vollständigen Aufschluss der Porosität führt, wodurch eine anschließende Dichtesortierung noch immer beträchtliche Flußspatverluste auf Grund der Porosität aufweisen würde.

Verfahren, die andere Trennmerkmale als die Dichte nutzen, könnten auch den porösen Flußspatanteil nutzbar machen. Möglichkeiten dafür wären z.B. die sensorgestützte Sortierung und die Sortierung im elektrostatischen Feld.

## 5. Untersuchungen zur Schwertrübescheidung

Über Jahre hinweg zeigten die chemischen Analysen des Bergeproduktes der Schwertrübescheidung stark wechselnde hohe Gehalte an  $\text{CaF}_2$ . Die aus den Daten mögliche Abschätzung des Verlustes an Flußspat erreichte in manchen Fällen bis zu 25 % des Flußspatinhaltendes und konnte bis jetzt nicht erklärt werden. Immer wieder wurde dieser Umstand auf eine falsche Fahrweise des Trennaggregates der Bergevorabscheidung - einem Tri-Flo-Scheider - zurückgeführt.

Ziel der Versuche war es daher zunächst, durch systematische Betriebsversuche vor Ort eine optimale Fahrweise der Trennaggregate zu finden, um die Flußspatverluste zu verringern oder gänzlich auszuschalten. Diese Untersuchungen erbrachten aber nicht die gewünschten Erfolge, denn wie schon unter Punkt 4 erwähnt, konnte als Grund der Flußspatverluste die rohgutspezifische Porosität verantwortlich gemacht werden.

### 5.1. Theoretische Aspekte der Schwertrübescheidung [4]

Die Schwertrübescheidung ist ein Verfahren der Dichtesortierung. Dabei werden die Dichteunterschiede der Minerale ausgenutzt, um diese zu trennen. In einer Schwertrübe mit einer vorgegebenen Dichte schwimmen Körner mit geringerer Dichte auf und können so von den Körnern mit höherer Dichte, die absinken, getrennt werden.

Die Einteilung der Trennapparate kann über das für die Trennung verwendete Kraftfeld getroffen werden. So gibt es einerseits Trennapparate, die sich nur der Schwerkraft bedienen, wie zum Beispiel der Konusscheider oder der Trommelscheider. Im Fliehkraftfeld arbeitende Apparate, wie zum Beispiel ein Schwertrübezyklon, können feinere Körnungen bis etwa 1 mm Minimalkorn verarbeiten.

In der Schwertrübescheidung werden Schwertrüben aus gemahlenden oder verdüsten, in der Regel regenerierbaren Schwerstoffen in Suspension mit Wasser bei Feststoffvolumskonzentrationen zwischen 20 und 40 % als Trennmedium eingesetzt. Als Schwerstoffe haben sich Magnetit und Ferrosilizium weitestgehend durchgesetzt, für besonders hohe Trenndichten kann Ferrochrom verwendet werden.

#### 5.1.1. Anforderungen an Schwerstoffe

Neben einer hohen Dichte soll sich der Schwerstoff zudem durch eine einfache Regenerierbarkeit und eine möglichst hohe chemische und mechanische Beständigkeit auszeichnen, um die Entstehung von feinsten Oxidationsprodukten und Abrieb möglichst gering zu halten. Die Korngrößenverteilung ist maßgeblich für die Eigenschaften der Trübe verantwortlich. Die Kornform der Schwerstoffpartikel ist ein weiterer wichtiger Faktor, wobei eine runde Kornform gewisse Vorteile bietet, die sich z.B. durch den Herstellungsprozess beim Verdüsen von Ferrosilizium ergibt. Der Anteil an unmagnetischen

Verunreinigungen der Trübe wird über die Trüberegeneration gering gehalten.

### **5.1.2. Anforderungen an Schwertrüben**

Bei der Verwendung von natürlichem, gemahlenem Magnetit können Trübedichten bis etwa  $2,4 \text{ g/cm}^3$  erreicht werden. Mit reinem Ferrosilizium kann ein breiter Trübedichtenbereich zwischen  $2,7$  und  $3,6 \text{ g/cm}^3$  abgedeckt werden. Für Trübedichten zwischen  $2,4$  und  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ist es notwendig, die beiden Schwerstoffe zu mischen. Allgemein gilt, dass die Trübedichte nach unten hin durch die geringer werdende Stabilität und nach oben hin durch die Zunahme der Viskosität begrenzt ist.

Trüben aus Mischungen der Schwerstoffe Ferrosilizium und Magnetit erschweren eine kontrollierte Trübepflege, da das gewünschte Verhältnis meist nur über Erfahrungswerte eingehalten werden kann.

### **5.1.3. Trübestabilität**

Die Trübe muss über eine ausreichende Stabilität verfügen, das heißt, die Schwerstoffpartikel dürfen nicht sedimentieren, solange der Trennvorgang abläuft. Dies kann durch eine möglichst hohe Feststoffvolumskonzentrationen oder durch die Verwendung möglichst feiner Schwerstoffe erreicht werden.

Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Trübestabilität stellt die Ermittlung der Sedimentationsgeschwindigkeit dar, wobei sich die Stabilität aus deren Kehrwert ergibt. Diese Untersuchungsmethode hat vor allem für die Schwertrübescheidung im Schwerkraftfeld Relevanz. [5]

### **5.1.4. Trübeviskosität**

Je geringer die Viskosität einer Trübe ist, desto schneller kann die Trennung vor sich gehen und desto genauer vollzieht sich die Trennung von Teilchen mit einer Korndichte nahe der Trenndichte. Eine geringe Viskosität ergibt sich bei niedrigen Feststoffvolumskonzentrationen und kann durch eine gerundete Kornform der Schwerstoffpartikel positiv beeinflusst werden.

Die Bestimmung der Viskosität von Schwertrüben gestaltet sich schwierig, da die Sedimentation der Schwerstoffpartikel aus der Trübe vor allem bei Rotationsviskosimetern, aber auch bei Auslaufviskosimetern zu schwierig interpretierbaren Ergebnissen führen kann.

In Abbildung 19 sind die mittels Kapillarviskosimeter ermittelten Viskositätskurven für zwei Trüben dargestellt. Beide Trüben wurden direkt aus dem Trübekreislauf der ersten Stufe (Tri-Flo-Scheider 1) entnommen. Durch die vermehrte Zugabe von Ferrosilizium über den Zeitraum von drei Wochen konnte die Viskosität der Trübe 1 gesenkt werden, allerdings ohne das Trennergebnis in signifikanter Weise zu verbessern.

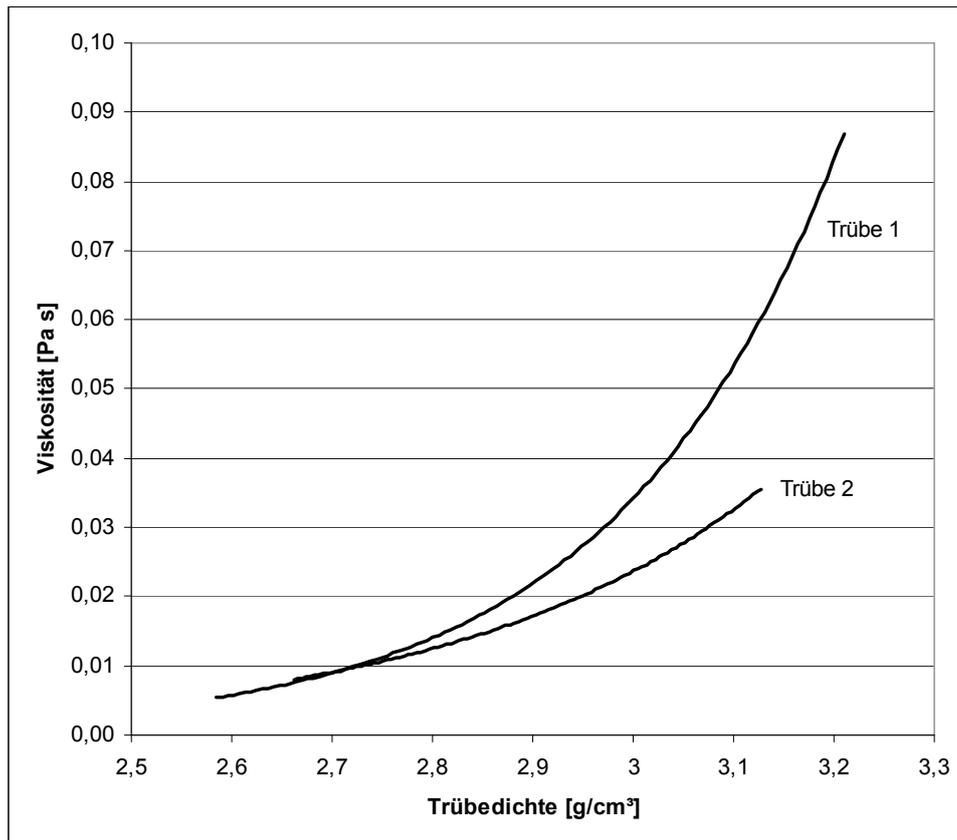


Abbildung 19: Viskositätskurven zweier Trüben mit unterschiedlichem Verhältnis von Magnetit zu Ferrosilizium

Mit einer verringerten Viskosität können bessere Ergebnisse - vor allem hinsichtlich des feineren Korngrößenbereichs - erwartet werden, da die Trennung von der Viskosität der Trübe entscheidend beeinflusst wird. Bei zu hoher Viskosität der Trübe kann die Fallgeschwindigkeit der feinen Körner dermaßen herabgesetzt werden, dass sie die Fallstrecke in der kurzen Verweilzeit im Scheider nicht durchfallen können. Dadurch kann es zum Austrag feiner Schwergutpartikel im Leichtgut kommen. Größere Körner erreichen aufgrund ihrer Masse eine ausreichende Fallgeschwindigkeit, sodass der Austrag dieser Körner im Schwergut ermöglicht wird.

### 5.1.5. Spezielle Auswirkungen des Fliehkraftfeldes auf die Schwertrübe

In allen Apparaten der Schwertrübescheidung im Fliehkraftfeld kommt es aufgrund der Zentrifugalkräfte zu einer verstärkten Auftrennung in eine Leichtgut- und eine Schwerguttrübe. Diese Auftrennung wird auch als „Spreizung“ bezeichnet und stellt sich als Differenz der Dichten von Schwer- und Leichtguttrübe dar. Ursachen für diese Spreizung sind neben der Zentrifugalkraft ein Klassiereffekt, sowie – im Falle des Einsatzes von Schwerstoffmischungen – ein Sortiereffekt.

Dieser Unterschied wird umso größer, je geringer die Stabilität der Trübe und je größer die Fliehkkräfte

sind. In Abbildung 20 ist ein Beispiel für die Abhängigkeit der Spreizung vom Aufgabedruck der Trübe dargestellt.

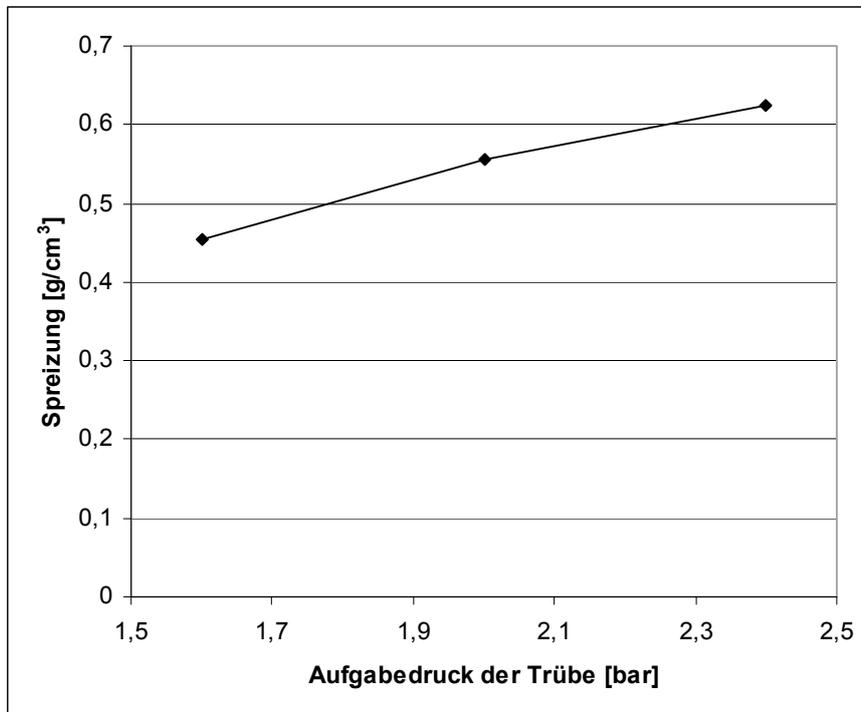


Abbildung 20: Darstellung der Abhängigkeit der Spreizung vom Aufgabedruck der Trübe

Probe- nahme	Schwerstoff aus	Dichte	$\Delta$
		[g/cm³]	[g/cm³]
1	Leichtguttrübe	5,574	-0,152
	Aufgabetrübe	5,726	-
	Schwerguttrübe	5,826	+0,100
2	Leichtguttrübe	5,538	-0,183
	Aufgabetrübe	5,721	-
	Schwerguttrübe	5,872	+0,151

Tabelle 18: Ergebnisse der Dichtebestimmung zur Untersuchung der Sortierwirkung eines im Zentrifugalkraftfeld betriebenen Schwertrübescheiders auf eine Schwerstoffmischung

In Tabelle 18 sind die Ergebnisse zweier Probenahmen zur Bestimmung der Dichten an den Schwerstoffgemischen der verschiedenen Trübeströme aufgelistet. Deutlich zu erkennen sind die Dichteunterschiede der Schwerstoffgemische der Leichtgut-, Aufgab- und Schwerguttrübe.

## 5.2. Der Tri-Flo-Scheider

Der Tri-Flo-Scheider ist ein Apparat der Schwertrübescheidung im Fliehkraftfeld. Er besteht aus zwei oder mehreren hintereinander geschalteten, zylindrischen Kammern, die mit Schwertrübe beaufschlagt werden (siehe Abbildung 21). Die Aufgabe wird mit einem geringen Anteil an Schwertrübe auf den Scheider aufgegeben. Das Schwergut wird am oberen Ende der jeweiligen Kammer mit einem Teil der Schwertrübe ausgetragen. Das Leichtgut fließt mit der Leichtguttrübe von Kammer zu Kammer und wird schlussendlich ausgetragen.

### 5.2.1. Entwicklung des Tri-Flo-Scheiders

Der Entwicklung des Tri-Flo-Scheiders ging jene des Dyna-Whirlpool-Scheiders voraus, der schon einige Vorteile gegenüber den damals bereits etablierten Schwertrübezyklonen mit sich brachte. Die Aufgabe von Schwertrübe und Trenngut erfolgte im Gegensatz zum Schwertrübezyklon getrennt voneinander. Dadurch musste nur die Schwertrübe gepumpt werden, wodurch der Verschleiß der Pumpen verringert wurde. Durch das Wegfallen des Fallrohrs zur Beschickung des Scheiders konnte die Bauhöhe der Anlage deutlich verringert werden, wodurch das Umrüsten einer bestehenden Schwertrübeanlage erleichtert und ein Neubau billiger wurde. [6]

Bei Untersuchungen an einem Dyna-Whirlpool-Scheider in einer Blei/Zink-Mine (Masua) wurde festgestellt, dass auf Grund der Schwankungen im Rohgut kein befriedigendes Ausbringen gesichert werden konnte. Als mögliche Verbesserungsmaßnahmen sollten entweder die Varianzen der Gehalte in der Aufgabe durch Homogenisieren des Materials verringert, oder die Trenneffizienz des Sortiersystems verbessert werden. In Anlehnung an die oft praktizierte zweistufige Anlagenschaltung wurde diese als Hintereinanderschaltung zweier Dyna-Whirlpool-Scheider verwirklicht. Mit dieser Modifikation konnten bessere Ergebnisse erreicht werden. [6] [7]

Aus den Ergebnissen der Technikumsversuche ergaben sich weitere Verbesserungen. Die tangentialen Ein- und Austräge der Trübe des Dyna-Whirlpool-Scheiders wurden gegen evolutenförmige – d.h. spiralartige – ersetzt. Dadurch wurden geringere Trübeturbulenzen in den Sortierraum eingebracht. Bei den Austrägen erbrachte diese Änderung einen geringeren Verschleiß und einen gleichmäßigeren Austrag der Sinkgutströme. [6]

Durch die Verdünnung der Trübe in der zweiten Kammer durch den Eintrag der Leichtguttrübe aus Kammer 1 kam es zu einer geringfügigen Herabsetzung der Trübedichte in der zweiten Kammer und somit zu einer Trennschnittlage bei geringerer Dichte. In Summe kam es dadurch gegenüber einstufigen Systemen zu einer Verbesserung der Trennschärfe (siehe Abbildung 22). Auch wurden die

Möglichkeiten der Einflussnahme auf eine Vergrößerung des Dichteunterschiedes untersucht. All diese Tatsachen führten zu Überlegungen, den Tri-Flo-Scheider als 3-Produkte-Sortierer einzusetzen. Die Entwickler sahen gute Möglichkeiten für eine Reihe von Einsatzgebieten wie zum Beispiel Kohle, Flußspat/Schwerspat, Gips/Anhydrit. [6]

Die Aufgabemengen konnten in vielen Fällen im Vergleich zu den einstufigen Apparaten erhöht werden. Bei einem Beispiel für die Kohlenaufbereitung (SAKOG) konnten bereits Durchsätze von bis zu 120 t/h mit einem Tri-Flo-Scheider erreicht werden. [7]

Der Einsatz einer hohen Trenndichte für die Herstellung eines hochwertigen Konzentrates in der ersten Stufe und zwei weiteren Stufen bei geringerer Dichte – die für ein verbessertes Wertstoffausbringen sorgten – war die logische Weiterführung des Gedankens. Der Einsatz von sehr feinen Schwerstoffen machte hohe Dichteunterschiede möglich. [8]

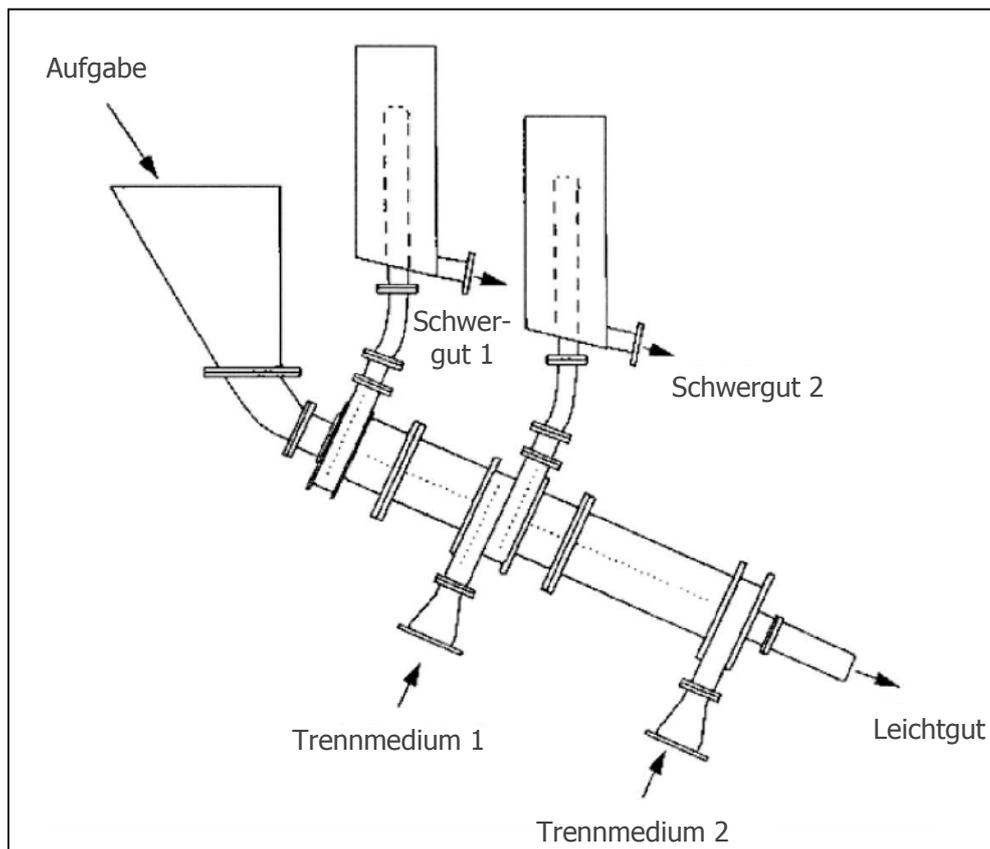


Abbildung 21: Schematische Darstellung eines Tri-Flo-Scheiders [9]

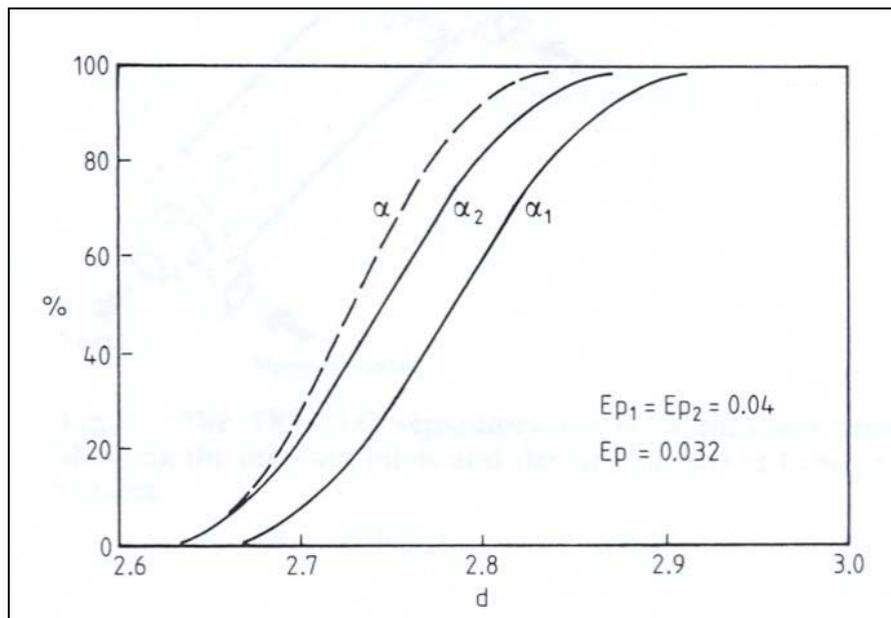


Abbildung 22: Darstellung der verbesserten Trennschärfe durch den zweistufigen Tri-Flo-Scheider

### 5.2.1.1. Strömungsverhältnisse im Tri-Flo-Scheider

In [10] wurden von CHINÉ Untersuchungen bezüglich der Strömungsverhältnisse in zylindrischen Scheidern vorgestellt und Vergleiche mit den konischen Scheidern gezogen. Dabei wurde festgestellt, dass die Strömungsverhältnisse in zylindrischen Scheidern höhere Trennschärfen zulassen und daher für schwierigere Trennaufgaben geeignet sind.

In [11] wurden von FERRARA weitere Untersuchungen zu diesem Thema vorgestellt. Das Hauptaugenmerk lag dabei in der Erhebung der Einflüsse der Scheiderform auf das Strömungsverhalten der Schwertrübe. Wiederum lagen die Vorteile bei den zylindrischen Scheidertypen. So wurden etwa geringere Spreizungen der Trüben festgestellt.

### 5.2.1.2. Einflüsse der Kornform auf das Trennergebnis

In [12] wurden von FERRARA die Einflüsse der Kornform auf das Trennergebnis anhand von Kunststoffpartikeln beschrieben. Wiederum wurden die hohen erzielbaren Trennschärfen und die Tauglichkeit für schwierige Sortieraufgaben festgestellt. Diese Untersuchungen sind vor allem für die Kunststoffaufbereitung von Interesse.

## **5.2.2. Möglichkeiten zur Modifikation der Bedingungen in den Kammern**

Durch die Änderung der Betriebsbedingungen in den Kammern des Tri-Flo-Scheiders können Anpassungen an den jeweiligen Einsatzfall durchgeführt werden.

### **5.2.2.1. Eine Aufgabetrübedichte**

Als Möglichkeiten zur Veränderung der Bedingungen stehen bei einer gegebenen Trübedichte der Aufgabedruck der Trübe und der Staudruck (back pressure) der beiden Kammern zur Verfügung. Ist ein größerer Dichteunterschied gefordert, um zwei unterschiedliche Produkte (z.B. Koks- und Kraftwerkskohle) zu erzeugen, so kann dies durch Erhöhung des Gegendruckes in Kammer 1, Verringerung des Gegendruckes in Kammer 2 und durch Verringerung der Trübestabilität erreicht werden. [13]

### **5.2.2.2. Zwei Aufgabetrübedichten**

Eine patentierte Trüberegenerationsschaltung (Abbildung 23) ermöglicht eine separate Dichteinstellung und Kontrolle der Kreisläufe mit einer Schwerstoffmischung. Damit sind große Dichteunterschiede zwischen 2,55 und 3,3 g/cm<sup>3</sup> einstellbar. Die Einstellung der unterschiedlichen Dichten erfolgt über Zyklonierung der zu regenerierenden Dünnrübestrome und getrennte Führung der Schwer- und Leichtguttrüben. [8]

Der Kreislauf muss in der Lage sein, zwei Trüben mit unterschiedlichen Dichten herzustellen und deren Eigenschaften in einem engen, für die Sortierung notwendigen, Bereich zu halten. Der Kreislauf verfügt über zwei miteinander verbundene Dickrübesümpfe, einer Zyklonanlage für die Leichtguttrübe und ein System von Trübeteilern (Splitter), das die jeweiligen Trübestrome verteilt oder zusammenfügt.

Die Schwerstoffzusammensetzung ist in den jeweiligen Strömen auf Grund von Entmischungserscheinungen unterschiedlich. Mit den Splitttern können die schwerstoffreichen Trübestrome in den Sumpf mit hoher Trübedichte, die schwerstoffärmeren Trübestrome in den Sumpf mit niedriger Trübedichte geleitet werden. Durch die Verbindung der beiden Sümpfe werden Ungleichgewichte ausgeglichen.

Die Gesamttrübedichte hängt nur vom Trübevolumen, der Schwerstoffdichte und -menge ab. Die Dichten der jeweiligen Ströme hängen nur von den Einstellungen der Splitter ab. Beim Hochfahren der Anlage stellen sich binnen 6-8 Minuten stabile Trübebedingungen ein. [13]

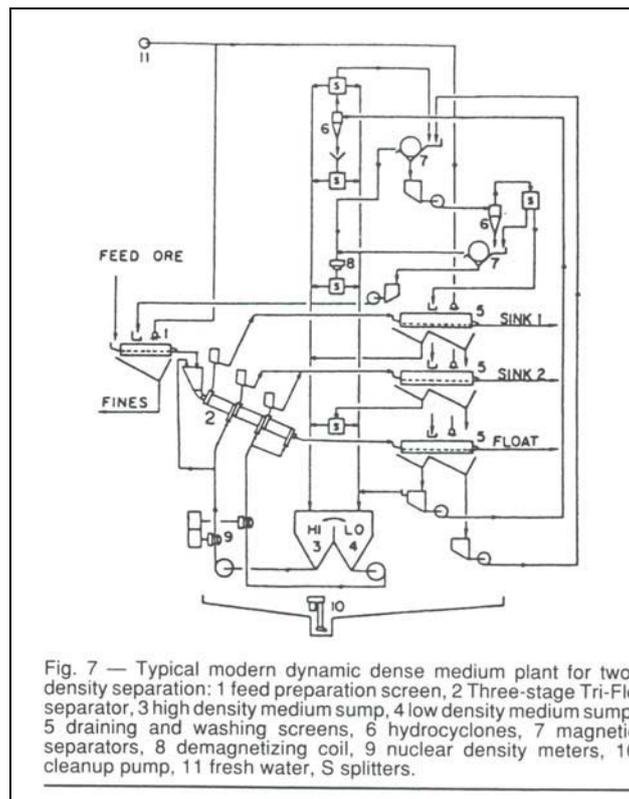


Abbildung 23: Darstellung der Trüberegeneration für zwei Trübedichten [13]

### 5.2.3. Betriebserfahrungen mit dem Tri-Flo-Scheider

Der Tri-Flo-Scheider wurde bereits für Anwendungen in der Erz-, der Industriemineral- und der Kohleaufbereitung genutzt. Eine der ersten Inbetriebnahmen eines Tri-Flo-Scheiders wurde in der Aufbereitungsanlage Wolfach verwirklicht (Tabelle 19). Es handelt sich bei der in Wolfach eingesetzten Scheiderart somit um ein frühes Modell eines Tri-Flo-Scheiders, dessen Bauform im Laufe der nachfolgenden Jahre noch einige konstruktive Verbesserungen erfuhr.

Jahr	Ort	Einsatzgebiet
1978	Masua (Sardinien)	Blei/Zink (Italienische Staatsgruben) [6]
?	Monteponi	Blei/Zink [6]
?	Tajmiste	Eisenerz (Goethit) [6]
1981	nähe Prestavel	Flußspat/Bleiglantz [6]
1981	Wolfach	Flußspat/Schwerspat (Sachtleben Bergbau) [7]
Vor 86	Plymouth	Wolfram (Amax Hemerdon Ltd.) [7]

Vor 86	Greevor	Zinn (Greevor-Zinn-Bergbau-Company) [7]
1983	Österreich	Kohle (Salzach Kohlenbergbau GmbH) [7], [13]
1984	Südafrika	Zinn (Rooiberg Tin Mine) [13]
1986	weltweit	25 Betriebs- und Pilotanlagen in Betrieb
1986	Zimbabwe	Petalit [13]
1986	Kanada	Spodumen (Tanco) [13]
1987	Griechenland	Bauxit (Bauxites Parnasse Minign Co.) [13]
1987	Griechenland	Nickel Laterit (General Mining & Metallurgical Co. SA) [13]
1988	Lakefield	Spodumen [13]
1989	Griechenland	Chromit (Hellenic Ferroalloys, Scoumtsa Mine) [8], [13]
Vor 94	Italien	Feldspat (Bariosarda SpA, Sardinien) [13]

Tabelle 19: Zeitliche Abfolge von Inbetriebnahmen von Tri-Flo-Scheideranlagen laut Literaturstellen

### 5.2.3.1. Der Tri-Flo-Scheider als 2-Produkte-Sortierer

Im Vergleich zum ursprünglich eingesetzten Dyna-Whirlpool-Scheider konnte durch Einsatz des Tri-Flo-Scheiders in Masua das Inhaltsausbringen ein wenig, die Wertmineralgehalte im Konzentrat aber auf das Doppelte gesteigert werden. Auch in einer Eisenerzaufbereitung (Tajmiste) konnten durch den Ersatz des Dyna-Whirlpool-Scheiders durch einen Tri-Flo-Scheider Verbesserungen hinsichtlich Gehalt und Ausbringen erzielt werden. [6]

In Plymouth (Amax Hemerdon Ltd) wurden Untersuchungen mit Schwertrübezyklonen und Dyna-Whirlpool-Scheidern durchgeführt und auf Grund der guten Ergebnisse in Wolfach sofort auf die Variante mit dem Tri-Flo-Scheider gesetzt. Mit dem Dyna-Whirlpool-Scheider konnte bei einem Metallausbringen von 83 % ein Bergeausbringen von 85 % erreicht werden. Mit dem Tri-Flo-Scheider konnte bei gleichem Metallausbringen ein Bergeausbringen von 90 % erzielt werden. Bei gleichem Bergeausbringen konnte das Metallausbringen um zwei Prozentpunkte erhöht werden. [7]

In der Aufbereitungsanlage der Greevor-Zinn-Bergbau-Company wurde von einer Trommelscheideranlage auf eine Tri-Flo-Scheideranlage umgerüstet. Der Durchsatz, das Zinnausbringen und die Korngrößenspanne konnten erhöht werden. Weitere Verbesserungen ergaben sich durch einen verminderten Schwerstoffverbrauch (-25 %) und verbessertem Abstoßen einer harten, abrasiven Gangart mit einer Dichte nahe der Trenndichte. Dadurch ergaben sich Einsparungen im Gesamtenergiebedarf, vor allem im Bereich der Mahlung. [7]

### **5.2.3.2. Der Tri-Flo-Scheider als 3-Produkte-Sortierer**

Der Vorteil einer 3-Produkte-Trennung mit dem Tri-Flo-Scheider ergab sich durch die Möglichkeit einer sehr kompakten Anlagengestaltung. Für eine 3-Produkte-Trennung wurde ein mindestens 3-stufiger Apparat empfohlen, da ansonsten der Vorteil der höheren Trennschärfe im Vergleich zu Zyklonen und Dyna-Whirlpool-Scheidern nicht mehr gegeben war. [13]

Eine solche Anlage wurde in Prestavel eingebaut, die bei den Trenndichten von 3,2 und 2,75 g/cm<sup>3</sup> betrieben wurde. Getrennt wurden Bleiglanz, Flußspat und Nebengestein in der Kornklasse 20/1 mm. Es konnte ein Bleiausbringen im Bleikonzentrat von 93,5 % und ein Flußspatausbringen im Sinkgut der zweiten Stufe von 87,5 % erreicht werden. [6]

In der Chromerzaufbereitung (Scoumtsa Mine) konnte durch den Einsatz einer 3-Produkte-Trennung in der ersten Stufe (Trenndichte 3,1-3,3 g/cm<sup>3</sup>) ein Chromitprodukt mit einem Masseausbringen von etwa 18 % und einem Inhaltsausbringen an Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> von 55,8 % erzielt werden. Der Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt in diesem Konzentrat lag bei 43 %. Die Stufen 2 und 3 (Trenndichte zwischen 2,55-2,65 g/cm<sup>3</sup>) erzeugten ein Mittelprodukt, das anschließend weiter zerkleinert und mittels Feinkorndichtesortierung weiter aufbereitet wurde. Insgesamt gelang es 99,3 % des Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Inhaltes in Konzentrate zu überführen und mehr als 50 % der Aufgabe als Berge mit einem Gehalt von nur 3 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> auszuschleusen. Als Schwerstoff wurde ein Gemenge aus Ferrosilizium (70 %, „Cyklone 40“) und Magnetit (30 %, gemahlen) verwendet. Die Trübedichte konnte in der ersten Stufe bis auf 3,4 g/cm<sup>3</sup> angehoben werden, um entsprechend höherwertige Konzentrate zu produzieren. [8]

### **5.2.3.3. Tri-Flo-Scheider in der Kohleaufbereitung [7]**

Die getrennte Aufgabe von Sortiergut und Trübe bot Verbesserungen in der Kohleaufbereitung. Der Hauptanteil der oftmals tonig-lettigen Schieferpartikel wurde ohne große mechanische Beanspruchungen im Sinkgut 1 ausgetragen. In Kammer 2 erfolgte ein Nachwaschen des Kohlekonzentrates, wodurch dieses in seiner Qualität verbessert wurde. Die verbesserten Möglichkeiten der Trüberegeneration ließ die Aufgabe von trocken abgeseibtem Material mit hohem Feinanteil zu. Die Fahrweise mit etwas geringerer Trübedichte in der zweiten Kammer ermöglichte die Herstellung einer zweiten Qualität, geeignet für die Verwendung von Kraftwerkskohle.

### **5.2.3.4. Einsatz in der Aufbereitungsanlage Wolfach**

In Wolfach (Sachtleben Bergbau GmbH) wurde der Dyna-Whirlpool-Scheider gegen einen Tri-Flo-Scheider mit dem Ergebnis ausgetauscht, dass die mittleren Flußspatgehalte in den Bergen von 9,58 auf 6,75 % gesenkt werden konnten (siehe Abbildung 24). [7]

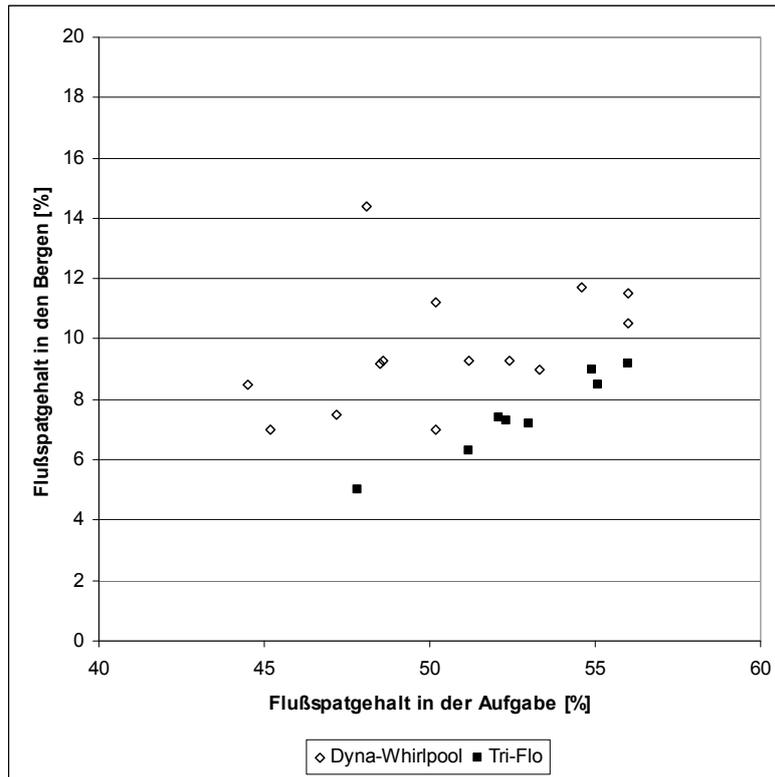


Abbildung 24: Verbesserung der Flußspataufbereitung durch den Einsatz eines Tri-Flo-Scheiders

#### 5.2.4. Vorteile des Tri-Flo-Scheiders gegenüber anderen dynamischen Aggregaten der Schwertrübescheidung

- zweistufige Trennung (rougher-scavenger, rougher-cleaner) in einem Aggregat
- besserer Ausgleich von Mengenschwankungen der Aufgabe
- außergewöhnlich hohe Sinkgutanteile beherrschbar
- hohe Aufgaberate [7]
- verringerter Verschleiß an Aggregat, Pumpen und Leitungen (da nur die Trübe gepumpt wird)
- geringe Bauhöhe (Umrüstung anderer Anlagen leicht möglich) im Vergleich zum Zyklon [7]
- 3-Produkte-Trennung in sehr kompakter Anlage möglich
- dreistufige Ausführung für noch höhere Trennschärfe [8]

##### 5.2.4.1. Erreichte Trennschärfen

Der Literatur ist zu entnehmen, dass die Erhöhung der hintereinander geschalteten Sortierstufen zu einer Verbesserung der Trennschärfe führte. Die zweite und dritte Stufe erhöhten die Trennschärfe

stark, ab der vierten wurden die Verbesserungen geringer. [13]

Als Grund für die Verbesserung der Trennschärfe ist die durch die Betriebsweise bedingte Abnahme der Trübedichte von Stufe zu Stufe zu nennen, da die Leichtguttrübe aus Stufe 1 die Trübe in Stufe 2 etwas verdünnt, und so weiter. [13]

Beispiele:

- Wolfach:  $ET = 0,038$  und  $0,042$  [2]
- Scoumtsa Mine:  $ET1 = 0,048-0,05$ ,  $ET2 = 0,033-0,038$  [3]
- Rooiberg Tin Mine:  $Ep = 0,035$  (12/1 mm) [4]
- Cominco:  $Ep = 0,015-0,03$  [4]

#### 5.2.4.2. Kapazitäten und Kornspannen

Die obere Korngröße wird durch die Größe des Scheiders, die untere Korngröße durch das Trüberegenerationssystem begrenzt. In Tabelle 20 sind die empfohlenen Werte für Kapazitäten und Kornspannen angegeben. [13]

Modell	Durchmesser	Kapazität	Kornspanne
	[mm]	[t/h]	[mm]
TFS 700	700	200	100/0,5
TFS 500	500	100	60/0,5
TFS 400	394	65	40/0,5
TFS 300	315	40	30/0,5
TFS 250	242	15	18/0,5
TFS 150	150	5	10/0,5

Tabelle 20: Daten verschiedener Tri-Flo-Scheider-Modelle

### 5.3. Analytik

In diesem Punkt werden die verwendeten Mess- und Bestimmungsmethoden, die Art der verwendeten Analysenmethoden und die Probenahme erläutert.

#### 5.3.1. Bestimmung der Trübedichte im Betrieb

Für die Bestimmung der Trübedichte wurden im Betrieb kalibrierte Waagen mit dazugehörigen Gefäßen verwendet. Für die Überprüfung dieser Bestimmungsmethode wurden die Dichten der Trübestrome einerseits mit der betriebsüblichen Methode, andererseits mit der Pyknometermethode bestimmt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in folgender Tabelle 21 aufgelistet.

Art der Dichtebestimmung	Aufgabe	Schwertgut	Leichtgut
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
Dichtebestimmung mit Pyknometer	2,65	2,85	2,43
Dichtebestimmung mit Waage	2,62	2,85	2,42
Differenz	0,03	0,00	0,01

Tabelle 21: Überprüfung der Dichtewaage mit der Pyknometermethode

Auf Grund der geringen Abweichungen von der Pyknometermethode wurde in weiterer Folge auf die Dichtebestimmung mittels Waage zurückgegriffen.

#### 5.3.2. Chemische Analysen

Die chemischen Analysen wurden standardmäßig mit einem Röntgenfluoreszenzanalysegerät (RFA) durchgeführt. Es wurde auf die Fertigproduktströme kalibriert und gab Gehalte von CaF<sub>2</sub>, BaSO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub> und Mg in Prozent aus. Zusätzlich wurden Arsen, Blei, Kupfer und Silber analysiert und in µg/g angegeben. Der Flußspatgehalt wurde über die Calciumanalyse bestimmt, wodurch es teilweise zu Verfälschungen des Ergebnisses kam, da auch das Calcium aus dem Beton als CaF<sub>2</sub> bestimmt wurde (siehe auch Punkt 5.3.2.1). Ein Beispiel für eine Analyse der Aufgabe des Flußspaterzes aus dem Diagonaltrum ist in Tabelle 22 dargestellt. Wurde ein „>“ oder „<“-Zeichen angegeben, so lag der tatsächliche Gehalt außerhalb des kalibrierten Bereiches des Auswerteprogramms und war damit als nicht zuverlässig zu bewerten. Da zum Beispiel Aluminium, Eisen und andere Elemente oder ihre Oxide nicht bestimmt wurden, ergab die Summe der Analysenwerte nicht 100 %.

CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mg	As	Pb	Cu	Ag
[%]	[%]	[%]	[%]	[µg/g]	[µg/g]	[µg/g]	[µg/g]
28,04	14,23	45,11	0,319	24,8	> 963,4	894,6	33,8

Tabelle 22: Chemische Analyse, Aufgabe Diagonaltrum vom 9.11.2007

### 5.3.2.1. Einfluss von Beton auf das Analyseergebnis

Zum Offenhalten des Grubengebäudes der Grube Clara wird u.a. Spritzbeton als Stützmittel eingesetzt, der beim Abbau des Flußspatgangs in das Roherz gelangt und dieses verunreinigt. Diese Betonanteile in unterschiedlichen Mengen gelangen so über das Roherz in den Bereich der Schwertrübeanlage, werden dort im Leichtgut ausgebracht und verfälschen die Ergebnisse der Bergeanalysen. Da vor der chemischen Analyse der Tagesbergeproben kein Abschwimmen bei einer Dichte von 2,5 g/cm<sup>3</sup> erfolgte, wurde der Calciumgehalt des Betons dem Calciumgehalt des Flußspats zugerechnet. Um den Einfluss dieser Verunreinigungen auf das Analyseergebnis zu evaluieren, wurden Untersuchungen durchgeführt. Hierzu wurden Betonkörner aus einer Probe ausgeklaut und diese chemisch analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Tabelle 23 dargestellt.

CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mg	As	Pb	Cu	Ag
[%]	[%]	[%]	[%]	[µg/g]	[µg/g]	[µg/g]	[µg/g]
23,10	0,12	>58,51	0,32	45,2	27,7	54,0	3,0

Tabelle 23: Chemische Untersuchung einer Betonprobe

Der Betongehalt der untersuchten Probe wurde zu 5,1 % bestimmt. Daraus ergab sich ein Beitrag des Betons von 1,18 %-Punkten am CaF<sub>2</sub>-Gehalt. Damit ist belegt, dass als Grund für die hohen CaF<sub>2</sub>-Werte der Bergeproben der Betongehalt kaum eine Rolle spielt. Der Beton erhöht zwar den CaF<sub>2</sub>-Gehalt geringfügig, allerdings bewegt sich dieser auch bei hohen Gehalten an Beton noch im unteren Prozentbereich.

### 5.3.3. Schwimm-Sink-Analysen

Die Schwimm-Sink-Analysen wurden teilweise im Labor in Wolfach und teilweise am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung in Leoben durchgeführt. Als Trennmedium wurden Lösungen von

Natriumpolywolframat in Wasser mit Dichten zwischen 2,5 und 3,0 g/cm<sup>3</sup> verwendet. Die Bestimmung der Dichte der Schwerlösungen erfolgte mit Aräometern.

### **5.3.4. Probenahme**

Die Trübestrome konnten einfach beprobt werden, für die Beprobung der Produktströme mussten geeignete Probenehmer angefertigt werden.

#### **5.3.4.1. Probenahme der Schwertrüben**

Die Probenahme der verschiedenen Trüben - Aufgabetrübe, Schwerguttrübe und Leichtguttrübe – gestaltete sich unproblematisch. Die Arbeitstrübe gelangt über die Steigleitung in einen Verteiler, von dem aus die beiden Trennkammern des Tri-Flo-Scheiders beschickt werden. Aus diesem Verteiler wird ein Teilstrom entnommen, der als Einspültrübe dient. Die Einspültrübe ist leicht zugänglich und einfach zu beproben. Die Dichte dieses Trübestroms wird zusätzlich radiometrisch überwacht und die Werte aufgezeichnet. Die Probenahme der Schwer- und Leichtguttrübe erfolgte am Bogensieb der Enttrübungseinrichtung. Eine getrennte Probenahme der Schwerguttrüben der beiden Kammern war nicht möglich, ließe sich aber durch einige bauliche Maßnahmen bewerkstelligen.

#### **5.3.4.2. Probenahme der Aufgabe und Produkte des Tri-Flo-Scheiders**

Für die Probenahme der Aufgabe und des Vorkonzentrates wurden geeignete Probenehmer angefertigt. Das Bergeprodukt ließ sich problemlos am Abwurf des Waschsiebes mit den vorhandenen Probenehmern beproben (Abbildung 25). Auf Grund der großen anfallenden Menge an Konzentrat wurde dieses an einer Bandübergabestelle (Abbildung 26) beprobt. Die Aufgabe konnte nur am Abwurf des Waschsiebes beprobt werden. Eine Beprobung des gesamten Aufgabestromes war auf Grund des großen Massestroms nicht möglich. Durch eine vergrößerte Teilprobenanzahl und die Variation der Probenahmestelle über die gesamte Länge des Abwurfes konnten repräsentative Proben gezogen werden (Abbildung 27).



Abbildung 25: Abwurf des Entrübungssiebes der Bergevorabscheidung



Abbildung 26: Probenahmestelle Konzentrat der Bergeabscheidung



Abbildung 27: Probenahme der Aufgabe beim Abwurf des Waschsiebes

## 5.4. Untersuchungen der Schwertrübe

Sowohl Schwertrübe aus dem laufenden Betrieb als auch Trüben aus den Reinstoffen und Mischungen daraus wurden auf ihre Eigenschaften hin untersucht.

### 5.4.1. Untersuchungen der Schwerstoffe

Die Dichten der Reinstoffe und der Schwerstoffmischungen aus dem Betrieb wurden bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 24 aufgelistet. Eine Berechnung auf Basis der Reinstoffdichten ergab eine Zusammensetzung der Trübeschwerstoffmischung von etwa 50:50.

Die Ergebnisse der Siebanalysen der Schwerstoffe sind in Tabelle 25 aufgelistet, die Korngrößenverteilungen sind in Abbildung 28 dargestellt.

Schwerstoff	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]
Ferrosilizium	7,13
Magnetit	4,72
Trübe 1	5,69
Trübe 2	5,72

Tabelle 24: Ergebnisse der Dichtebestimmung der Schwerstoffe

Maschenweite	Durchgang			
	Ferrosilizium	Magnetit	Trübe 1	Trübe 2
[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[%]	[%]	[%]
315	100,0	100,0	100,0	100,0
200	99,7	99,8	99,7	97,3
160	95,9	99,2	99,5	96,4
100	83,9	96,4	99,1	94,0
63	66,9	87,2	87,5	85,6
40	45,5	57,1	60,4	51,9
25	28,5	37,4	35,0	31,3
0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 25: Ergebnisse der Siebanalysen der Schwerstoffe

Eine Mischung der Schwerstoffe im Verhältnis 1:1 müsste eine etwas gröbere Korngrößenverteilung ergeben. Damit konnte auch eine gewisse Zerkleinerung der Schwerstoffpartikel durch den Einsatz nachgewiesen werden. Nachdem aber die Korngrößenverteilungen der Betriebstrüben noch im Bereich der Reinstoffe lagen, konnte dieser Punkt als unkritisch betrachtet werden.

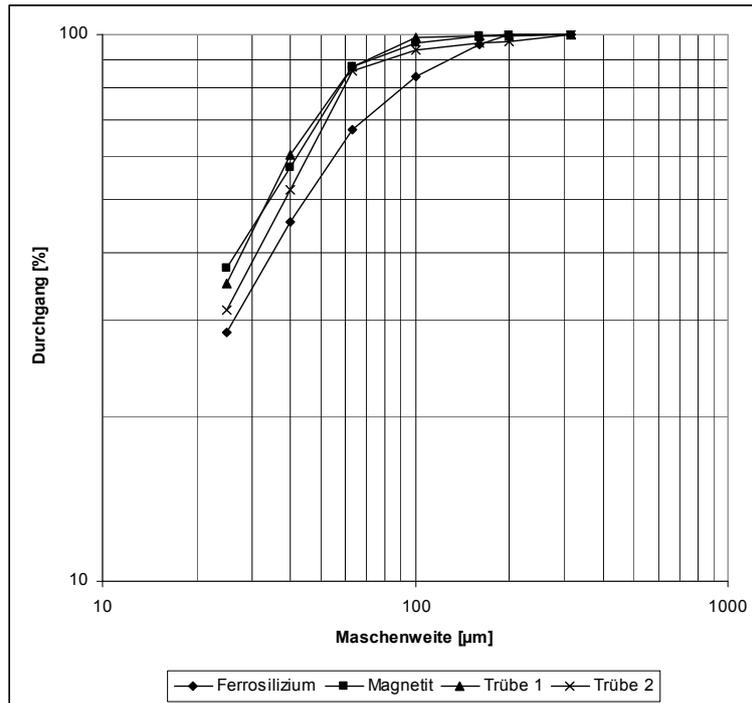


Abbildung 28: Korngrößenverteilungen der Schwerstoffe

### 5.4.2. Bestimmung der Trübeviskosität [14]

Die Viskosität der Trüben wurde mit einem Kapillarviskosimeter nach STEINER bestimmt [15]. Auf Grund der starken Sedimentationsneigung konnte kein Rotationsviskosimeter verwendet werden.

Die Werte für die Viskosität von Schwertrüben aus den reinen Schwerstoffen ergaben eine gute Übereinstimmung mit Vergleichswerten aus der Literatur (siehe Abbildung 29). Die Werte für die untersuchten Betriebstrüben lagen dazwischen. Die Viskositätswerte für die Trübedichten im Einsatzbereich lagen unter 0,02 Pa s und sind aus diesem Grund als unproblematisch zu bezeichnen.

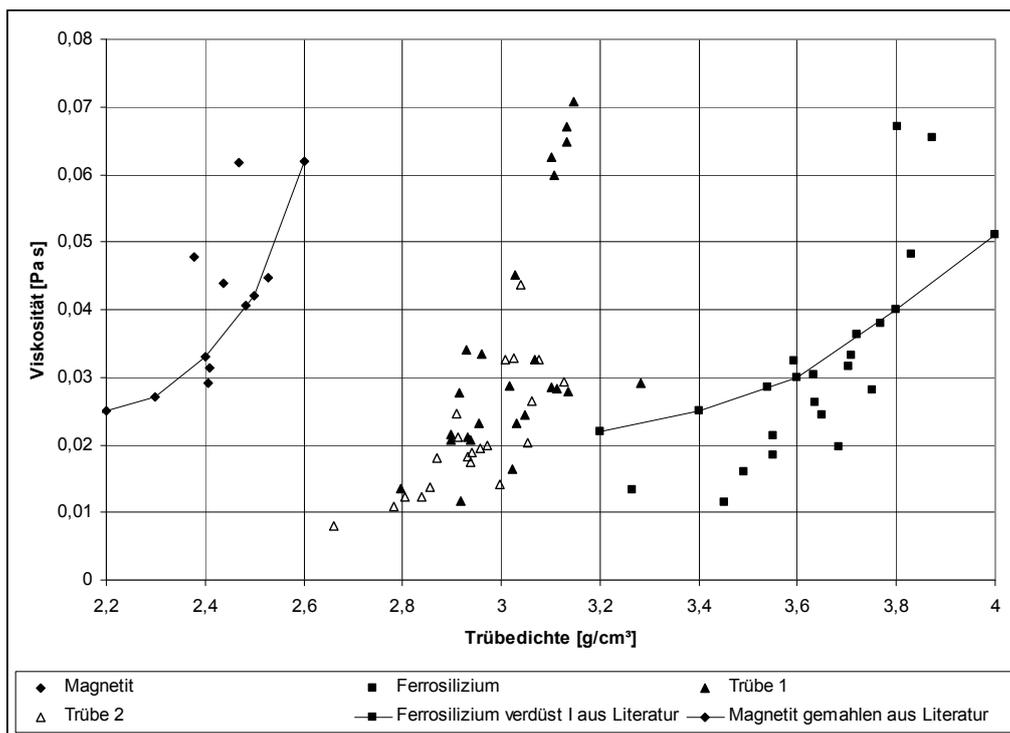


Abbildung 29: Ergebnisse der Viskositätsbestimmungen im Vergleich zu Literaturwerten [5]

### 5.4.3. Bestimmung der Trübestabilität [14]

Die Untersuchungen der Trübestabilität wurden durch Aufnahmen von Klärkurven bestimmt, da die Beobachtung der Grenzschicht zwischen Klarwasser und Trübe am Standzylinder möglich war.

Die Auswertung der Klärkurven erfolgte durch die Bestimmung der Steigung im Anfangsbereich. Daraus wurde der Kehrwert gebildet, der die Stabilität der Trübe kennzeichnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 30 dargestellt. Zu erkennen ist die starke Zunahme an Stabilität bei höheren Trübedichten. Die Werte für die Betriebstrüben lagen wie erwartet zwischen jenen der Reinstoffe. Die laut [5] geforderten Werte von mindestens 10 s/cm wurden für alle untersuchten Trüben erreicht, somit konnte die eingesetzte Trübe hinsichtlich der Stabilität als tauglich bezeichnet werden.

Durch die Zugabe von Ferrosilizium wurde die Stabilität der Trübe 2 im Vergleich zur Trübe 1 etwas verringert, ohne allerdings den geforderten Wert zu unterschreiten.

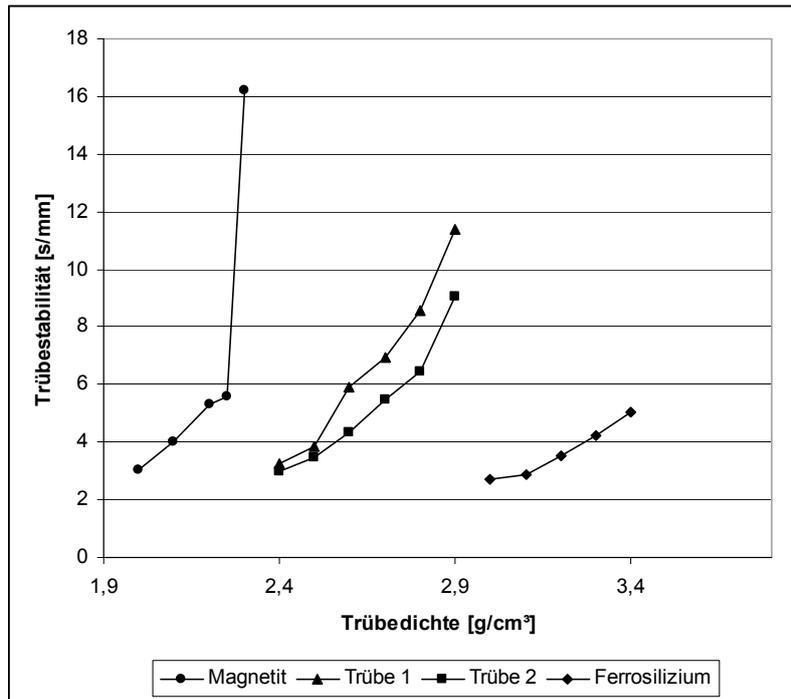


Abbildung 30: Ergebnisse der Stabilitätsbestimmungen

Der Vergleich mit Werten aus [5] ist in Abbildung 31 dargestellt und zeigt vergleichbare Kurvenverläufe, obwohl ein anderes Bestimmungsverfahren gewählt wurde.

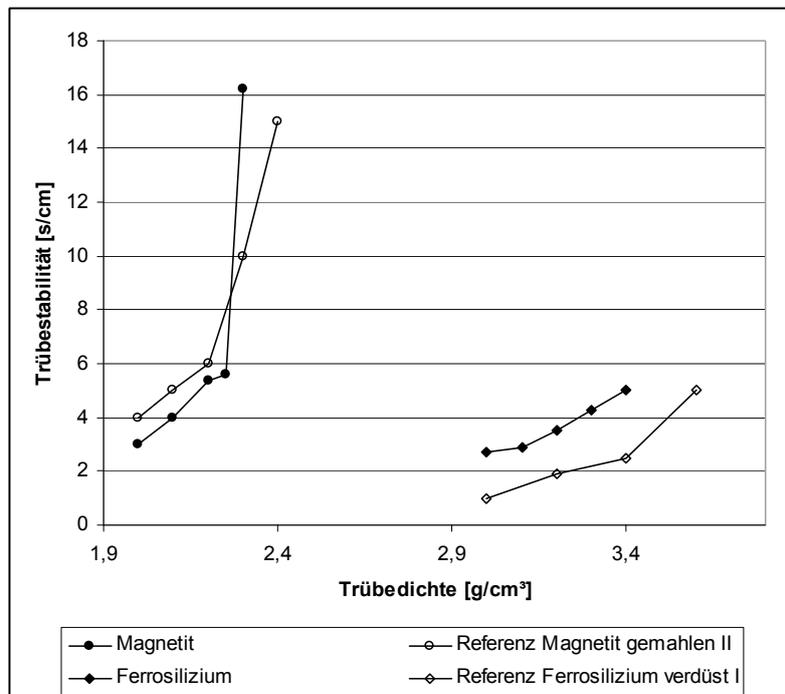


Abbildung 31: Vergleich der Stabilität mit Werten aus [5]

#### 5.4.4. Bestimmung des Anteils an unmagnetischen Bestandteilen

Diese Untersuchung wurde am Schwerstoff der Aufgabetrübe durchgeführt. Dabei zeigte sich ein Gesamtgehalt an unmagnetischen Bestandteilen von etwa 3,7 % wie in Tabelle 26 ausgewiesen. Dieser geringe Anteil sollte zu keiner großen Viskositätserhöhung und damit zu einer Beeinflussung der Sortierwirkung führen.

Maschenweite	Masse	Magnetisches		Unmagnetisches		Bemerkung
		Gehalt	Verteilung	Gehalt	Verteilung	
[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
250	3,0	16,0	0,5	84,0	67,1	Handmagnet
100	0,6	68,5	0,4	31,5	5,2	Handmagnet
63	3,6	98,6	3,7	1,5	1,4	Davis-Tube
40	39,0	99,7	40,4	0,4	3,7	Davis-Tube
25	24,9	99,6	25,8	0,4	2,5	Davis-Tube
0	28,9	97,4	29,2	2,6	20,1	Davis-Tube
Summe	100,0	96,3	100,0	3,7	100,0	

Tabelle 26: Bestimmung der magnetischen und unmagnetischen Bestandteile der Betriebstrübe

#### 5.4.5. Untersuchungen zum Entmischungsverhalten der Schwerstoffmischung im Tri-Flo-Scheider

Für diese Untersuchungen wurden Proben der Aufgabe-, der Leichtgut- und der Schwerguttrübe gezogen. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden zwei Probenahmen an verschiedenen Tagen durchgeführt. Die Ergebnisse in Tabelle 27 zeigen Unterschiede in den Dichten der Schwerstoffgemische der Produktströme. Damit ist eine Sortierwirkung des Trennapparates auf die Schwerstoffmischung nachgewiesen.

Probenahme	Schwerstoff	Dichte	$\Delta$	berechneter Gehalt	
				Magnetit	Ferrosilizium
		[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	Leichtguttrübe	5,574	-0,152	54,7	45,3
	Aufgabetrübe	5,726	-	48,0	52,0
	Schwerguttrübe	5,826	0,100	43,8	56,2
2	Leichtguttrübe	5,538	-0,183	56,3	43,7
	Aufgabetrübe	5,721	-	48,2	51,8
	Schwerguttrübe	5,872	0,151	42,0	58,0

Tabelle 27: Entmischungsverhalten der Schwerstoffmischung im Tri-Flo-Scheider

#### 5.4.6. Zusammenfassung der Trübeuntersuchungen

Sämtliche Untersuchungen der Schwertrübeeigenschaften erbrachten Werte, die innerhalb von im Rahmen der Literaturrecherche ausgewiesenen Schwankungsbereichen für einen guten Sortiererfolg liegen. Die Viskosität und Stabilität der Betriebstrübe wiesen regelrecht optimale Werte auf. Der Gehalt an unmagnetischen Bestandteilen war mit 3,7 % gering und bestand zu zwei Drittel aus Verunreinigungen größer 250  $\mu\text{m}$ , deren Beitrag zur Viskositätserhöhung im Gegensatz zu den Feinstanteilen gering ist. Die Ergebnisse zeigen auf, dass der Trübepflege für die Schwertrübescheidung der Aufbereitungsanlage Wolfach ausreichendes Augenmerk geschenkt wird.

### 5.5. Untersuchungen an Mischungen der Flußpaterze

Die ersten Versuche wurden in Wolfach an Mischungen der Flußpaterze durchgeführt. Eine nachträgliche Zuordnung zu einem Erztyp war nicht möglich, aber auf Grund der späteren Erkenntnisse waren die Ergebnisse der Mischungen mit denen des Erztyps Grün vergleichbar.

In den ersten Versuchen wurden hauptsächlich die Parameter „Druck der Aufgabetrübe“ und „Durchmesser des Leichtgutaustrages“ der zweiten Kammer variiert. Der Druck der Aufgabetrübe konnte nach dem Einbau eines Frequenzumformers (FU) für die Steuerung der Trübepumpe verändert werden. Die Veränderung des Durchmessers des Leichtgutaustrages wurde durch den Einbau von unterschiedlichen Unterlaufdüsen bewerkstelligt.

### 5.5.1. Einfluss des Aufgabedruckes auf das Sortierverhalten des Tri-Flo-Scheiders

Die Spreizung wurde bei unterschiedlichen Drücken und Unterlaufdurchmessern bestimmt. In Abbildung 32 ist die Erhöhung der Spreizung bei steigendem Druck abgebildet. Zu erkennen ist eine Verringerung der Spreizung bei geringeren Unterlaufdurchmessern.

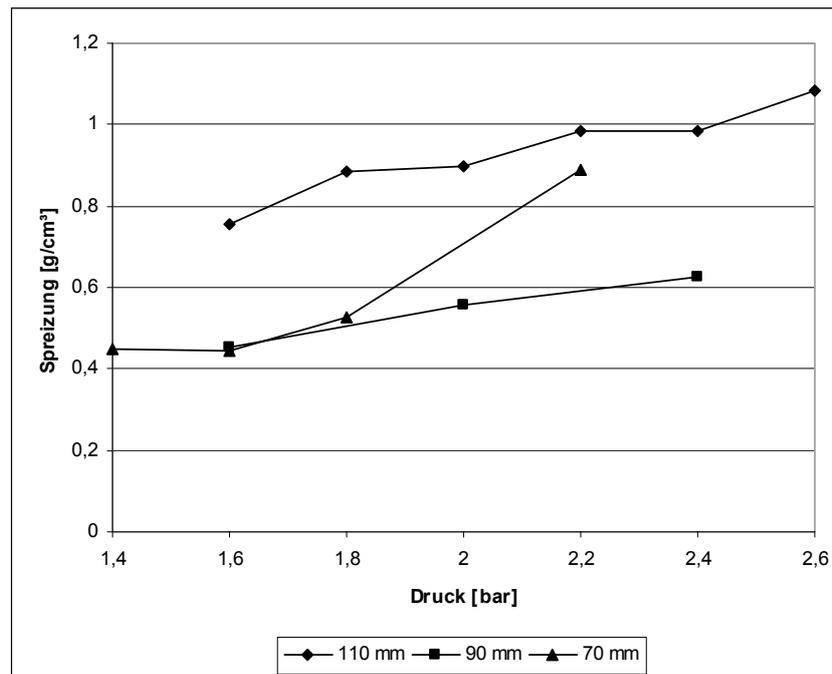


Abbildung 32: Abhängigkeit der Spreizung vom Druck bei unterschiedlichen Durchmessern des Leichtgutaustrags

In Abbildung 33 ist der  $\text{CaF}_2$ -Gehalt der Berge in Abhängigkeit des Aufgabedruckes bei unterschiedlichen Unterlaufdurchmessern dargestellt. Die Ergebnisse zeigen auf, dass kein Zusammenhang zwischen  $\text{CaF}_2$ -Gehalt und Aufgabedruck besteht. Die Punkte konnten durch Linien verbunden werden, da sie die zeitliche Abfolge der Versuche und damit die Schwankungen der Gehalte in der Aufgabe wiedergeben.

Die Auswertung der Flußspatgehalte in Aufgabe und Berge konnte, wie in Abbildung 34 gezeigt, einen Zusammenhang aufdecken. Teilweise wurden sehr hohe Flußspatgehalte in den Bergen mit bis zu 49 % festgestellt. Die Flußspatgehalte in den Bergen folgten den Flußspatgehalten in der Aufgabe. Die Verbindung der Punkte ist zulässig, da die Proben hintereinander und nur bei geänderten Druckbedingungen gezogen wurden.

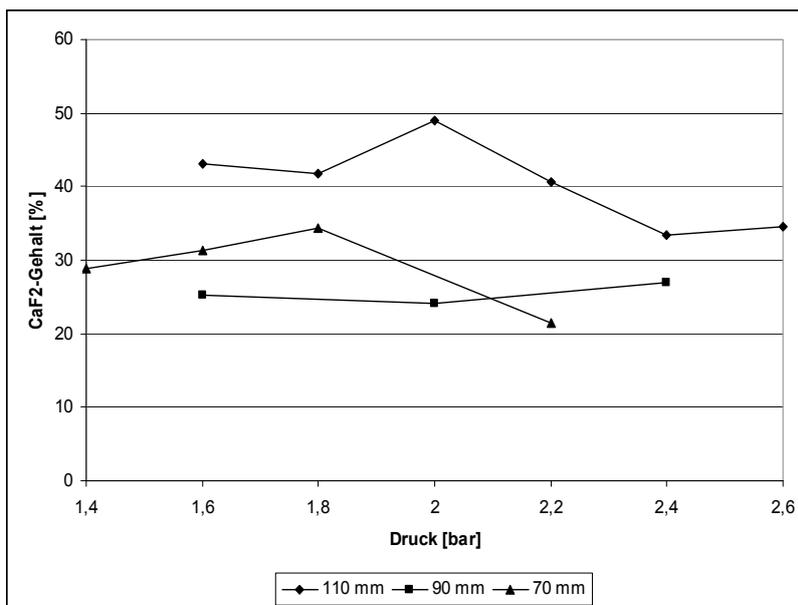


Abbildung 33: Flußspatgehalt in den Bergen in Abhängigkeit des Druckes der Arbeitstrübe und des Unterlaufdurchmessers

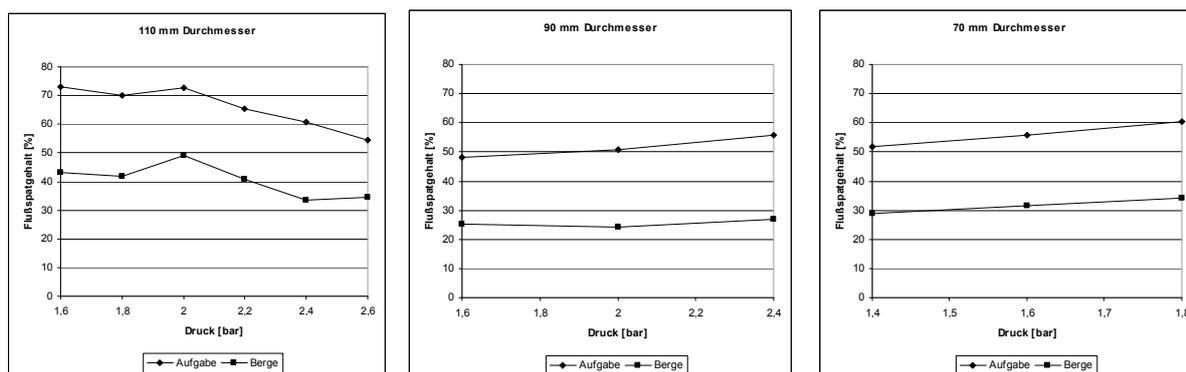


Abbildung 34: Vergleich der Flußspatgehalte in Aufgabe und Berge

### 5.5.2. Untersuchungen durch Klaubung und Schwi mm-Sink-Analyse an einer Flußspatmischprobe vom 10.8.2007

Für diese erste Rohgutuntersuchung wurden Proben von Aufgabe, Berge und Konzentrat gezogen. Das Mischungsverhältnis zwischen Flußspaterz Grün und Diagonaltrum lag bei 3:1. Die chemische Analyse und Bilanzierung der Beprobung ist in Tabelle 28 dargestellt, die die hohen Flußspatverluste und die vernachlässigbaren Schwespatverluste verdeutlicht.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	67,3	5,3	80,6	17,9	15,7	88,8	99,0
Berge	32,7	59,1	21,0	0,4	84,3	<b>11,2</b>	<b>1,0</b>
Aufgabe	100,0	22,9	61,1	12,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 28: Bilanztafel der Probenahme vom 10.8.2007

Die Korngrößenklassen 14/10, 10/6,3 und 4/2 mm der Aufgabeprobe wurden bei den Dichten 2,7 und 3,0 g/cm<sup>3</sup> abgeschwommen und die Dichteklassen auf ihre Gehalte analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 und Tabelle 30 dargestellt. Zu erkennen ist eine Zunahme der Masse der Dichteklasse > 3,0 g/cm<sup>3</sup> mit sinkender Korngröße und beträchtliche Massenanteile der Dichteklasse 2,7-3,0 g/cm<sup>3</sup>.

Korngrößenklasse:	14/10 mm	10/6,3 mm	4/2 mm
Dichteklasse	Masse	Masse	Masse
[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]
< 2,7	33,2	23,8	19,7
2,7/3,0	30,3	26,1	18,4
> 3,0	<b>36,5</b>	<b>50,1</b>	<b>61,9</b>
Summe	100,0	100,0	100,0

Tabelle 29: Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse an Korngrößenklassen der Aufgabe

Aus Tabelle 30 ist zu erkennen, dass die Verwachsungen von Schwerspat mit Quarz und Flußspat von untergeordneter Bedeutung sind. Im Gegensatz dazu zeigen die Dichteklassen < 2,7 g/cm<sup>3</sup> noch CaF<sub>2</sub>-Gehalte von bis zu 11,6 %. In den ersten Schlussfolgerungen wurde hier eine Verwachsung zwischen Flußspat und Quarz angenommen, konnte aber später auf die Porosität zurückgeführt

werden. Die Dichteklasse  $2,7/3,0 \text{ g/cm}^3$  wurde als unproblematisch betrachtet, da ein Korn bestehend aus einer Mischung aus 30 % Quarz und 70 % Flußspat eine berechnete Dichte von  $2,98 \text{ g/cm}^3$  aufwies und somit der Großteil dieser Dichteklasse im Schwergut des Tri-Flo-Scheiders ausgebracht werden müsste.

	14/10 mm			10/6,3 mm			4/2 mm		
	< 2,7	2,7/3,0	> 3,0	< 2,7	2,7/3,0	> 3,0	< 2,7	2,7/3,0	> 3,0
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
CaF <sub>2</sub>	<b>11,6</b>	71,9	64,3	<b>9,0</b>	69,3	62,1	<b>9,2</b>	70,8	67,5
BaSO <sub>4</sub>	0,2	0,7	16,6	0,3	0,6	16,6	0,3	0,3	15,8
SiO <sub>2</sub>	64,1	22,2	6,5	65,8	23,9	5,7	66,5	21,0	3,1

Tabelle 30: Chemische Analysen der Dichtklassen aus Tabelle 29

Die Bergeprobe wurde in Kornklassen eingeteilt. An diesen Kornklassen wurden zuerst der Beton und das Nebengestein ausgeklaut. Die verbliebenen Klassen bestehend aus Flußspat und Quarz wurden bei  $2,7$  und  $3,0 \text{ g/cm}^3$  abgeschwommen. Die ausgeklauten Klassen Beton und Nebengestein wurden der Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  zugerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 31 dargestellt.

Unter der Annahme, dass die gesamte Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  aus Flußspat bestand, ergab sich noch immer ein Unterschied von  $8,3 \%$  zur chemischen Analyse.

In Tabelle 30 ergab sich für die Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  ein durchschnittlicher CaF<sub>2</sub>-Gehalt von  $9,9 \%$ . Zusammen mit der Abschätzung, dass der CaF<sub>2</sub>-Gehalt der Dichteklasse  $2,7/3,0 \text{ g/cm}^3$  inklusive des durch Beton eingebrachten Anteils etwa  $70 \%$  betrug, ergab sich schlussendlich ein berechneter CaF<sub>2</sub>-Gehalt von  $20,5 \%$  für diese Bergeprobe. Gemäß Tabelle 28 stimmt dieser Wert ausgesprochen gut mit dem durch die RFA bestimmten CaF<sub>2</sub>-Gehalt von  $21 \%$  überein.

KGK	< 2,7 g/cm <sup>3</sup>	2,7/3,0 g/cm <sup>3</sup>	> 3,0 g/cm <sup>3</sup>
[mm]	[%]	[%]	[%]
18/14	5,2	0,1	0,0
14/10	22,0	1,8	0,1
10/6,3	19,6	2,3	0,2
6,3/4	13,5	2,3	0,1
4/2	16,3	2,4	0,4
2/1	10,8	2,0	1,0
Summe	87,3	10,9	1,8

Tabelle 31: Zusammenfassung der Ergebnisse der Klaube- und Schwimm-Sink-Analyse

## 5.6. Tastversuch zur Korngrößenabhängigkeit der Flußspatverluste am Schwerspaterz

Dieser erste Tastversuch diente dazu, um festzustellen, ob die Verhältnisse bei der Verarbeitung des Schwerspaterzes eher dem Erztyp Grün oder dem Erztyp Diagonaltrum zuzuordnen sind.

Nach erfolgter Trocknung wurde die Hälfte der Bergeprobe bei 6,3 mm abgesiebt und die daraus entstandenen Produkte „Berge gesamt“, „Berge < 6,3 mm“ und „Berge > 6,3 mm“ chemisch analysiert. Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigt Tabelle 32.

Diese Untersuchung zeigte, dass es auch beim Schwerspaterz zu größeren CaF<sub>2</sub>-Verlusten im Korngrößenbereich < 6 mm kam. Mit dieser kurzen Untersuchung konnte bereits nachgewiesen werden, dass beim Schwerspaterz die gleiche Problematik wie beim Flußspaterz Grün auftritt. Auf Grund der geringeren CaF<sub>2</sub>-Gehalte und -Inhalte in der Aufgabe wurde dies allerdings betrieblicherseits bislang nicht als dringlich eingestuft. Mit einem CaF<sub>2</sub>-Gehalt von 16,5 % in den Bergen ergaben sich aber ähnlich hohe Verluste wie beim Flußspaterz Grün.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Berge > 6 mm	57,4	65,7	10,1	1,7	60,7	35,2	58,3
Berge < 6 mm	42,6	57,4	25,1	1,6	39,3	64,8	41,7
Berge gesamt	100,0	62,1	16,5	1,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 32: Ergebnisse der Bergeuntersuchung, Schwerspaterz

## 5.7. Untersuchungen an unvermischten Roherzen bei unterschiedlichen Drücken der Aufgabetrübe

Ziel dieser Untersuchungen war es, weitere Erkenntnisse über die Druckabhängigkeit der Ergebnisse zu erzielen und gleichzeitig Proben unvermischter Erze zu erhalten.

Die unterschiedlichen Aufgabedrucke konnten mittels Frequenzumformer der Pumpen eingestellt werden. Die Drücke wurden zwischen 1,4 und 1,8 bar variiert und damit so gewählt, dass sie einen möglichst großen Einfluss auf das Sortierergebnis aufwiesen. Zudem sollte der laufende Betrieb nicht gestört werden, denn einerseits drohte der Schwergutaustrag bei geringeren Drücken als 1,4 bar zu verstopfen, da die Förderhöhe der Pumpe nicht mehr ausreichte, und andererseits drohten die Austragskästen bei höheren Drücken als 1,8 bar überzugehen.

Nach der Veränderung der Einstellungen wurde eine Dauer von fünf Minuten abgewartet, um das System zu stabilisieren. Anschließend wurden Aufgabe, Berge und Konzentrat der Reihe nach beprobt, wobei sich die Probe der Aufgabe aus drei Teilproben, und sich Berge- und Konzentratproben aus jeweils zwei Teilproben zusammensetzte. Im Anschluss wurden die Dichten der Trüben in der Reihenfolge Aufgabe-, Schwergut- und Leichtguttrübe bestimmt. Diese Vorgehensweise der Variation des Drucks wurde zweimal wiederholt. Die Proben der Aufgabe wurden vereint, um eine möglichst repräsentative Probe für die weiteren Untersuchungen zu erhalten. Die Sammelprobe der Aufgabe setzte sich aus 18 Teilproben zusammen, die Sammelproben der Produkte aus sechs Teilproben. Die Anzahl der Teilproben wie auch der straffe Zeitplan beim Wechsel der Bedingungen sollten die Auswirkungen von Schwankungen in der Aufgabe auf die Probenahme gering halten.

Die Proben wurden getrocknet und anschließend mit einem Riffelteiler geteilt. Eine Viertelteilprobe wurde gebrochen und für die chemische Analyse vorbereitet. Der Rest der Probe wurde für die

Siebanalyse als Vorbereitung für die Schwimm-Sink-Analyse bei einer Dichte von  $2,7 \text{ g/cm}^3$  genutzt.

Dieser Versuch wurde mit den beiden Flußspaterztypen und dem Schwerspaterz durchgeführt. Bei den beiden Flußspaterzen konnten unterschiedliche Ergebnisse beobachtet werden, zudem wies der Flußspatanteil aus dem Schwerspaterz Ähnlichkeiten zum Flußspaterztyp Grün auf.

### 5.7.1. Untersuchung des Erztyps Diagonaltrum

Das offensichtlichste an den Ergebnissen der Versuche mit dem Erz aus dem Diagonaltrum war der geringe Flußspatgehalt in den Bergen (siehe Tabelle 33 und Tabelle 34). Ein weiterer wichtiger Punkt war, dass ein höherer Aufgabedruck der Trübe höhere Flußspatgehalte in den Bergen mit sich brachte. Diese Beobachtung konnte auch bei den Versuchen mit dem Flußspaterztyp Grün und dem Schwerspaterz gemacht werden.

Diagonaltrum, 1,4 bar		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	54,5	20,8	47,0	25,6	26,5	92,8	98,1
Berge	45,5	69,3	<b>4,4</b>	0,6	73,6	7,2	1,9
Aufgabe	100,0	42,9	27,6	14,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 33: Bilanztafel, Flußspaterz Diagonaltrum, 1,4 bar

Diagonaltrum, 1,8 bar		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	58,6	23,6	40,1	23,8	32,8	90,1	98,1
Berge	41,4	68,3	<b>6,3</b>	0,7	67,2	10,9	1,9
Aufgabe	100,0	42,1	26,1	14,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 34: Bilanztafel, Flußspaterz Diagonaltrum 1,8 bar

Die Korngrößenverteilungen der Produkte sind in Abbildung 35 ausgewiesen. Die Korngrößenverteilungen der Konzentrate wiesen einen höheren Feinkornanteil als ihre zugehörigen Bergeprodukte aus. Dies stand im krassen Gegensatz zu den Untersuchungen des Flußspaterztyps Grün (vergleiche Abbildung 40).

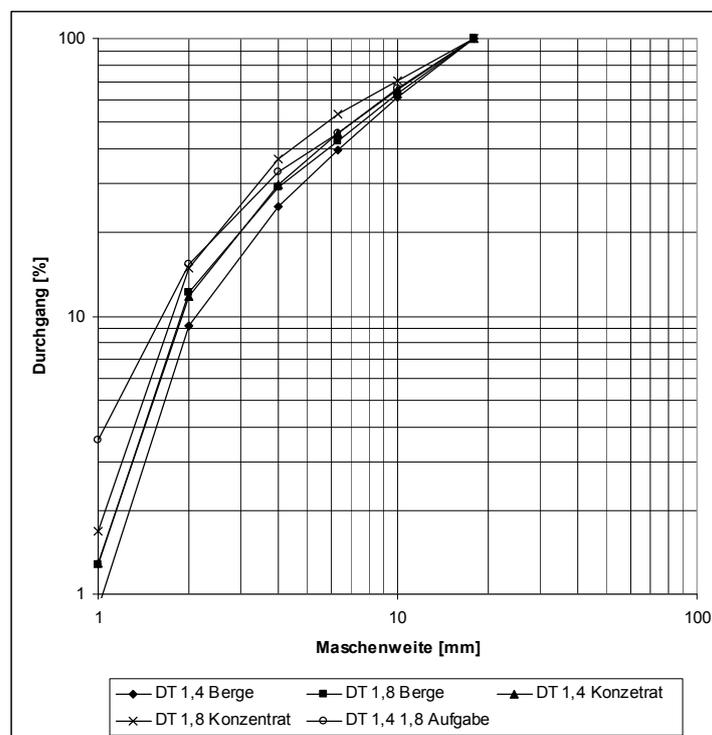


Abbildung 35: Korngrößenverteilung der Aufgabe und der Trennprodukte, Flußspaterz Diagonaltrum

Die Proben der Aufgabe und der Produkte wurden in Natriumpolywolframatlösungen bei einer Dichte von  $2,7 \text{ g/cm}^3$  abgeschwommen. Aus den Masseanteilen von Schwimm- und Sinkgut in den einzelnen Korngrößenklassen ließ sich das Inhaltsausbringen der Dichteklassen in den Korngrößenklassen berechnen. Für die Darstellung der Ergebnisse wurde das kornklassenbezogene Inhaltsausbringen über der summierten Masseverteilung der Aufgabe dargestellt.

Da nach der chemischen Analyse der Produkte dieses Erz als das unkritischste erkannt wurde, wurden keine weiteren Beprobungen durchgeführt. Wie Abbildung 36 veranschaulicht, war in den Kornklassen  $< 4 \text{ mm}$  eine Verringerung des Inhaltsausbringens feststellbar, aber insgesamt lag das Ausbringen über die gesamte Korngrößenspanne über  $90 \%$ . Bei höherem Druck der Aufgabetrübe konnte festgestellt werden, dass es zu einem erhöhten Ausbringen der Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat kam. Eine Verbesserung des Ausbringens der Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat konnte nicht beobachtet werden, im Gegenteil, es musste eine Verschlechterung über weite Teile der Korngrößenverteilung in Kauf genommen werden. Auch aus den in den Tabelle 33 und Tabelle 34 dargestellten Bilanzen geht dieser Sachverhalt hervor.

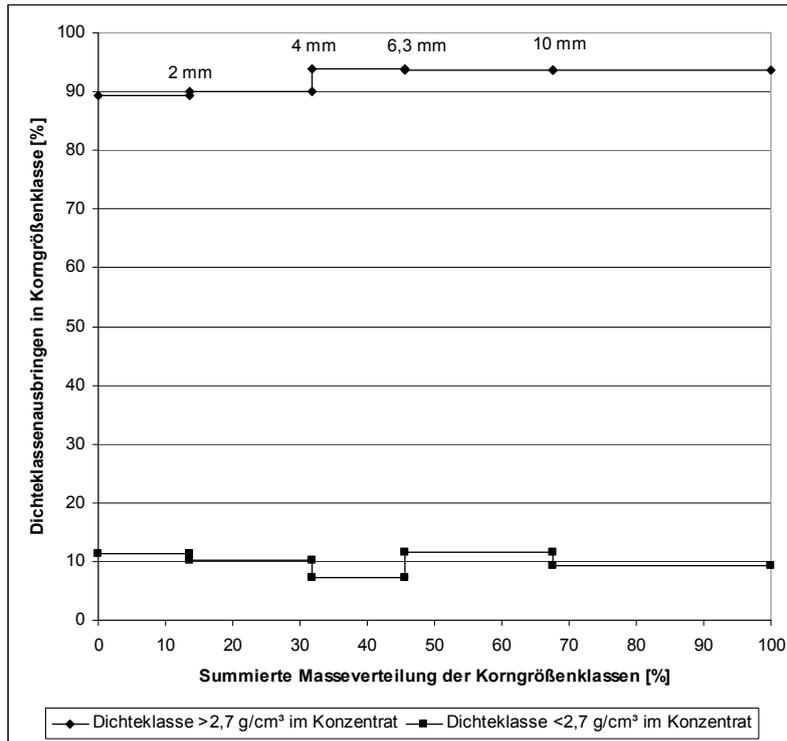


Abbildung 36: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Diagonaltrum, 1,4 bar, 2,70 g/cm<sup>3</sup>

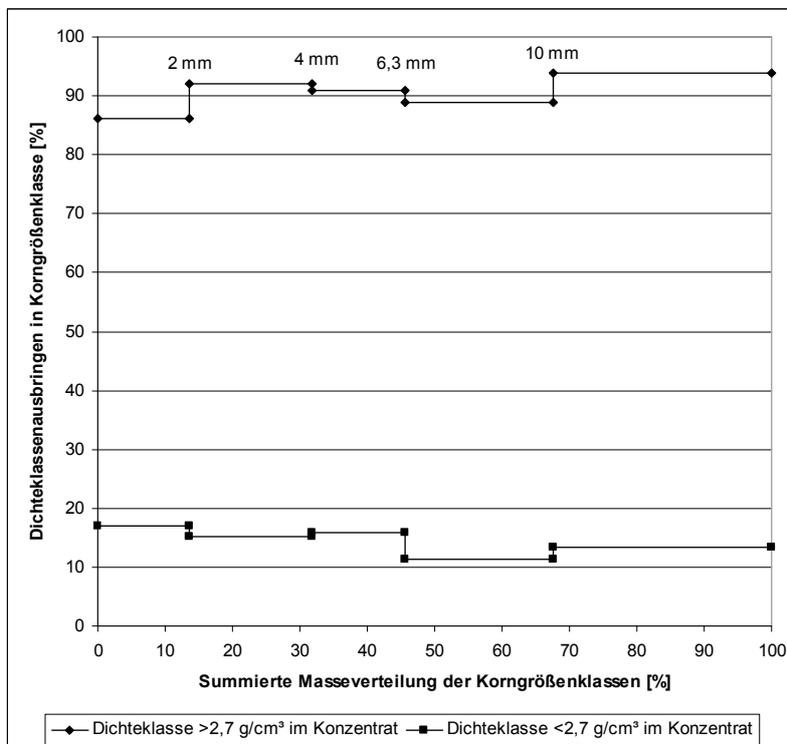


Abbildung 37: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Diagonaltrum, 1,8 bar, 2,70 g/cm<sup>3</sup>

### 5.7.2. Untersuchung des Erztyps Grün

Das Flußspaterz Grün zeichnete sich im Gegensatz zum Erz aus dem Diagonaltrum durch einen viel höheren Flußspatgehalt in der Aufgabe aus. Die Flußspatgehalte in den Bergen lagen bei etwa 50 %. Als positiv zu bewerten war der geringe SiO<sub>2</sub>-Gehalt in den Konzentraten.

Die Bilanzen (Tabelle 35 und Tabelle 36) ergaben ein Flußspatausbringen von nur etwa 76 % in den Konzentraten. Wie schon beim Diagonaltrumerg lag auch hier das Schwerspatausbringen bei 98 %.

Grün, 1,4 bar		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	66,9	7,6	74,2	14,3	27,6	<b>75,5</b>	98,3
Berge	33,1	40,4	<b>48,7</b>	0,5	72,4	24,5	1,7
Aufgabe	100,0	18,5	65,8	9,8	100,0	100,0	100,0

Tabelle 35: Bilanztafel, Flußspaterz Grün, 1,4 bar

Grün, 1,8 bar		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	68,8	9,8	74,2	14,0	35,5	<b>76,6</b>	98,6
Berge	31,2	39,4	<b>50,2</b>	0,4	64,5	23,4	1,4
Aufgabe	100,0	19,0	66,7	9,8	100,0	100,0	100,0

Tabelle 36: Bilanztafel, Flußspaterz Grün, 1,8 bar

Im Vergleich zum Erz aus dem Diagonaltrum zeigte das Flußspaterz Grün eine feinere Korngrößenverteilung. Ein weiterer Unterschied bestand darin, dass hier die Berge im Gegensatz zu den Konzentraten viel höhere Feinkornanteile aufwiesen (vergleiche Abbildung 38 und Abbildung 35). In

Anbetracht der Umstände, dass bei diesen Versuchen als einzige Veränderung ein anderes Flußspaterz verwendet wurde, musste das Problem aufgabeabhängig sein.

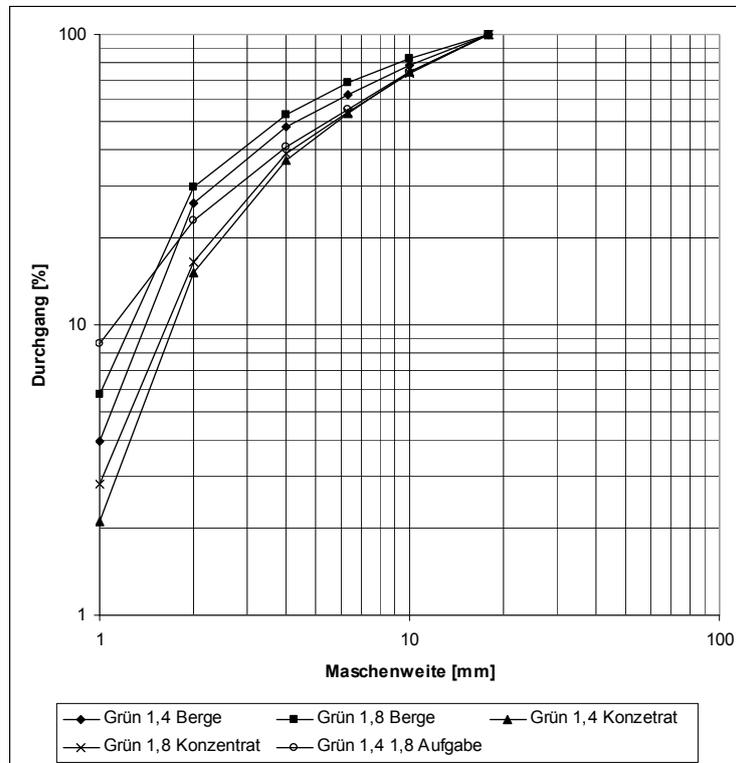


Abbildung 38: Korngrößenverteilung der Aufgabe und der Trennprodukte, Flußspaterz Grün

Besonderes Augenmerk wurde nach den Ergebnissen der chemischen Analysen der ersten Beprobung auf das Flußspaterz „Grün“ gelegt. Wie aus diesen Untersuchungen hervorging, wurden vor allem in den Korngrößenklassen  $< 4$  mm die größten Flußspatverluste festgestellt. In Abbildung 39 und Abbildung 40 wurde in diesen Korngrößenklassen das verringerte Inhaltsausbringen der Dichteklasse  $> 2,7$  g/cm<sup>3</sup> im Konzentrat ersichtlich. In den groben Korngrößenklassen lag das Ausbringen dieser Dichteklasse über 90 % und damit in einem mit dem Flußspaterz aus dem Diagonaltrum vergleichbaren Bereich. Die Veränderung des Aufgabedruckes brachte keine Verbesserung hinsichtlich des Ausbringens der Dichteklasse  $> 2,7$  g/cm<sup>3</sup> im Konzentrat, sondern führte wiederum zu einem vermehrten Ausbringen der Dichteklasse  $< 2,7$  g/cm<sup>3</sup>.

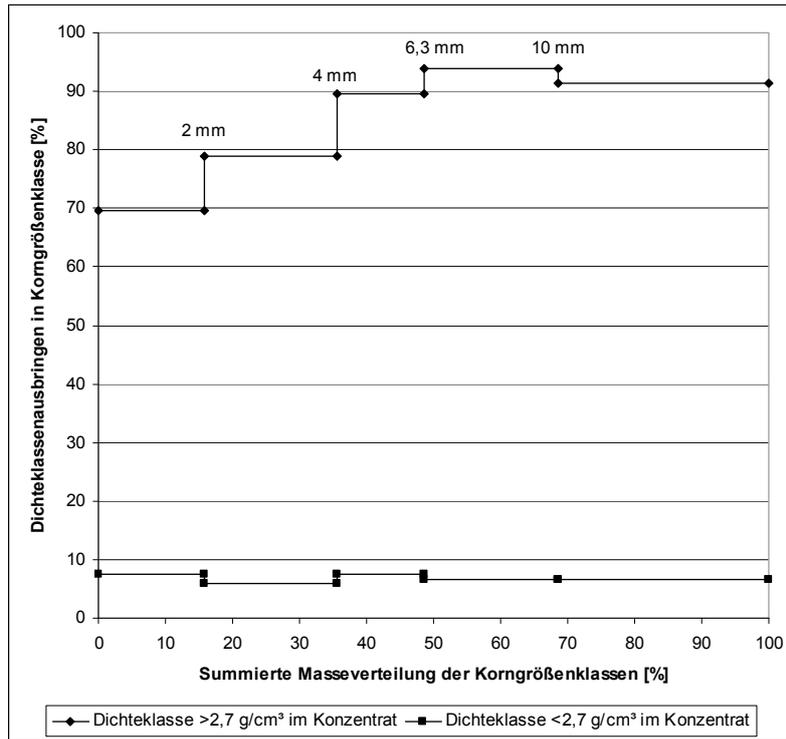


Abbildung 39: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 1,4 bar, 2,66 g/cm<sup>3</sup>

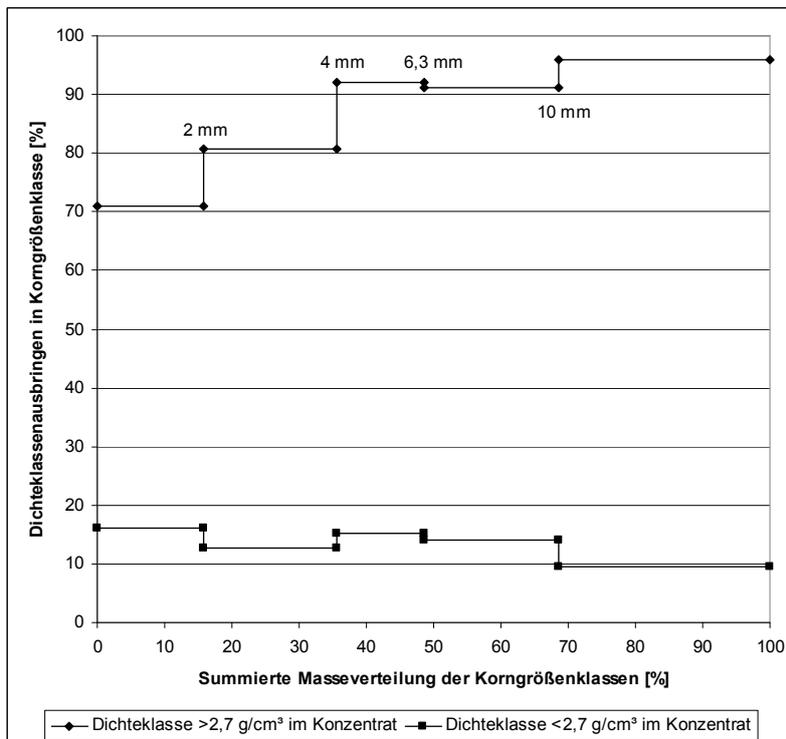


Abbildung 40: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 1,8 bar, 2,69 g/cm<sup>3</sup>

### 5.7.3. Untersuchung des Schwerspaterzes

Die Berechnung des Inhaltsausbringens (Tabelle 37 und Tabelle 38) ergab für  $\text{CaF}_2$  sehr gute Werte, die allerdings bei einer genaueren Betrachtung eher eine Probenteilung kennzeichneten. Das bedeutete, dass auch beim Durchsetzen des Schwerspaterzes ein Selektivitätsproblem hinsichtlich des Flußspates auftrat. Bei geringerem Druck konnten wiederum bessere Ergebnisse erzielt werden.

Schwerspat, 1,4 bar		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	94,5	18,4	21,0	68,0	<b>80,0</b>	<b>96,4</b>	99,5
Berge	5,6	78,4	13,5	5,7	20,0	3,6	0,5
Aufgabe	100,0	21,8	20,6	64,5	100,0	100,0	100,0

Tabelle 37: Bilanztafel, Schwerspaterz, 1,4 bar

Schwerspat, 1,8 bar		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	93,1	18,7	16,6	68,9	<b>76,9</b>	<b>92,6</b>	99,5
Berge	6,9	76,3	17,8	5,1	23,1	7,4	0,6
Aufgabe	100,0	22,7	16,6	64,5	100,0	100,0	100,0

Tabelle 38: Bilanztafel, Schwerspaterz, 1,8 bar

Wie beim Flußspaterz Grün wiesen beim Schwerspaterz die Bergeprodukte größere Feinkornanteile als die Konzentrate auf (siehe Abbildung 41).

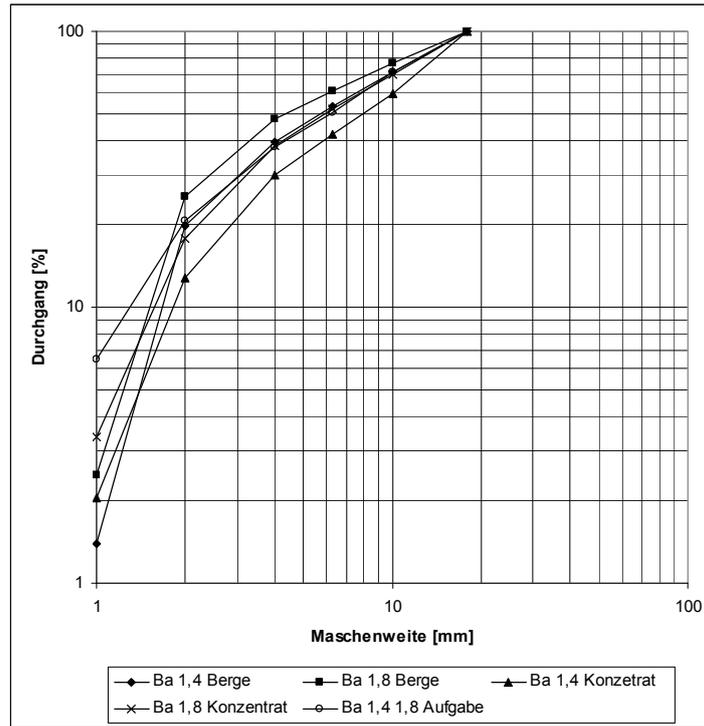


Abbildung 41: Korngrößenverteilung der Aufgabe und der Trennprodukte, Flußspaterz Schwerspaterz

Auf Grund der hohen Gehalte an Schwespat in Aufgabe und Konzentrat und dessen unproblematischen Trennverhaltens lag das Inhaltsausbringen der Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  weit über 90 %. Allerdings konnte auch hier die Verschlechterung des Ausbringens dieser Dichteklasse in den Korngrößenklassen  $< 4 \text{ mm}$  (siehe Abbildung 42 und Abbildung 43) beobachtet werden. Die Erhöhung des Drucks der Aufgabetrübe brachte eine geringfügige Verschlechterung des Ausbringens der Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat über die gesamte Kornspanne mit sich.

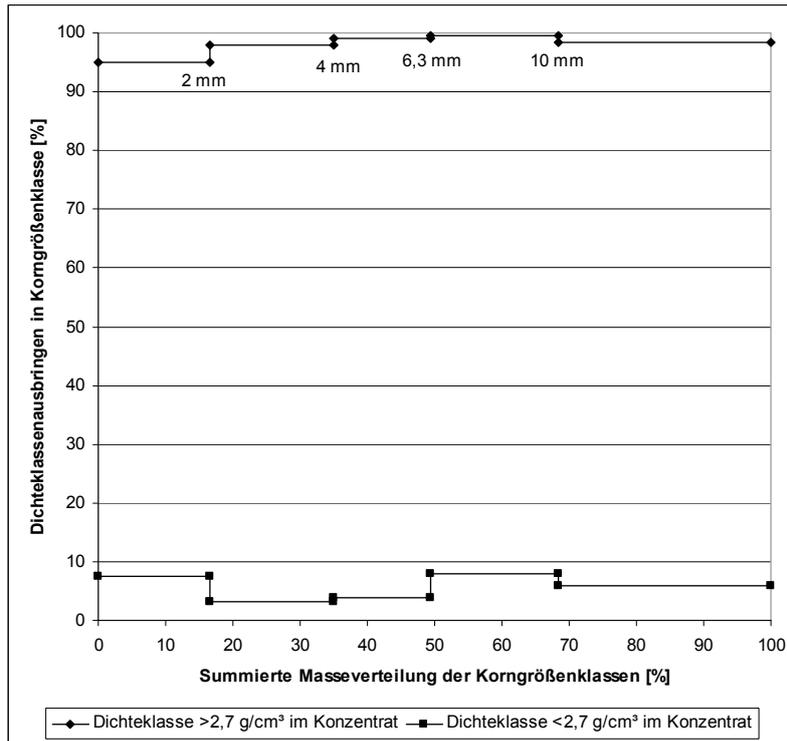


Abbildung 42: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Schwerspaterz, 1,4 bar, 2,69 g/cm<sup>3</sup>

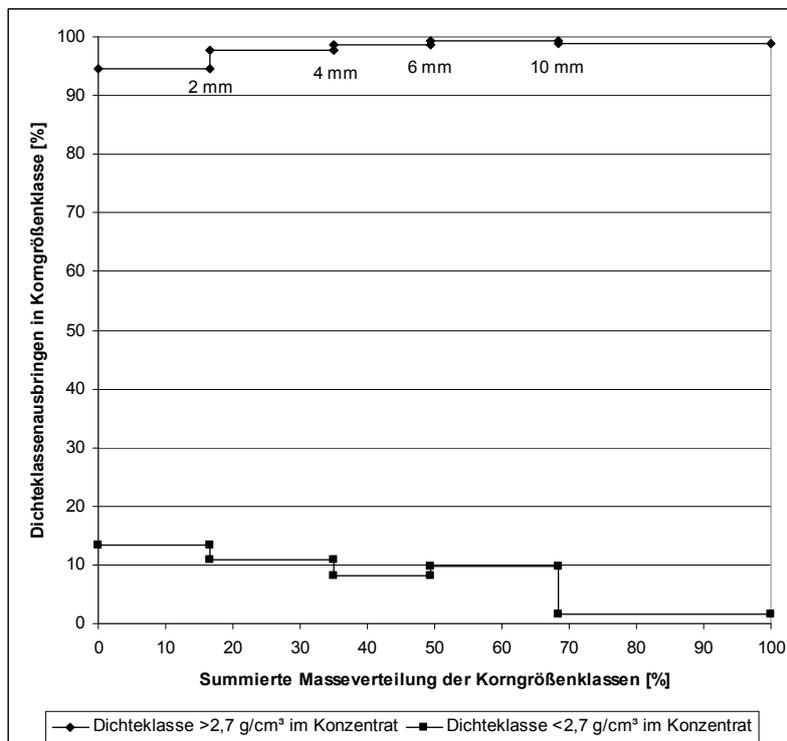


Abbildung 43: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Schwerspaterz, 1,8 bar, 2,71 g/cm<sup>3</sup>

#### **5.7.4. Zusammenfassung der Untersuchungen an unvermischten Erzen bei unterschiedlichem Druck der Aufgabetrübe**

Die Versuche bei unterschiedlichem Aufgabedruck der Arbeitstrübe ergaben bessere Ergebnisse für den Betriebszustand mit geringerem Druck. Da die Drücke 1,4 und 1,8 bar aber die beiden Endpunkte der möglichen Regelung - ohne Zwischenfälle und Produktionsausfälle hervorzurufen - darstellten und der Einfluss des Drucks auf den Sortiererfolg von untergeordneter Bedeutung ist, wird als generelle Betriebsweise ein möglichst geringer Aufgabedruck der Arbeitstrübe vorgeschlagen.

Die großen Unterschiede der Korngrößenverteilungen von Konzentrat und Berge beim Flußspaterz Grün lassen vermuten, dass bei der Verarbeitung dieses Erzes im Korngrößenbereich  $< 4$  mm ein Selektivitätsproblem vorliegt.

Das Flußspaterz aus dem Diagonaltrum lässt sich mit den gegebenen Einstellungen ohne große  $\text{CaF}_2$ -Verluste in den Bergen aufbereiten. Da festgestellt wurde, dass sämtlicher Schwespat aufgeschlossen vorliegt, sollte sich nach der Schwespat-/Flußspattrennung ein Flußspatkonzentrat mit den abgeschätzten Gehalten von etwa 70 %  $\text{CaF}_2$  und 30 %  $\text{SiO}_2$  ergeben.

Aus dem Erztyp Grün lassen sich höherwertige Flußspatkonzentrate erzielen (ca. 90 %  $\text{CaF}_2$ , 10 %  $\text{SiO}_2$ ), aber die Inhaltsverluste von  $\text{CaF}_2$  in den Bergen sind mit ca. 25 % viel zu hoch und als eigentliches Problem zu werten.

Das bei der Verarbeitung von Schwespat zu erwartende Flußspatkonzentrat wies eine abgeschätzte Zusammensetzung von etwa 50 %  $\text{CaF}_2$  und 50 %  $\text{SiO}_2$  auf und wäre als solches für den Einsatz in der Flotation nur bedingt tauglich. Eine getrennte Lagerung und eventuell ein nochmaliges Durchsetzen durch die Schwertrübeanlage könnte zu einer Verbesserung der Gehalte führen.

### **5.8. Versuche bei verringerter Trübedichte**

Wie die vorangegangenen Untersuchungen zeigten, kamen die Flußspatverluste hauptsächlich bei der Verarbeitung des Flußspaterzes Grün und beim Schwespat zu zustande. Eine Verbesserung der Ergebnisse wurde durch die Verringerung der Dichte der Aufgabetrübe erwartet.

#### **5.8.1. Untersuchung der Spreizung bei geringerer Trübedichte**

Die Untersuchungen wurden am 12.11.2007 durchgeführt. Die Schwertrübeanlage verarbeitete zum Zeitpunkt der Untersuchungen Schwespat. Die Dichte der Arbeitstrübe wurde schrittweise abgesenkt, bei unterschiedlichen Drücken beprobt und deren Dichte bestimmt. In Tabelle 39 sind die Ergebnisse zusammengefasst, wobei jede Zeile den Mittelwert aus drei Messungen darstellt. Zu erkennen ist die Steigerung der Spreizung bei Verringerung der Trübedichte, die aber im vertretbaren Bereich bleibt. Die Dichte der Schwerguttrübe lag im erwünschten Bereich von größer  $2,8 \text{ g/cm}^3$ ,

sodass eine Verschlechterung der Konzentratqualität durch erhöhtes Ausbringen von Bergebestandteilen nicht zu erwarten war.

Druck	Dichteregler	Aufgabetrübe	Schwerguttrübe	Leichtguttrübe	Spreizung
[bar]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
1,6	37	2,650	2,853	2,432	0,422
	33	2,618	2,843	2,362	0,482
	28	2,548	2,823	2,272	0,552
1,8	37	2,655	2,85	2,397	0,453
	33	2,608	2,845	2,362	0,483
	28	2,572	2,825	2,258	0,567

Tabelle 39: Ergebnisse der Trübebehebungen bei geringerer Dichte

### 5.8.2. Untersuchung am Flußspaterz Grün bei einer Aufgabetrübedichte von 2,57 g/cm<sup>3</sup>

Beim Versuch vom 13.11.2007 wurde Flußspaterz Grün bei möglichst geringem Aufgabedruck der Schwertrübe verarbeitet. Wie aus den Ergebnissen der Trübebehebung in Tabelle 40 ersichtlich ist, wies die Schwerguttrübe eine Dichte von beinahe 2,8 g/cm<sup>3</sup> auf. Die Spreizung war mit 0,46 g/cm<sup>3</sup> noch im akzeptablen Bereich.

Trüberegler	Aufgabe	Schwergut	Leichtgut	Spreizung
[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
28	2,565	2,773	2,318	0,455

Tabelle 40: Ergebnisse der Trübebehebung vom 13.11.2007

Im Vergleich zu den bisherigen Versuchen mit dem Flußspaterz Grün konnte mit verringerter Dichte der Aufgabetrübe trotz geringerem  $\text{CaF}_2$ -Gehalt in der Aufgabe ein besseres Konzentrat bei weitaus geringerem  $\text{CaF}_2$ -Gehalt in den Bergen erzielt werden. Vor allem das  $\text{SiO}_2$ -Ausbringen in den Bergen konnte von etwa 70 % (siehe Tabelle 35 und Tabelle 36) auf über 90 % (Tabelle 41) gesteigert werde, ohne das Wertmineralausbringen im Konzentrat negativ zu beeinflussen. Die Abschwimmversuche sollten dieses Ergebnis bestätigen.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	55,2	4,2	80,4	13,6	8,7	78,2	97,8
Berge	44,8	55,0	<b>27,7</b>	0,4	<b>91,3</b>	21,8	2,2
Aufgabe	100,0	27,0	56,8	7,7	100,0	100,0	100,0

Tabelle 41: Bilanztafel, Flußspat Grün,  $2,57 \text{ g/cm}^3$

Die Auswertung der Abschwimmversuche bei  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ist in Abbildung 44 dargestellt. Das Inhaltsausbringen der Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat erreichte höhere Werte im Vergleich zu den Ergebnissen bei Standardtrübedichte. Allerdings musste noch immer eine Abnahme des Inhaltsausbringens der Dichteklassen  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  mit kleiner werdender Korngröße beobachtet werden. Das Inhaltsausbringen der Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat ist angestiegen, wie aufgrund der verringerten Dichte der Aufgabetrübe zu erwarten war.

Bei einer Trübedichte von  $2,57 \text{ g/cm}^3$  wies nur die Korngrößenklasse 2/1 mm ein Ausbringen der Dichteklasse  $> 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat von kleiner 90 % auf. Das Ausbringen der Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat belief sich auf etwa 35 %, außer in der größten und massereichsten Fraktion (58 %).

Diese bedeutenden Unterschiede zur chemischen Analyse und der daraus berechneten Bilanz zeigt wiederum den Einfluss der Porosität. Der Anstieg des Ausbringens der Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Konzentrat kommt durch das vermehrte Ausbringen von porösem Flußspat im Konzentrat zustande und nicht durch ein vermehrtes Ausbringen von Quarz, wie die Bilanz in Tabelle 41 zeigt.

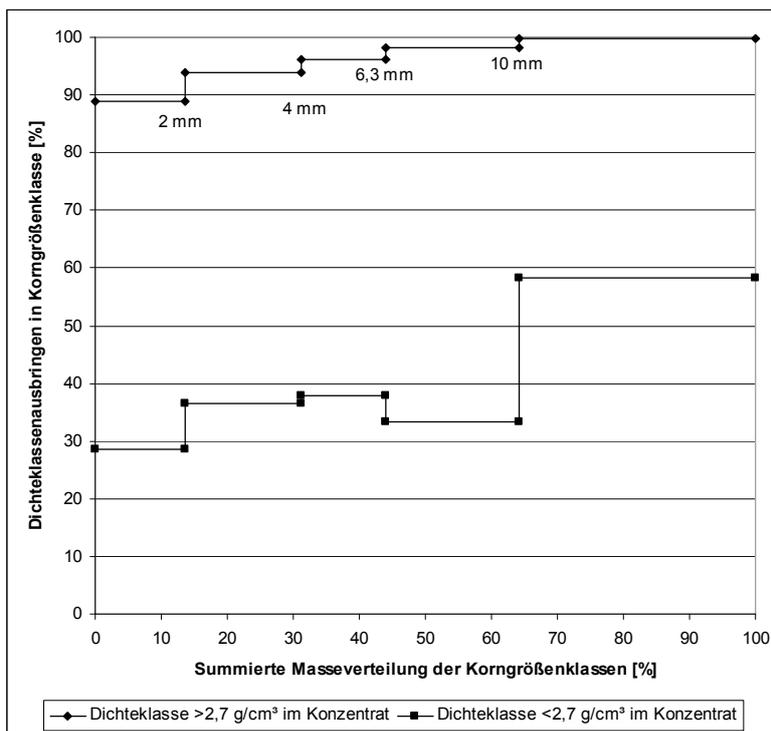


Abbildung 44: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 2,57 g/cm³

### 5.8.3. Untersuchung am Flußspaterz Grün bei einer Aufgabetrübedichte von 2,51 g/cm³

Wieder wurde besonderes Augenmerk auf die Dichte der Schwerguttrübe und den Betrag der Spreizung gelegt. Wie die Werte in Tabelle 42 veranschaulichen, konnten gute Voraussetzungen in Bezug auf die Schwerguttrübedichte erreicht werden, allerdings lag die Spreizung mit 0,6 g/cm³ bereits sehr hoch und damit in einem eher ungünstigen Bereich.

Trüberegler	Aufgabe	Schwergut	Leichtgut	Spreizung
[%]	[g/cm³]	[g/cm³]	[g/cm³]	[g/cm³]
24	2,513	2,813	2,212	0,602

Tabelle 42: Ergebnisse der Trübebeobachtung vom 14.11.2007

Die CaF<sub>2</sub>-Gehalte in den Bergen konnten auf 19,3 % (siehe Tabelle 43) verringert werden und der SiO<sub>2</sub>-Gehalt des Konzentrates lag mit 20,3 % noch im tolerierbaren Bereich. Das Flußspatausbringen

konnte auf über 90 % gesteigert werden, auf das Schwerspatausbringen hatten diese Versuche nur geringfügige Auswirkungen.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	74,1	<b>20,3</b>	65,2	8,5	49,5	<b>90,6</b>	98,4
Berge	25,9	59,3	<b>19,3</b>	0,4	50,5	9,4	1,6
Aufgabe	100,0	30,4	53,4	6,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 43: Bilanztafel, Flußspaterz Grün, 2,51 g/cm<sup>3</sup>

Das korngrößenbezogenen Inhaltsausbringen (Abbildung 45) der Dichteklasse > 2,7 g/cm<sup>3</sup> konnte weiter gesteigert werden, allerdings stieg auch das Inhaltsausbringen der Dichteklasse < 2,7 g/cm<sup>3</sup> im Konzentrat weiter an. Die Dichte der Trübe mit 2,51 g/cm<sup>3</sup> war bereits zu gering, um eine effektive Bergeabscheidung zu erzielen, wie die Ergebnisse der chemischen Analyse und der daraus berechneten Bilanz zeigen. Das CaF<sub>2</sub>-Ausbringen im Konzentrat war mit 90 % sehr hoch, allerdings wurden ebenfalls 50 % des SiO<sub>2</sub>-Inhaltes im Konzentrat ausgebracht. Diese Versuchsergebnisse zeigen nachdrücklich, dass die Sortierung des Flußspaterztyps Grün mittels Dichtesortierung immer mit Flußspatverlusten einhergehen wird.

#### 5.8.4. Zusammenfassung der Ergebnisse bei geringerer Trübedichte

Die Versuche mit verringerter Aufgabetrübedichte zeigen, dass die Flußspatverluste in den Bergen verringert werden können. Auf Grund der natürlichen Porosität gibt es aber Flußspatinhalte, die mittels Dichtesortierung nicht ausgebracht werden können.

Eine Herabsetzung der Trübedichte auf 2,57 g/cm<sup>3</sup> erbrachte gute Ergebnisse bezüglich des Flußspat- und Quarzausbringens. So konnte das SiO<sub>2</sub>-Ausbringen in den Bergen auf über 90 % gesteigert werden und auch das Flußspatausbringen im Konzentrat wurde beinahe auf 80 % gesteigert. Der CaF<sub>2</sub>-Gehalt im Bergeprodukt wurde auf 27,7 % verringert.

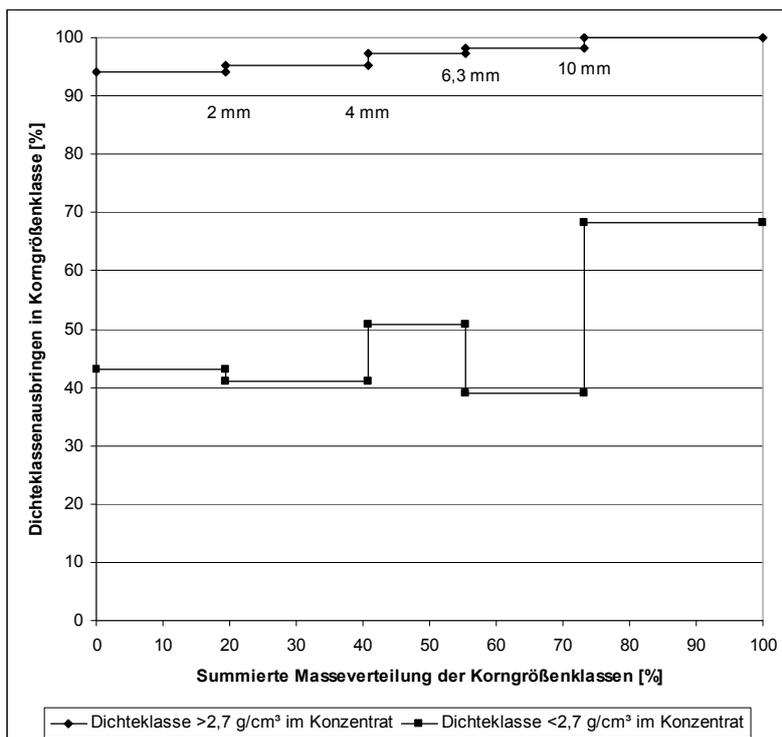


Abbildung 45: Korngrößenbezogenes Inhaltsausbringen, Flußspaterz Grün, 2,51 g/cm<sup>3</sup>

Eine weitere Herabsetzung der Trübedichte auf 2,51 g/cm<sup>3</sup> bewirkte zwar eine deutliche Verbesserung des CaF<sub>2</sub>-Ausbringens im Konzentrat auf 90 %, allerdings wurden 50 % des SiO<sub>2</sub>-Inhaltes ebenfalls im Konzentrat ausgebracht.

Auf das Schwerspatausbringen hatten die Versuche keine merkbaren Auswirkungen.

Die Verringerung der Trübedichte konnte somit als Möglichkeit zur Verbesserung des Flußspatausbringens bestätigt werden.

## 5.9. Versuche mit umgekehrter Sortierreihenfolge

In dem Verfasser bekannten Einsatzfällen mit zwei Trennschnitten wurde der mit der höheren Dichte in der ersten Stufe und der mit der geringeren Dichte in der zweiten Stufe vollzogen. Eine umgekehrte Sortierreihenfolge war in Wolfach bislang noch nicht getestet worden. Es sollte daher im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Versuche untersucht werden, ob eine Aufbereitung der Wolfacher Erze mit umgekehrter Sortierreihenfolge möglich wäre.

Um die umgekehrte Sortierreihenfolge zu ermöglichen, wurden die Produkte von Tri-Flo-Scheider 1 auf dem Entrübungssieb wieder vereint, sodass der gesamte Materialstrom auf den Tri-Flo-Scheider 2 aufgegeben wurde, wo das Schwespatprodukt in der „ersten“ Stufe hergestellt wurde. Im Anschluss daran wurde das Leichtgut von Tri-Flo-Scheider 2 in einer eigenen Kampagne wieder in die Anlage aufgegeben und im Tri-Flo-Scheider 1 in ein Flußspatprodukt und ein Bergeprodukt sortiert, sodass

diese Trennung die zweite Stufe repräsentierte. Vor diesem Versuch wurde die Anlage in normaler Fahrweise beprobt, um einen Vergleich bei gleicher Roherzzusammensetzung zu ermöglichen.

### 5.9.1. Versuche am Flußspaterz Grün

Wie bei allen Beprobungen des Flußspaterztyps Grün konnte wiederum ein hoher Flußspatgehalt in den Bergen nachgewiesen werden, allerdings erhöhte die umgekehrte Sortierreihenfolge sowohl das Masseausbringen an Flußspatprodukt, als auch das Inhaltsausbringen von  $\text{CaF}_2$  im Flußspatprodukt wie die Bilanzen in Tabelle 44 und Tabelle 45 zeigen.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Berge	35,1	53,6	<b>27,8</b>	1,1	78,3	16,9	3,9
Flußspat	<b>55,7</b>	9,3	85,1	1,9	21,6	<b>81,8</b>	10,7
Schwerspat	9,2	0,2	8,4	91,8	0,1	1,3	85,5
Aufgabe	100,0	24,0	57,9	9,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 44: Vergleichsversuch bei normaler Fahrweise, Flußspaterz Grün

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Berge	31,5	54,9	<b>26,7</b>	1,2	77,3	14,1	3,8
Flußspat	<b>59,9</b>	8,5	84,5	2,5	22,7	<b>84,7</b>	15,0
Schwerspat	8,6	0,0	8,7	92,8	0,0	1,3	81,2
Aufgabe	100,0	22,4	59,8	9,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 45: Versuchsergebnisse mit umgekehrter Sortierreihenfolge, Flußspaterz Grün

### 5.9.2. Versuche am Schwerspaterz

Auch bei der Verarbeitung des Schwerspaterzes konnte bei umgekehrter Sortierreihenfolge ein verbessertes Flußspatausbringen im Flußspatprodukt im Vergleich zur normalen Fahrweise festgestellt werden (vergleiche Tabelle 46 und Tabelle 47).

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Berge	9,8	62,7	12,2	4,4	83,1	12,4	0,5
Flußspat	9,0	11,5	67,8	11,7	13,9	<b>62,8</b>	1,3
Schwerspät	81,2	0,3	3,0	94,7	3,0	24,8	98,1
Aufgabe	100,0	7,4	9,7	78,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 46: Vergleichsversuch bei normaler Fahrweise, Schwerspaterz

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Berge	9,5	65,5	9,0	2,2	79,8	7,9	0,3
Flußspat	11,5	13,6	66,0	11,8	20,0	<b>70,0</b>	1,8
Schwerspät	79,0	0,0	3,0	95,9	0,2	22,1	98,0
Aufgabe	100,0	7,8	10,8	77,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 47: Versuchsergebnisse mit umgekehrter Sortierreihenfolge, Schwerspaterz

### 5.9.3. Zusammenfassung der Versuche mit umgekehrter Sortierreihenfolge

Die Versuche mit umgekehrter Sortierreihenfolge zeigen, dass sich dadurch das Flußspatausbringen im Flußspatprodukt der Schwertrübescheidung verbessern ließe und damit eine weitere Verbesserung des Wertmineralausbringens ermöglicht würde. Ein derartiger Eingriff in die bestehende Anlagenschaltung ist durchaus denkbar, wobei die Adaptierungsarbeiten vor allem im Bereich der Produktförderbänder nötig wären.

## 5.10. Ermittlung der Teilungszahlen

Für die Ermittlung der Teilungskurven wurden ausgewählte Korngrößenklassen mittels Schwimm-Sink-Analyse bei Dichten zwischen 2,5 und 3,0 g/cm<sup>3</sup> untersucht. Für diese Untersuchungen wurde auf Proben des Schwerspaterzes verzichtet, da die Gehalte an Flußspat und Nebengestein in Aufgabe und Konzentrat äußerst gering waren und somit eine große Menge dieser Proben hätte abgeschwommen werden müssen, um ausreichende Probemassen für die Schwimm-Sink-Analyse zu erhalten.

### 5.10.1. Ermittlung der Teilungskurven für das Flußspaterz Diagonaltrum

Es wurden die Korngrößenklassen 2/1, 4/2 und 10/6,3 mm untersucht. Die erstgenannten wegen der offensichtlich schlechteren Sortierwirkung in diesen Korngrößenklassen, letztere, um einen Vergleich mit den gröbereren Fraktionen zu ermöglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 48 und Abbildung 46 dargestellt. Der Mittelwert der Dichte der Aufgabetrübe bei sechs Beprobungen lag bei 2,53 g/cm<sup>3</sup>.

Kornklasse	T <sub>50</sub>	ep	Kornstreuung	Imperfektion
[mm]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[1]	[1]
2/1	2,81	0,10	1,072	0,053
4/2	2,77	0,10	1,078	0,058
10/6,3	2,72	0,06	1,043	0,034

Tabelle 48: Kennwerte der Teilungskurven, Erztyp Diagonaltrum

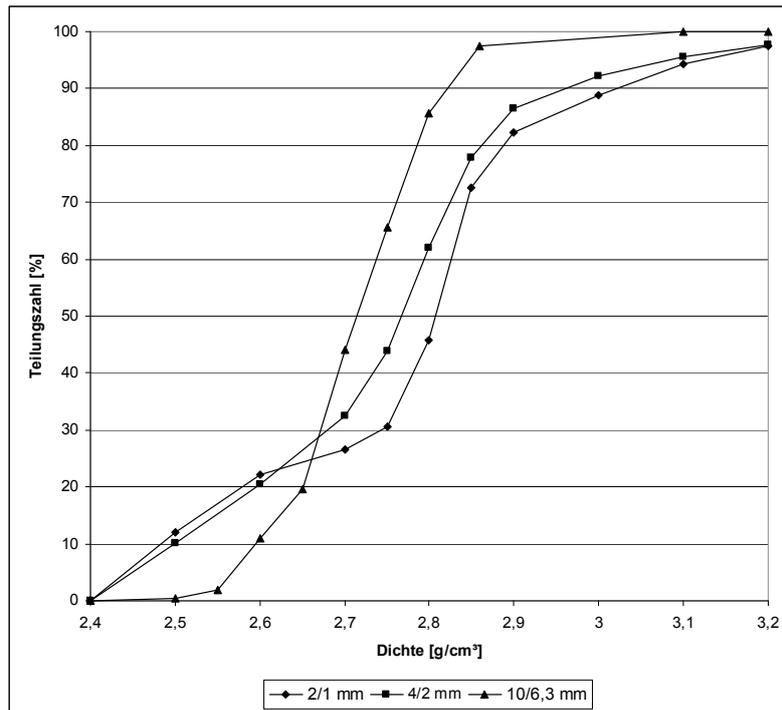


Abbildung 46: Darstellung der Teilungskurven, Erztyp Diagonaltrum

Der *ecart probable* ( $ep$ ) der aus dem Versuch mit der Korngrößenklasse 10/6,3 mm ermittelten Teilungskurve stimmt mit im Fachschrifttum ausgewiesenen Werten gut überein (siehe 5.2.4.1). Die aus den Versuchen mit den beiden feineren Korngrößenklassen ermittelten  $ep$ 's liegen über diesen. Auch die Trennschnittlage nach TROMP ( $T_{50}$ ) stieg mit sinkender Korngröße. Insgesamt zeigte sich, dass der Trennschnitt je nach Korngrößenklasse zwischen 0,2 und 0,3 g/cm<sup>3</sup> höher als die Aufgabetrübedichte lag.

### 5.10.2. Ermittlung der Teilungskurven für das Flußspaterz Grün

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden dieselben Kornklassen auch beim Flußspaterz Grün untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 47 und Tabelle 49 dargestellt.

In diesem Fall lagen die Werte des *ecart probable* in den beiden feinen Kornklassen über den beim Flußspaterz Diagonaltrum ermittelten Werten. Der Wert in der Korngrößenklasse 10/6,3 mm war vergleichbar. Auch hier lag die Trennschnittlage etwa 0,2 g/cm<sup>3</sup> über der Aufgabetrübedichte.

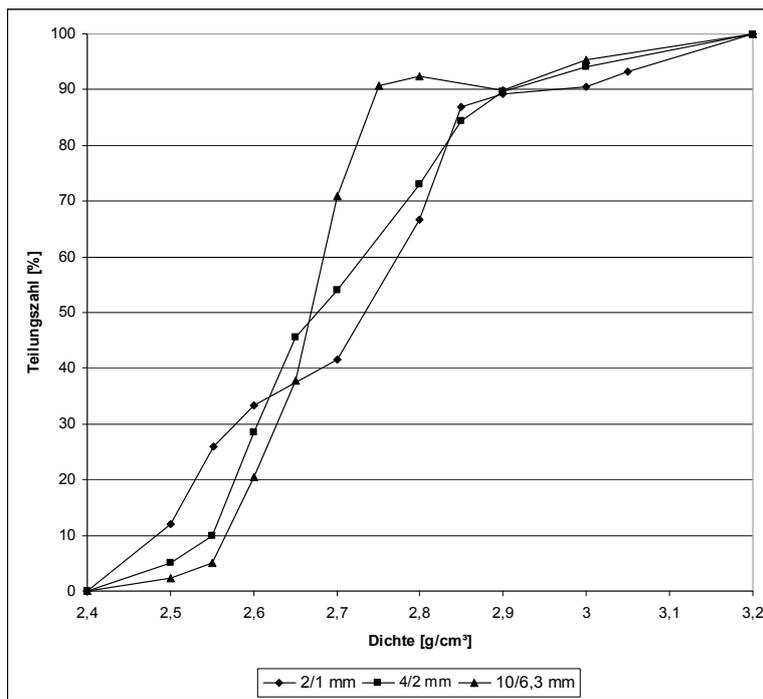


Abbildung 47: Darstellung der Teilungskurven, Erztyp Grün

Kornklasse	T <sub>50</sub>	ep	Kornstreuung	Imperfektion
[mm]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[1]	[1]
2/1	2,73	0,14	1,108	0,080
4/2	2,68	0,11	1,084	0,065
10/6,3	2,67	0,05	1,038	0,029

Tabelle 49: Kennwerte der Teilungskurven, Erztyp Grün

### 5.10.3. Zusammenfassung der Bestimmung der Teilungszahlen

Die Ermittlung der Teilungskurven ergab Trennkennzahlen, die mit Angaben in der Fachliteratur gut übereinstimmen ([6] und [16]). Auch eine Verschlechterung des Trennerfolges mit kleiner werdender Korngröße wurde bestätigt. Die Werte für den Erztyp Grün waren im Vergleich zum Erztyp Diagonaltrum bei gleicher Fahrweise schlechter. Der tatsächliche Trennschnitt lag etwa 0,2 g/cm<sup>3</sup> über der Aufgabetrübedichte.

## 5.11. Zusammenfassung der verschiedenen Versuchsreihen

Die während der Betriebsversuche erhaltenen Analyseergebnisse wurden hier zusammengefasst, um die Rohgutabhängigkeit der Flußspatverluste in den Bergen näher zu beschreiben. Folgende Erztypen wurden untersucht: Flußspaterz Diagonaltrum, Flußspaterz Grün bei zwei unterschiedlichen Dichten der Arbeitstrübe, und eine Mischung beider Erztypen (Grün : Diagonal = 3:1) aus den ersten Betriebsversuchen.

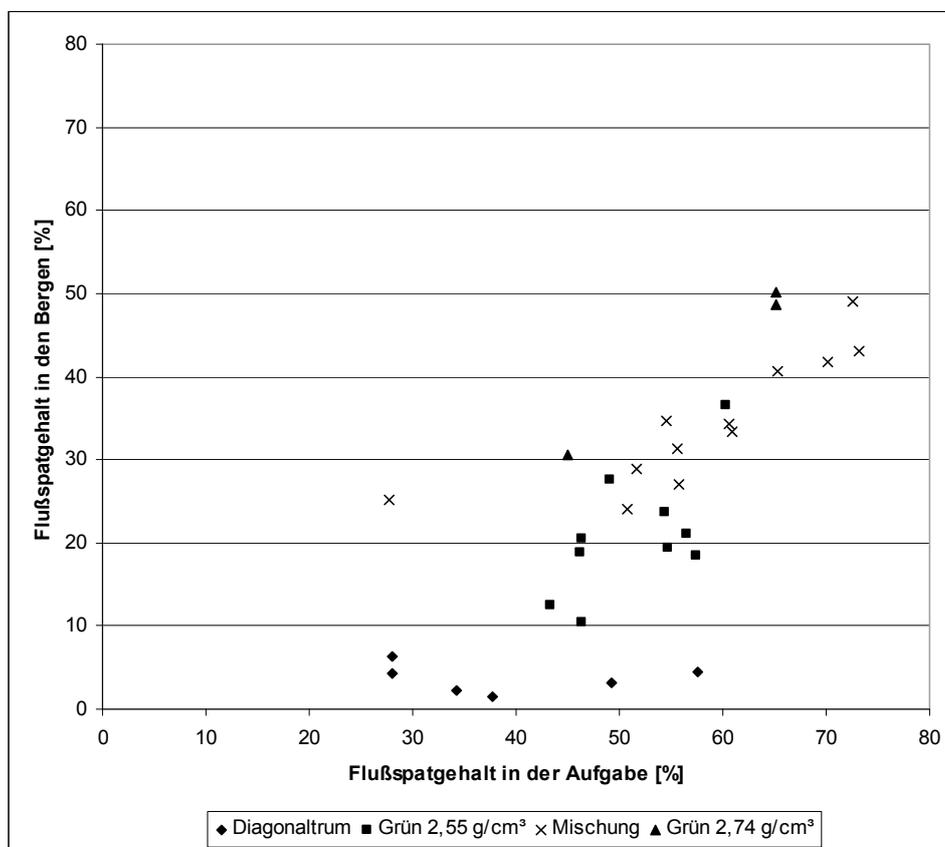


Abbildung 48: Darstellung der Flußspatgehalte in den Bergen in Abhängigkeit des Aufgabegehaltes

Beim Flußspaterz Diagonaltrum zeigten die Flußspatverluste in den Bergen keine Abhängigkeit von den Gehalten der Aufgabe. Beim Flußspaterz Grün hingegen war eine Abhängigkeit deutlich zu erkennen. Diese zeigte einen linearen Charakter, der allerdings nicht durch den Nullpunkt führte. Daraus kann geschlossen werden, dass nur ein Teil des Flußspates aus dem Erztyp „Grün“ für die Flußspatverluste in den Bergen verantwortlich ist. Durch die Mischung der Erze oder einer verringerten Trübedichte in der Schwertrübescheidung konnten keine signifikanten Verbesserungen beobachtet werden.

Dieser lineare Zusammenhang wurde bereits in [13] beschrieben, allerdings waren die damals festgestellten Flußspatverluste in den Bergen bei weitem nicht so hoch. In Abbildung 24 auf Seite 51 wurde die damalige Verbesserung durch den Einbau des Tri-Flo-Scheiders anstelle eines Dyna-Whirlpool-Scheiders abgebildet. Man beachte die unterschiedliche Skalierung im Vergleich zu Abbildung 48.

## 5.12. Ergebnisse und Schlüsse aus den Untersuchungen der Schwertrübescheidung

Die Untersuchungen der Schwertrübescheidung erbrachten die Erkenntnis, dass die Erztypen wesentliche Unterschiede bezüglich der Porosität des Flußspates aufweisen. Diese Porosität des Flußspatertyps Grün und des Flußspatanteils im Schwerspaterz führt zu einer verringerten scheinbaren Dichte der Flußspatkörner und kann damit als Verursacher der Flußspatverluste verantwortlich gemacht werden. Eine Verbesserung hinsichtlich des Ausbringens der porösen Anteile kann durch eine verringerte Trübedichte in der Bergeabscheidung erreicht werden, wobei bei zu geringer Trübedichte das Ausbringen von silikatischem Nebengestein im Flußspatprodukt erhöht wird. Die Verluste können dabei nur verringert und nicht ganz ausgeschaltet werden, da sich die Verringerung der scheinbaren Dichte durch die Porosität bis in Bereiche von etwa  $2,5 \text{ g/cm}^3$  erstreckt. Es lässt sich daher schlussfolgern, dass die Verfahren der Dichtesortierung bei diesen Erztypen immer mit Verlusten behaftet sein werden.

Die Untersuchungen der Schwertrübe bestätigten eine prinzipielle Tauglichkeit hinsichtlich der Trübeparameter „Viskosität“, „Stabilität“ und des „Anteils an unmagnetischen Verunreinigungen“. Durch vermehrte Zugabe von Ferrosilizium konnte die Trübeviskosität etwas verringert werden, wobei sich die Viskositätswerte bereits auf einem erwünscht niedrigen Niveau befanden.

Die Abhängigkeit des Sortiererfolges von den Druck- und damit Geschwindigkeitsverhältnissen im Tri-Flo-Scheider zeigte, dass eine Fahrweise bei möglichst geringem Druck der Aufgabetrübe die besseren Ergebnisse erzielte. Die Verbesserungen durch geringere Aufgabedrucke bewegen sich aber im Bereich weniger Prozentpunkte. Dabei muss auf einen störungsfreien Austrag der Schwergutströme geachtet werden, um eine möglichst hohe Anlagenverfügbarkeit zu garantieren.

Die Untersuchung des Trennerfolges und der Teilungszahlen erbrachte mit aus diversen Erfahrungsberichten und Literaturstellen vergleichbare Werte. Diese Untersuchungen zeigten deutlich, dass der Scheider an sich nicht für die schlechten Ergebnisse verantwortlich ist.

Die teilweise erschreckend hohen Flußspatgehalte von bis zu 50 %  $\text{CaF}_2$  in den Bergen und die damit einhergehenden Flußspatverluste von bis zu 25 % des Flußspatinhaltes der Aufgabe können eindeutig auf die Beschaffenheit des Flußspates (Porosität) aus bestimmten Gängen der Grube zurückgeführt werden. Dabei zeigen sich insbesondere große Anteile an porösen Flußspatkörnern im Hauptflußspatgang, etwas geringere Anteile im Schwerspatergang und keine nachweisbare Porosität im

Erz aus dem Diagonaltrum.

Mit der Entdeckung der Porosität konnten die Flußspatverluste erstmals befriedigend geklärt werden und – darauf aufbauend – weitere Schlüsse für eine mögliche Verbesserung der Aufbereitung der Erze gefunden werden. Sämtliche Verfahren der Dichtesortierung können diesen porösen Flußspatanteil nicht in das Konzentrat ausbringen. In weiterführenden Untersuchungen wurde daher der Frage nachgegangen, ob andere Sortierverfahren genutzt werden können, um auch diesen porösen Flußspatinhalt als Wertstoffkomponente anzureichern.

## 6. Feinkorndichtesortierung

In der Anlage Wolfach kam bis vor kurzem nur eine rudimentäre Feinkornaufbereitung nach dem Merkmal der Dichte zum Einsatz. Diese bestand aus einer Feinkornsetzmaschine und einigen Zyklonen. Zum einen fand durch den Einsatz der Feinkornsetzmaschine eine gewisse Abreicherung der Leichtgutkomponenten statt, zum anderen wurde ein Großteil der Feinstanteile über den Zyklonüberlauf abgestoßen. Die dabei entstehende, betriebsintern als „Sand“ bezeichnete Fraktion wurde den nachfolgend beschriebenen Produkten der Schwertrübescheidung – „Schwerspatkonzentrat“ und „Flußspatkonzentrat“ – wieder zugegeben. Dadurch mussten aber höhere Anforderungen an die Produkte der Schwertrübescheidung gestellt werden.

Die „Schwerspatkonzentrate“ der Schwertrübescheidung erreichten einen  $\text{BaSO}_4$ -Gehalt von 95 % und darüber. Durch die Zugabe dieser nur ungenügend sortierten Sande wurde Flußspat und Quarz wieder zugesetzt und zusätzlich der Weißegrad der Produkte herabgesetzt.

Die „Flußspatkonzentrate“ der Schwertrübescheidung wiesen je nach Erztyp unterschiedliche  $\text{CaF}_2$ -Gehalte auf. Durch die Zugabe der Sande wurde der  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{BaSO}_4$ -Gehalt der Vorkonzentrate erhöht, was sich wiederum erschwerend für die nachfolgende Flotation auswirkte.

Um diese vorgenannten Schwierigkeiten zu verringern, die aufbereitungstechnische Lücke zwischen Grobkorndichtesortierung und Flotation zu schließen und auch den Korngrößenbereich kleiner 1 mm einer Vorsortierung zugänglich zu machen, wurden die Möglichkeiten des Einsatzes einer Feinkorndichtesortierung in der bestehenden Anlage in systematischen Untersuchungsreihen in der Aufbereitungsanlage in Wolfach wie auch am Lehrstuhl für Aufbereitung getestet. Dabei sollten vor allem Wendelscheider auf Grund ihrer platzsparenden Aufstellungsmöglichkeit eingesetzt werden.

### 6.1. Theoretische Aspekte der Feinkorndichtesortierung

Die Sortierung nach der Dichte im Bereich 1/0,1 mm kann auf Rinnen oder Herden vollzogen werden. Die Strömungsgeschwindigkeit der Trübe ist so zu wählen, dass die Körner gerade nicht sedimentieren aber auch ein Suspendieren der Körner verhindert wird.

#### 6.1.1. Bewertung der Sortierbarkeit [17]

Eine Faustregel sagt, dass der Dichteunterschied der zu trennenden Minerale mindestens  $1 \text{ g/cm}^3$  betragen muss, damit eine Trennung mittels Feinkorndichtesortierung möglich ist. Einen besseren Weg, die Trennmöglichkeit zu beschreiben, bietet Gleichung 2 aus der Gleichfälligkeitsbetrachtung nach RITTINGER.

$$\frac{k_1}{k_2} = \left( \frac{\rho_{s2} - \rho_f}{\rho_{s1} - \rho_f} \right)^n \quad \text{Glg.2}$$

Der Exponent  $n$  nimmt für turbulente Verhältnisse den Wert 1, für laminare den Wert  $\frac{1}{2}$  und für den Übergangsbereich den Wert  $\frac{2}{3}$  an. Die Strömungsverhältnisse wechseln für die Korngrößenklasse 1/0,1 mm mit fallender Korngröße vom turbulenten in den laminaren Bereich. In folgender Tabelle 50 werden Werte für  $k_1/k_2$  für unterschiedliche Sortieraufgaben bei turbulenten und laminaren Strömungsverhältnissen in Wasser aufgelistet. Zusätzlich dazu sind Werte für eine Fluidichte von  $1,4 \text{ g/cm}^3$  angegeben.

Sortierproblem	Wasser (turb.)	Wasser (lam.)	Fluidichte $1,4 \text{ g/cm}^3$
Pyrit-Quarz	2,4	1,6	2,9
Zirkon-Quarz	2,2	1,5	2,6
Baryt-Quarz	2,1	1,4	2,4
Baryt-Fluorit	1,6	1,2	1,7
Fluorit-Quarz	1,3	1,1	1,4

Tabelle 50: Beispiele für  $k_1/k_2$  bei unterschiedlichen Sortieraufgaben

Je höher diese Werte sind, desto einfacher ist eine Feinkorndichtesortierung möglich. Zu erkennen ist, dass sich unter laminaren Verhältnissen geringere Werte ergeben. Dadurch liegen mit feiner werdender Korngröße immer schwierigere Bedingungen vor. Bei einer höheren Dichte des Fluids hingegen ergeben sich höhere Werte und damit bessere Sortierbedingungen.

Wie die Beispiele in Tabelle 50 zeigen, ist die Trennung zwischen Schwerspat und Quarz einfacher möglich, als zum Beispiel die Trennung von Flußspat und Quarz.

### 6.1.2. Rohgutvorbereitung

Die Rohgutvorbereitung vor der Feinkorndichtesortierung wird umso wichtiger, je geringer der Dichteunterschied der zu trennenden Minerale ist. Im Fall der Schwerspatabtrennung ist der Dichteunterschied sowohl zum Flußspat als auch zum Quarz ausreichend hoch. Bei der Flußspat/Quarz-Trennung sind die Dichteunterschiede deutlich geringer und somit eine Trennung umso schwieriger.

Die Stromklassierung kann die Voraussetzungen für die Sortierung mittels Herd- oder Rinnenarbeit verbessern. Wie Abbildung 49 anschaulich zeigt, werden bei der Siebung Korngrößenklassen hergestellt, wogegen die Stromklassierung Gleichfälligkeitsklassen produziert.

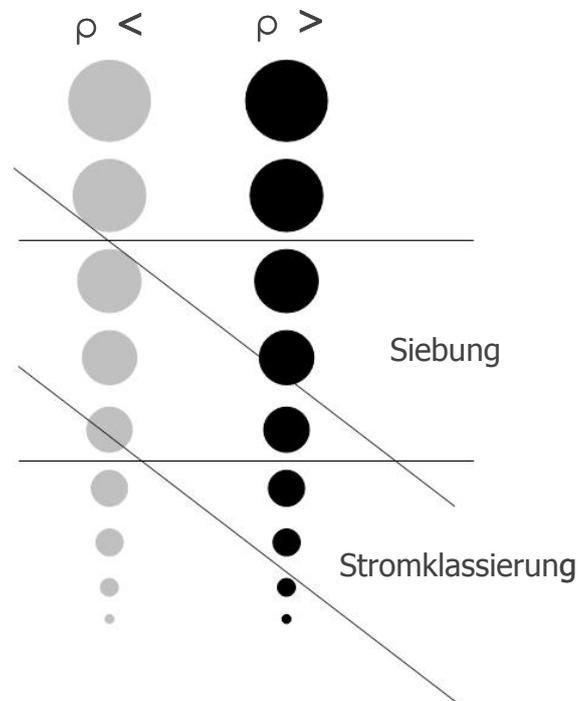


Abbildung 49: Unterschiedliches Klassierverhalten von Siebung und Stromklassierung

Die Auswirkung der Stromklassierung auf die Sortierwirkung eines Wendelscheiders ist schematisch in Abbildung 50 dargestellt (rechtes Bild). Die erwartbaren Effekte sind ein geringeres Masseausbringen an Mittelgut und bessere Ausbringenswerte von Schwergut und Leichtgut.

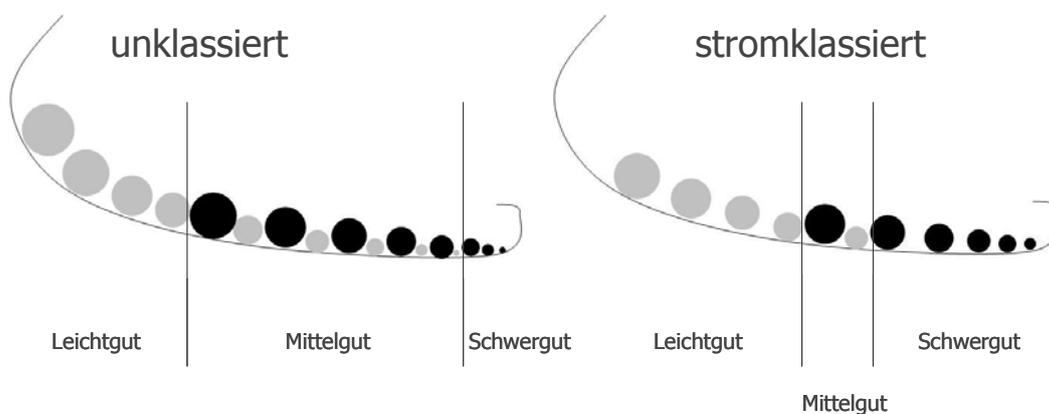


Abbildung 50: Effekt der Stromklassierung auf das Sortierverhalten eines Wendelscheiders

## 6.2. Laboruntersuchungen

Zuerst sollte die prinzipielle Möglichkeit der Sortierung des Waschsiebunterlaufes mittels Wendelscheider untersucht werden. In weiterer Folge wurden entschlämmte und vorklassierte Produkte untersucht. In den abschließenden Untersuchungen standen die Auswirkungen der Stromklassierung auf die reinen Erztypen und der Vergleich zu den unklassierten Proben im Vordergrund.

### 6.2.1. Versuchsaufbau

Auf Grund der geringen Härte und guten Spaltbarkeit der Wertminerale Flußspat und Schwerspat konnte eine Kreislaufschaltung der Trübe über Pumpe und Wendelscheider nicht eingesetzt werden. Die Probe wurde durch die Pumpe regelrecht aufgerieben, die Abrasivität des Hauptgangartminerals Quarz dürfte diesen Effekt noch verstärkt haben.

Aus diesem Grund war es notwendig, den Versuchsaufbau – wie in Abbildung 51 dargestellt – umzugestalten. Die Probe wurde trocken in die Wendelströmung eingebracht und nach erfolgter Sortierung in geeigneten Behältern aufgefangen. Der Leichtgutstrom mit der Hauptmenge des Prozesswassers wurde in einem Eindicker aufgefangen, dessen Überlauf als Prozesswasser wieder eingesetzt werden konnte. Da meist entschlämmte Proben aufgegeben wurden, konnte sauberes Klarwasser gewonnen werden, wodurch eine gute Beobachtung des Trennergebnisses am Wendelscheider möglich war.

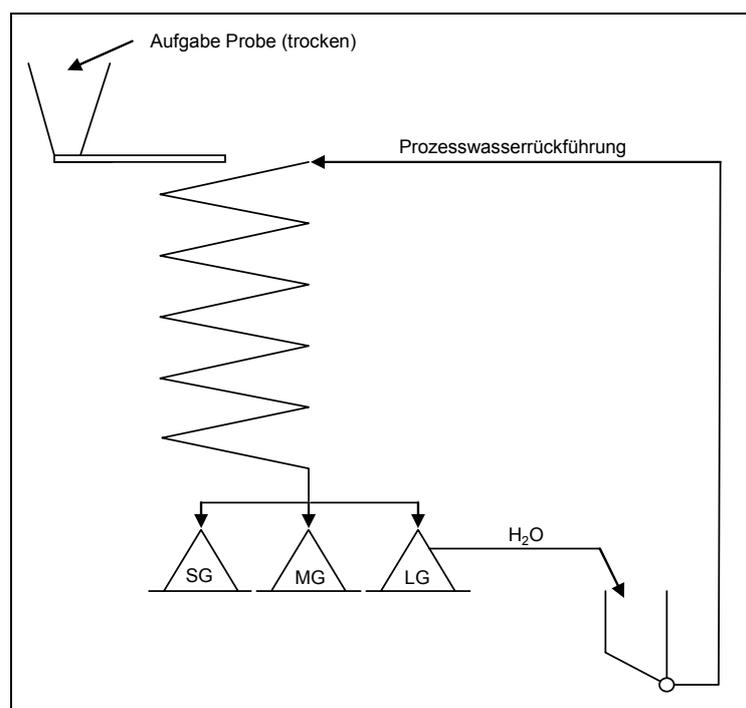


Abbildung 51: schematische Darstellung des Versuchsaufbaues [18]

Das in Abbildung 52 gezeigte Fass wurde als Eindicker genutzt, dessen Überlauf regelbar in den Pumpensumpf austrug. Die Produkte Schwergut und Mittelgut konnten mit Eimern aufgefangen werden, da der Wassergehalt dieser Produkte gering war. Dieser Versuchsaufbau erlaubte den Einsatz eines Schwebekörperdurchflussmessers zur Überprüfung der Betriebswassermenge. Die Pumpleistung konnte mit einem Frequenzumformer geregelt werden.



Abbildung 52: Abbildung des Produktaustrages und der Prozesswasserrückgewinnung

### 6.2.2. Versuche zur Abscheidung von reinen Schwerspat- und Bergeprodukten

Als Einstellungen für die Versuche wurde die Aufgaberate des Probenmaterials mit etwa 500 kg/h Probe bei einer Wassermenge von 1,5 m<sup>3</sup>/h festgelegt. Auf Grund dieser im Vergleich zu den Literaturwerten für technische Anwendungen niedrigen Aufgaberate sollte ein möglichst gutes Trennergebnis gewährleistet werden.

Bei der Einstellung der Trennschneiden am Wendelscheider wurde auf die Herstellung eines möglichst reinen Schwerspatproduktes (Schwergut) und Bergeproduktes (Leichtgut) Wert gelegt. Daraus ergaben sich die geringen Masseausbringenswerte dieser Produkte.

Als Versuchsmaterial standen vier, mit einem allflux®-Klassierer vorbereitete Sandproben – „BaSO<sub>4</sub> 20“, „BaSO<sub>4</sub> 30“, „CaF<sub>2</sub> 20“, „CaF<sub>2</sub> 10/36“ – zur Verfügung. Im Vergleich (siehe Abbildung 53) zu den unbehandelten Sanden – Grobsand und Zyklonunterlauf - zeigten diese allflux®-Klassen verringerte Feinkornanteile, eine ausgeprägte Veränderung der Korngrößenverteilung in den gröberen Kornklassen zeigte erst die Stromklassierung.

Daher konnte bei diesen Produkten noch nicht von stromklassierten, sondern nur von entschlämten Produkten gesprochen werden.

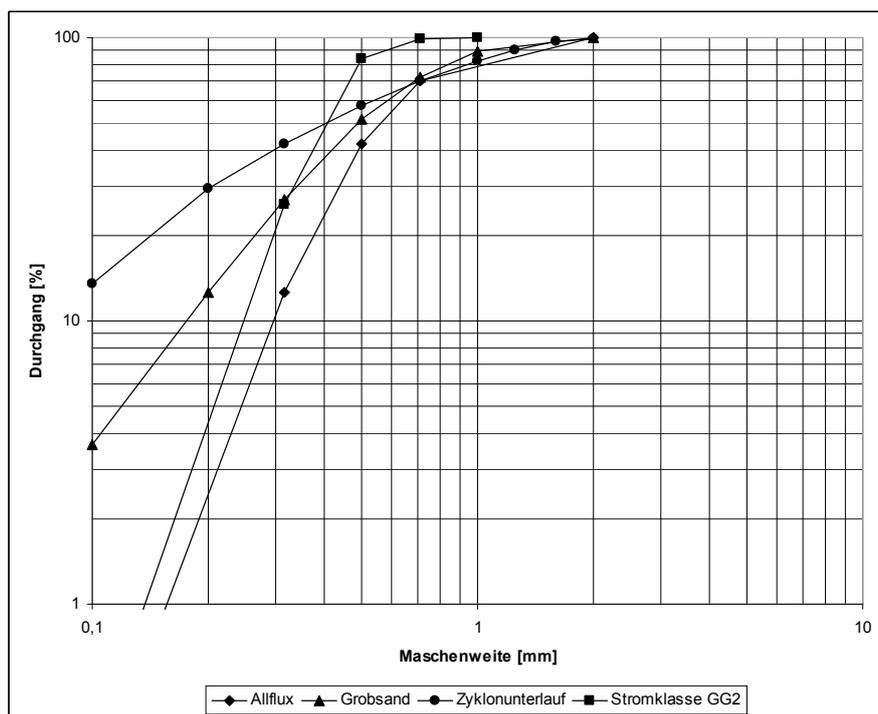


Abbildung 53: Korngrößenverteilungen bei unterschiedlicher Rohgutvorbereitung, Flußspatsande

Der Versuchsaufbau wurde vorab mit einem unklassierten Schwerspatsand getestet, um die Bedeutung einer vorgeschalteten Klassierung quantitativ bewerten zu können. Die Auswertung dieses Versuchs ist in Tabelle 51 dargestellt. Zu erkennen sind ein hoher BaSO<sub>4</sub>-Gehalt im Leichtgut und hohe SiO<sub>2</sub>- und CaF<sub>2</sub>-Gehalte im Schwergut. Zusätzlich dazu wurde ein beachtlicher Flußspatinhalt von 22,7 % im Leichtgut ausgetragen. Das Schwergut erreicht noch nicht die Anforderungen an ein verkaufsfähiges Produkt, vor allem nicht in Bezug auf den SiO<sub>2</sub>-Gehalt.

Auf Basis der bei diesen Vorversuchen gewonnenen Erkenntnisse wurden einige geringfügige Veränderungen am Wendelscheider vorgenommen. So wurden etwa die Trennschneiden derart verstellt, dass ein geringeres Masseausbringen von Leichtgut und Schwergut erreicht wurde, um möglichst reine Produkte zu produzieren. Hierauf wurde mit den Versuchen der mit einem allflux®-Klassierer vorbereiteten Sandproben begonnen.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	16,4	31,1	36,8	<b>26,9</b>	25,8	<b>22,7</b>	8,6
Mittelgut	54,6	24,0	30,7	43,7	66,3	63,0	46,3
Schwergut	29,0	<b>5,4</b>	<b>13,2</b>	80,3	7,9	14,4	45,1
Aufgabe	100,0	19,8	26,6	51,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 51: Wendelscheiderversuch, Schwerspat unklassiert

In Tabelle 52 sind die Ergebnisse des Versuches mit einer Schwerspatsandprobe dargestellt. Im Vergleich zu Tabelle 51 konnten bereits bessere Gehalte hinsichtlich des Schwerspatproduktes erzielt werden. Auch das Ausbringen von Schwerspat im Leichtgut wurde verringert. Der hohe Flußspatgehalt im Leichtgut zeigte trotz der gewählten Trennschneideneinstellungen, dass auf Grund des geringen Dichteunterschieds und der Porosität eine Bergeabtrennung nur schwer möglich sein würde.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	8,5	54,8	<b>29,4</b>	8,1	26,3	9,4	1,3
Mittelgut	78,1	16,5	29,9	48,3	72,9	87,9	74,2
Schwergut	13,4	1,1	5,4	<b>92,9</b>	0,8	2,7	24,5
Aufgabe	100,0	17,7	26,6	50,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 52: Wendelscheiderversuch, allflux®-Klasse BaSO<sub>4</sub> 30

Wie zuvor konnte auch bei der Untersuchung der Flußspatsandprobe ein hoher CaF<sub>2</sub>-Gehalt im Leichtgut festgestellt werden. Der BaSO<sub>4</sub>-Gehalt im Schwergut erreichte trotz der auf „Anreicherung“

ausgerichteten Trennschneideneinstellung nur etwa 80 % (siehe Tabelle 53). Es zeigte sich schnell, dass diese einfache Art der Rohgutvorbereitung eine Abtrennung qualitativ hochwertiger Produkte nicht erlaubte.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	6,4	56,2	<b>32,4</b>	8,4	14,2	4,3	2,9
Mittelgut	87,3	24,8	52,0	14,5	85,4	93,7	69,5
Schwergut	6,3	1,9	15,4	<b>79,8</b>	0,5	2,0	27,6
Aufgabe	100,0	25,4	48,4	18,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 53: Wendelscheiderversuche, allflux®-Klasse CaF<sub>2</sub> 10/36

Die hohen CaF<sub>2</sub>-Gehalte im Leichtgut können durch die Porosität der Flußspatkörner, welche sich augenscheinlich auch in den Feinkornbereich fortsetzt, erklärt werden. Zur Untermauerung wurde die Kornklasse 2/1 mm aus Leichtgut und Mittelgut untersucht und die Ergebnisse in Tabelle 54 dargestellt. Die Porosität der Dichteklasse > 2,7 g/cm<sup>3</sup> des Leichtgutes mit etwa 17,1 % ergab eine durchschnittliche scheinbare Dichte von 2,75 g/cm<sup>3</sup> bei vollständiger Füllung der Poren mit Wasser. Eine Trennung vom Quarz nach der Dichte ist für diesen porösen Flußspatanteil natürlich nicht möglich.

### 6.2.3. Auswertung von Wendelscheiderversuchen nach Korn- und Dichteklassen

Um in weiterer Folge genauere Aussagen zum Trennverhalten treffen zu können, wurden weitere Tests durchgeführt, wobei versucht wurde, die Versuchsparameter so weit als möglich gleich zu belassen, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Die Produkte wurden in Korngrößenklassen durch analysenscharfe Handsiebung bei den Maschenweiten 710, 500, 315 und 100 µm eingeteilt und an diesen Schwimm-Sink-Analysen bei den Dichten 2,71 und 3,31 g/cm<sup>3</sup> durchgeführt. Für diese Untersuchungen wurden wiederum die allflux®-Produkte „BaSO<sub>4</sub> 30“ und „CaF<sub>2</sub> 10/36“ herangezogen.

	Leichtgut		Mittelgut	
	< 2,7 g/cm <sup>3</sup>	> 2,7 g/cm <sup>3</sup>	< 2,7 g/cm <sup>3</sup>	> 2,7 g/cm <sup>3</sup>
Dichte (AccuPyc)	2,67	3,14	2,66	3,15
Dichte (GeoPyc)	2,29	2,60	2,37	2,84
Porosität	14,2	<b>17,1</b>	10,9	9,7

Tabelle 54: Ergebnisse der Porositätsuntersuchungen, allflux®-Klasse CaF<sub>2</sub> 10/36, 2/1 mm

Die Zusammenfassung des Versuches mit der Schwerspatsandprobe ist in Tabelle 55 dargestellt. Die Splitter wurden so eingestellt, dass das Masseausbringen der Produkte „Schwergut“ und „Leichtgut“ im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Versuchen höher ausfiel. Dadurch wurden zwar schlechtere Ergebnisse hinsichtlich der Gehalte erzielt, die Trennung dadurch aber etwas betriebsnäher gestaltet.

Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
		< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	33,9	45,2	<b>46,2</b>	8,6	64,2	48,3	6,7
Mittelgut	45,0	17,6	32,0	50,5	33,2	44,4	51,9
Schwergut	21,1	3,0	11,2	<b>85,8</b>	2,6	7,3	41,4
Aufgabe	100,0	23,8	32,4	43,7	100,0	100,0	100,0

Tabelle 55: Ergebnisse des Wendelscheiderversuches, BaSO<sub>4</sub> 30, SSA

Die Auswertung über die Schwimm-Sink-Analyse der Korngrößenklassen ermöglichte die Berechnung des korngrößenbezogenen Inhaltsausbringens der Dichteklassen, das anzeigt, welcher Anteil einer Dichteklasse einer Korngrößenklasse in den Produkten ausgebracht wurde. Dieses korngrößenbezogene Inhaltsausbringen wurde über der summierten Masseverteilung aufgetragen. Damit wurde auch die Korngrößenverteilung in die Darstellung eingebaut.

Wie in Abbildung 54 dargestellt, werden im Schwergut vor allem die feinen Körnungen und im

Leichtgut die größeren Körnungen ausgetragen. Der Anteil der Dichteklassen  $< 3,31 \text{ g/cm}^3$  wird vornehmlich in der Kornklasse  $< 315 \mu\text{m}$  in das Schwergut ausgetragen. Die Inhalte der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$ , die nicht im Schwergut ausgetragen worden sind, werden im Mittelgut ausgebracht. Das Leichtgut besteht vorwiegend aus den Dichteklassen  $< 2,71 \text{ g/cm}^3$  und  $2,7/3,31 \text{ g/cm}^3$ , wobei sich das korngößenbezogene Dichteklassenausbringen dieser beiden Dichteklassen sehr ähnlich ist.

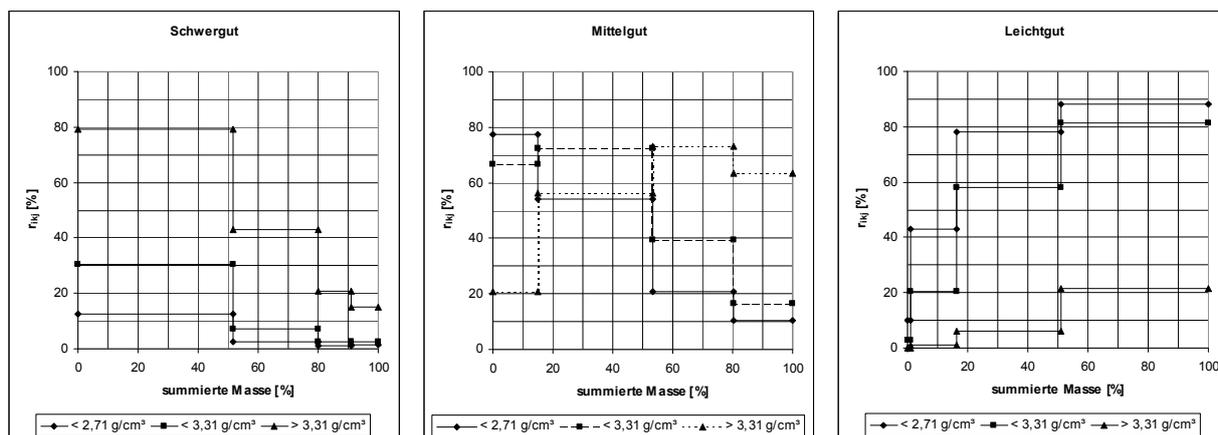


Abbildung 54: Korngrößenbezogenes Dichteklassenausbringen, BaSO<sub>4</sub> 30

Auch beim Flußspatsand konnte ein sehr hoher Gehalt der Dichteklasse  $< 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Leichtgut beobachtet werden. Der Gehalt der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Schwergut erreichte bei weitem nicht den Wert beim Schwertsandsand.

Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
		$< 2,71$	$2,71/3,31$	$> 3,31$	$< 2,71$	$2,71/3,31$	$> 3,31$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	37,0	<b>46,1</b>	<b>52,6</b>	1,3	64,3	37,0	2,4
Mittelgut	45,6	19,5	61,4	19,1	33,6	53,2	41,7
Schwergut	17,4	3,3	29,5	<b>67,2</b>	2,2	9,8	56,0
Aufgabe	100,0	26,5	52,6	20,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 56: Ergebnisse des Wendelscheiderversuches, CaF<sub>2</sub> 10/36, SSA

Die Werte für das korngößenbezogene Dichteklassenausbringen des Flußspatsandes waren mit dem des Schwerspatsandes vergleichbar und sehr ähnlich.

Dieser Sachverhalt legt nahe, dass sich die Körner der jeweiligen Dichte- und Korngrößenklassen unabhängig von deren Gehalt in der Aufgabe auf dem Wendelscheider einordnen und dementsprechend in den jeweiligen Produkten ausgetragen wurden.

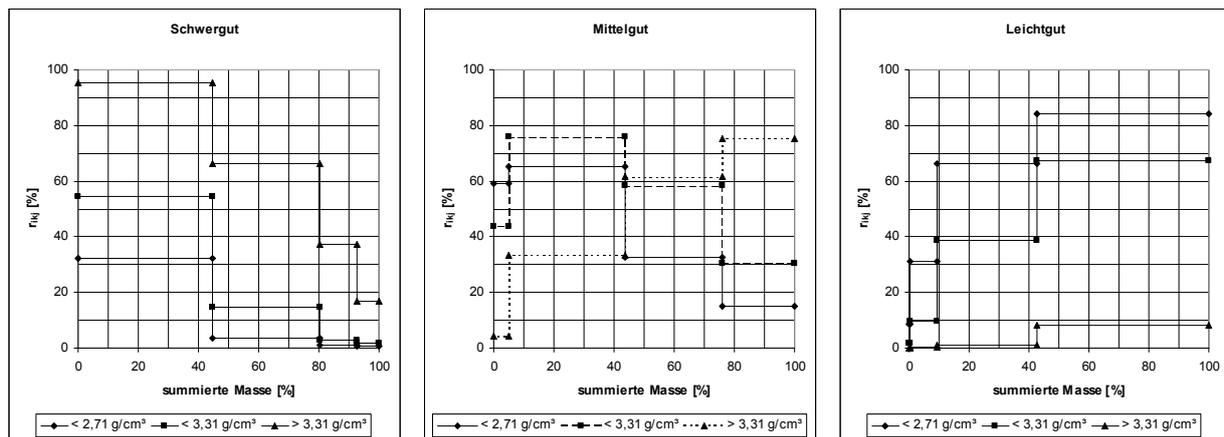


Abbildung 55: Korngrößenbezogenes Dichteklassenausbringen, CaF<sub>2</sub> 10/36, SSA

Zu einer Verbesserung der Gehalte in den jeweiligen Produkten kann es somit nur kommen, wenn die Anteile der entsprechenden Korn- und Dichteklassen in der Aufgabe des Wendelscheiders entsprechend verbessert werden. Eine Rohgutvorbereitung mittels Stromklassierung ist daher unerlässlich, um bei annehmbarem Masseausbringen qualitativ höherwertige Produkte zu erzielen.

Das Sortierverhalten der Dichteklasse > 3,31 g/cm<sup>3</sup> unterschied sich stark von den weniger dichten Klassen, die sich nur unwesentlich unterschieden. Somit sollte die Schwerspatabtrennung sicherlich verbessert werden können, wohingegen die Flußspat/Quarz-Trennung auch nach einer Rohgutvorbereitung durch Stromklassierung schwierig bleiben wird.

#### 6.2.4. Stromklassierung zur Verbesserung der Produkte und des Ausbringens

Mit Hilfe eines Klassierers Typ RICHARDS wurde eine Mischsandprobe aus den allflux®-Produkten in Stromklassen eingeteilt. Als Verbesserung zur Originalausführung wies der verwendete Klassierer, wie in Abbildung 56 dargestellt, eine vierte Klassierstufe auf. Dadurch war es möglich, in einem Arbeitsgang drei echte Stromklassen herzustellen. Die Staugefäße konnten während des Betriebes ohne Schwierigkeiten getauscht werden, wodurch es möglich war, eine größere Probenmasse durchzusetzen, ohne den Versuch unterbrechen zu müssen. Der Überlauf der vierten Stufe konnte

aufgefangen werden, um den Gesamtversuch bilanzieren zu können. Auf Grund der schon entschlämmten Aufgabe war dies bei der untersuchten Probe nicht notwendig.



Abbildung 56: Stromklassierer Typ RICHARDS, Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung

Die Korngrößenverteilungen der Stromklassen ist in Abbildung 57 dargestellt.

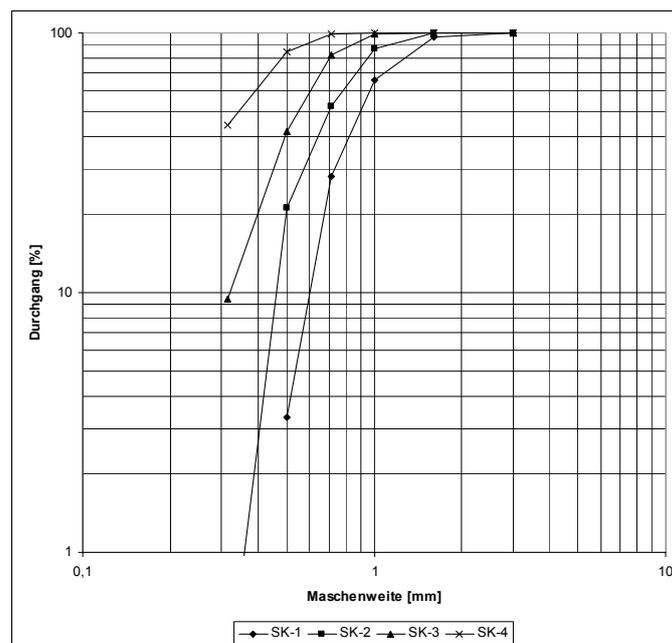


Abbildung 57: Korngrößenverteilungen der Stromklassen, RICHARDS

Die Stromklassen wurden auf ihre Gehalte hin chemisch analysiert, die Ergebnisse sind in Tabelle 57 dargestellt. Die positiven Effekte der Stromklassierung konnten durch die Darstellung in Form einer Bilanztafel deutlich gemacht werden.

So war es möglich, mit dem Produkt „Stromklasse 1“ ein beinahe reines Schwerspatprodukt herzustellen, wenn auch mit geringem Masseausbringen. „Stromklasse 2“ stellte beinahe eine binäre Mischung aus Flußspat und Schwerspat dar, mit einem nur geringen Gehalt an  $\text{SiO}_2$ . Eine Stromklasse mit ähnlichen Gehalten wie die Aufgabe stellte die Stromklasse 3 dar, die auch für die weiteren Untersuchungen verwendet wurde. In Stromklasse 4 zeigte sich eine deutliche Verringerung des Schwerspatgehaltes im Vergleich zur Aufgabe.

Stromklasse	Masse	Gehalt			Verteilung		
		$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	5,8	0,6	3,8	<b>95,2</b>	0,2	0,6	14,5
2	18,9	3,2	29,8	52,8	4,0	15,3	26,3
3	50,7	13,6	42,5	36,6	45,6	58,5	49,0
4	24,6	30,7	38,3	15,9	<b>50,1</b>	25,6	10,3
Aufgabe	100,0	15,1	36,8	37,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 57: Ergebnisse der chemischen Analyse der Stromklassierung, RICHARDS, Mischsand

Die Stromklasse 3 wurde bei gleichen Betriebsbedingungen sortiert wie es bei den Versuchen aus Tabelle 55 und Tabelle 56 der Fall war. Die Ergebnisse sind in Tabelle 58 dargestellt. Im Vergleich mit den zuvor genannten Versuchen konnten die Werte des Inhaltsausbringens der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Schwergut und der Dichteklasse  $< 2,71 \text{ g/cm}^3$  im Leichtgut verbessert werden. Allerdings war der Gehalt der Dichteklasse  $2,71/3,31 \text{ g/cm}^3$  im Leichtgut mit 54 % noch immer sehr hoch, sodass eine Bergeabscheidung nicht möglich war.

Die anderen Stromklassen wiesen eine zu geringe Masse aus, um auch an diesen Wendelscheiderversuche durchführen zu können. Daher war es nicht möglich, Aussagen über die absolute Verbesserung der Wendelscheiderergebnisse durch die Stromklassierung zu machen.

Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
		< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	37,9	45,2	<b>54,0</b>	0,8	<b>74,0</b>	39,2	1,2
Mittelgut	39,4	14,5	71,7	13,8	24,7	54,1	22,1
Schwergut	22,7	1,2	15,6	83,2	1,2	6,8	<b>76,8</b>
Aufgabe	100,0	23,2	52,3	24,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 58: Ergebnisse des Wendelscheiderversuches, Stromklasse 3, RICHARDS

Die Werte des korngößenbezogenen Dichteklassenausbringens sind mit den vorangegangenen Versuchen vergleichbar. Durch die Stromklassierung als Rohgutvorbereitung verschoben sich die Gehalte der Korngrößenklassen. Hinsichtlich der Schwerspatabtrennung war eine Verbesserung deutlich zu erkennen. Eine Verbesserung des Trennverhaltens von Flußspat und Quarz konnte nur in geringem Ausmaß beobachtet werden.

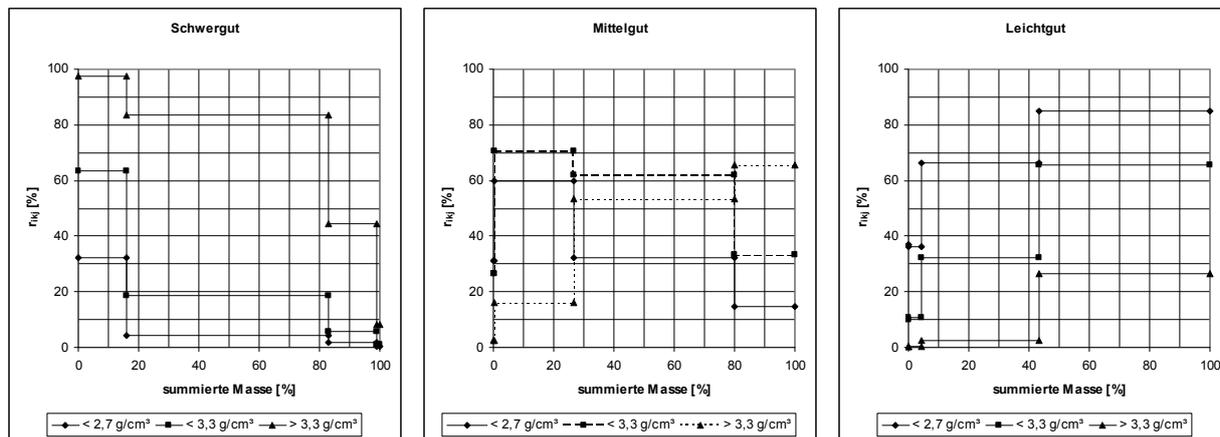


Abbildung 58: Korngrößenbezogenes Dichteklassenausbringen, Stromklasse 3 , RICHARDS

Die Verbesserung des Trennergebnisses durch eine Rohgutvorbereitung mittels Stromklassierung war offensichtlich. In einem nächsten Schritt wurden die Untersuchungen an unvermischten Roherzen fortgesetzt.

## 6.2.5. Stromklassierversuche an unvermischten Roherzen

Da für die Wendelscheiderversuche im Durchlauf große Probenmengen notwendig waren, musste ein Klassiersystem mit erhöhter Durchsatzleistung verwendet werden. Das Klassierverfahren wurde auch aus Optimierungsgründen von einer beinahe unbehinderten Fallbewegung auf eine Klassierung unter stark behinderten Fallbedingungen umgestellt. Dadurch sollten sich weitere Verbesserungen ergeben, da sich eine bestimmte Trübedichte im Klassierraum ausbildete, die sich positiv auf das Klassierergebnis auswirken sollte.

### 6.2.5.1. Beschreibung des Versuchsaufbaues

Abbildung 59 zeigt die schematische Darstellung des Versuchsaufbaus. In den Klassierraum wurde eine Aufgabe- und Austrageinheit eingebaut. Diese diente dazu, das Trenngut in einer bestimmten Höhe in den Klassierraum einzubringen und an tieferer Stelle das Grobgut aus dem Klassierraum auszutragen.

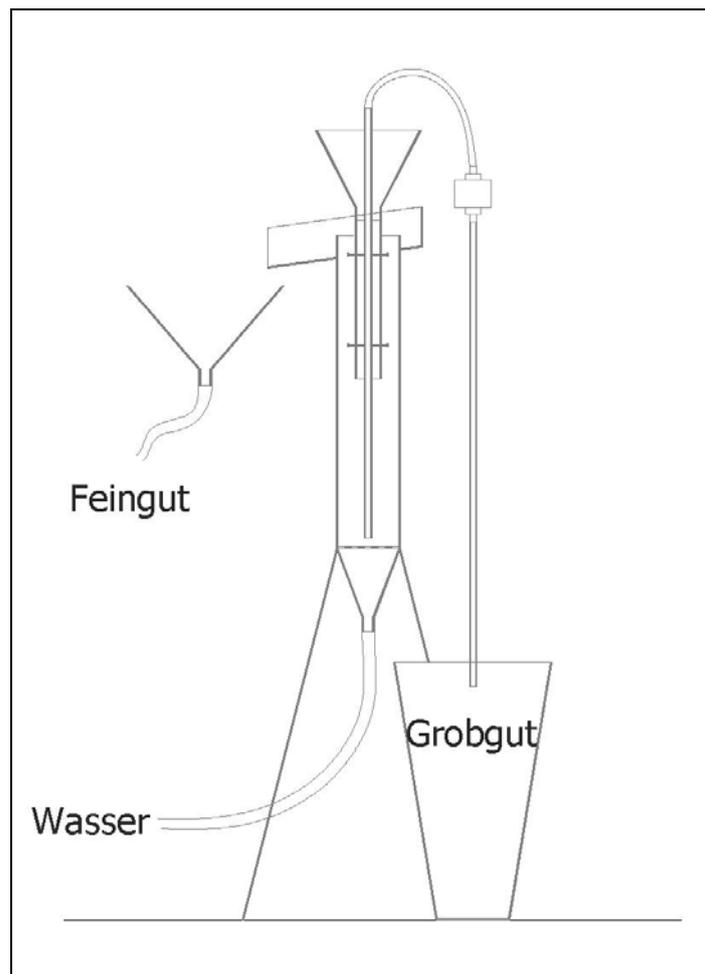


Abbildung 59: Schematische Darstellung des kontinuierlichen Klassiersystems

Der Austrag des Grobgutes erfolgte diskontinuierlich über den hydrostatischen Unterschied zwischen Klassierraum und Grobguteimer. Ein Kugelhahn konnte mittels Druckluftmotor zeitlich gesteuert geöffnet und geschlossen werden. Mit einem Tauchrohr konnte die relative Trübedichte bestimmt werden (siehe Abbildung 60). Mit Hilfe dieses Wertes wurde händisch die Aufgaberate nachgestellt, um die Trübedichte im Klassierraum und damit die Versuchsbedingungen möglichst konstant zu halten. Die trockene Materialaufgabe wurde im Einlauftrichter mit einer gewissen Menge Einspülwasser vermischt. Diese Wassermenge und die von unten eingebrachte Klassierwassermenge wurden mittels Schwebekörperdurchflussmesser eingestellt und während des Versuches laufend überprüft und händisch nachgeregelt.



Abbildung 60: Aufgabetrichter mit Dichtemesssonde

Der Feingutaustrag wurde auf Grund der großen anfallenden Menge in Fässern aufgefangen (Abbildung 61), wo dieser sedimentierte. Die Produktströme „Feingut“ und „Grogut“ wurden in Abständen von etwa zehn Minuten beprobt, wobei die Trübemasse, der Feststoffgehalt, die Korngrößenverteilung und die Dichte des Feststoffes überprüft wurden.

Die Versuche wurden nach folgendem Schema durchgeführt. In der ersten Klassierstufe wurde die Zeitschaltung des Kugelhahnes so eingestellt, dass etwa ein Drittel der Aufgabe als Grogut ausgetragen wurde. Im zweiten Klassierschritt wurde das Feingut der 1. Stufe als Aufgabe verwendet und auf ein ausgeglichenes Masseausbringen geachtet.

Für das Einspülwasser wurde je Stufe ein spezifischer Wasserverbrauch von etwa 70 l/h verwendet. Der spezifische Wasserverbrauch für das Klassierwasser betrug in der ersten Stufe etwa 420 l/h und in der zweiten Stufe etwa 200 l/h. Die Feststoffaufgaberate betrug etwa 60 kg/h.



Abbildung 61: Eindickeranlage zur Feingutrückgewinnung

### 6.2.5.2. Ergebnisse der Klassiersversuche

Um für die weiteren Versuche genügend Probenmaterial zu erhalten wurden die Ausgangsproben durch die Klassiersversuche in etwa gedrittelt. Die Korngrößenverteilungen der Klassierprodukte von Schwerspat und Flußspaterz Grün sind in Abbildung 62 dargestellt. Die Korngrößenverteilung des Flußspaterzes Diagonaltrum war dem des Erztyps Grün sehr ähnlich und ist aus diesem Grund nicht dargestellt.

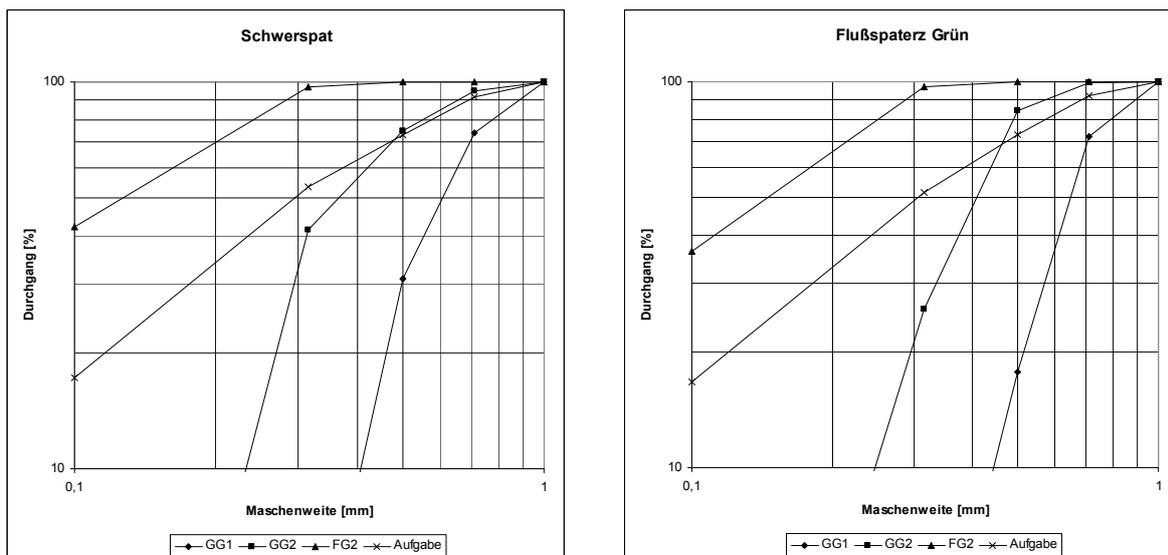


Abbildung 62: Vergleich der Korngrößenverteilungen der Klassierprodukte, Schwerspaterz, Flußspaterz Grün

Da das Grobgut 1 des Schwerspaterzes die Anforderungen an ein verkaufsfähiges Konzentrat beinahe erfüllt, konnte davon ausgegangen werden, dass bereits mittels Stromklassierung ein qualitätskonformes Produkt herstellbar wäre. Die Trübedichte im Klassierraum müsste nur ausreichend hoch gewählt werden. Bei der Sortierung der Flußspaterze musste die Trübedichte geringer gewählt werden, um eine ausreichend große Masse an Grobgut 1 herstellen zu können. Es ist davon auszugehen, dass auch mit diesem Erztyp ein Schwerspatprodukt herstellbar ist, wenn auch mit weit geringerem Masseausbringen.

Probe	Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
			< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Schwerspaterz	Grobgut 1	27,1	2,3	14,8	82,9	2,2	16,0	48,6
	Grobgut 2	32,5	30,3	29,6	40,1	34,2	38,5	28,2
	Feingut 2	40,4	45,4	28,1	26,6	63,6	45,4	23,2
	Aufgabe	100,0	28,8	25,0	46,2	100,0	100,0	100,0
Flußspaterz Grün	Grobgut 1	27,9	13,8	70,9	15,4	15,6	29,3	54,2
	Grobgut 2	31,2	26,0	67,4	6,6	33,0	31,2	26,1
	Feingut 2	40,9	30,9	65,3	3,8	51,4	39,6	19,7
	Aufgabe	100,0	24,6	67,5	7,9	100,0	100,0	100,0
Flußspaterz DT	Grobgut 1	23,5	27,7	39,3	33,0	12,7	27,2	52,0
	Grobgut 2	33,3	56,0	30,9	13,0	36,5	30,4	29,1
	Feingut 2	43,2	60,1	33,3	6,6	50,8	42,4	18,9
	Aufgabe	100,0	51,1	33,9	14,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 59: Zusammenfassung der Stromklassiersuche an den reinen Erzproben

Durch die Stromklassierung im Bereich der behinderten Fallbewegung kam es bereits zu Sortiereffekten, auf Grund derer sich die Inhalte der einzelnen Dichteklassen bei allen drei Erztypen deutlich verschoben haben. So konnte zum Beispiel der Gehalt der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Grobgut 1 etwa verdoppelt und im Feingut 2 halbiert werden (siehe Tabelle 59). Ein ähnliches, nur umgekehrtes Verhalten zeigte die Dichteklasse  $< 2,71 \text{ g/cm}^3$ .

### 6.2.6. Ergebnisse der Wendelscheiderversuche

Bei den Wendelscheiderversuchen mit den Stromklassen der unvermischten Erze wurden die Versuchsparameter der zuvor durchgeführten Wendelscheiderversuche beibehalten. Auf Grund der stark unterschiedlichen Zusammensetzung und der daraus resultierenden anderen Auffächerung der Probe am Wendelscheider, wurden Anpassungen an der Stellung der Produkttrennschneiden durchgeführt.

Es wurden Wendelscheiderversuche an den Stromklassen „Grogut 1“ und „Grogut 2“ durchgeführt. Die Stromklassen „Feingut 2“ wiesen bereits eine sehr feine Korngrößenverteilung mit etwa 40 %  $< 100 \mu\text{m}$ . Eine Auswertung von Wendelscheiderversuchen an diesen Klassen mittels Schwimm-Sink-Analyse würde daher nur 60% der Gesamtprobe abdecken und so keine Aussagen über die gesamte Probe zulassen. Aus diesem Grund wurden mit diesen Proben Sachsenversuche durchgeführt und die daraus entstandenen Produkte chemisch analysiert.

#### 6.2.6.1. Ergebnisse der Sortierversuche an den Stromklassen des Schwerspaterzes

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 60 aufgelistet. Durch die Stromklassierung konnten beim Schwerspaterz bereits ein Produkt (Grogut 1) mit einem Gehalt von 83 % der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  und einem Inhaltsausbringen von 43,7 % hergestellt werden. Durch die Sortierung am Wendelscheider konnte aus dieser Stromklasse ein hochwertiges Schwerspatprodukt mit einem Gehalt von 94,6 % der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  hergestellt werden. Aus der Stromklasse Grogut 2 konnte ein ähnliches Schwerspatprodukt (93,4 % der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$ ) hergestellt werden. Es war sogar möglich, aus Feingut 2 ein Schwerspatprodukt herzustellen, allerdings mit einem hohen Gehalt der Dichteklassen  $< 3,31 \text{ g/cm}^3$  von 16,4 %.

Insgesamt konnte 61,5 % der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  in Produkte überführt werden, zählt man das Grogut 1 bereits als Produkt, erhöht sich dieser Wert auf 87,7 %.

Eine Bergeabscheidung im Leichtgut war auf Grund der hohen Gehalte der Dichteklasse  $2,71/3,31 \text{ g/cm}^3$  in den Leichtgutprodukten nicht möglich.

Durch die Stromklassierung konnte vor allem das Ausbringen der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  in den Grob- und Schwergutprodukten verbessert werden. Eine Bergevorabscheidung in der Feinkorndichtesortierung konnte beim Schwerspaterz nicht erreicht werden.

Schwerspaterz			Gehalt der Dichteklassen			Verteilung der Dichteklassen		
Strom- klasse	Produkt	Masse	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grobgut 1	Schwergut	9,6	0,6	4,8	<b>94,6</b>	0,3	2,3	<b>17,5</b>
	Mittelgut	13,1	1,3	15,6	83,0	0,8	10,0	21,1
	Leichtgut	4,4	8,0	31,9	60,1	1,6	6,9	5,2
	Summe	27,1	2,2	14,5	<b>83,4</b>	2,6	19,2	<b>43,7</b>
Grobgut 2	Schwergut	9,5	2,3	4,3	<b>93,4</b>	1,0	2,0	<b>17,2</b>
	Mittelgut	16,1	27,5	44,4	28,0	20,0	35,0	8,7
	Leichtgut	6,9	67,5	27,5	5,0	21,1	9,4	0,7
	Summe	32,5	28,7	29,1	42,2	42,1	46,4	26,6
Feingut 2	Schwergut	18,6	<b>3,7</b>	<b>12,7</b>	74,4	3,1	11,5	<b>26,8</b>
	Mittelgut	15,3	52,2	26,1	4,6	36,1	19,6	1,4
	Leichtgut	6,5	54,9	10,3	12,1	16,1	3,3	1,5
	Summe	40,4	30,3	17,4	37,9	55,2	34,4	29,7
Summe		100,0	22,2	20,4	51,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 60: Ergebnisse der Wendelscheiderversuche, Stromklassen, Schwerspaterz

### 6.2.6.2. Ergebnisse der Sortierversuche an den Stromklassen des Flußspaterzes Grün

Beim Flußspaterz Grün konnten durch die Stromklassierung vor allem die Verluste der flußspatreichen Dichteklasse 2,71/3,31 g/cm<sup>3</sup> im Schwergut der Wendelscheider verringert werden. Die Schwergutprodukte wiesen allerdings Gehalte der Dichteklasse > 3,31 g/cm<sup>3</sup> auf, die die Produktqualitäten nicht erreichten, allerdings konnten 60,7 % des Inhaltes dieser Dichteklasse ausgebracht werden.

Eine Bergevorabscheidung war bei diesem Erztyp in keiner Stromklasse möglich, die Gehalte der Dichteklasse 2,71/3,31 g/cm<sup>3</sup> in den Leichtgutprodukten lagen zwischen 43,7 und 57,5 % (siehe Tabelle 61).

Schwerspaterz			Gehalt der Dichteklassen			Verteilung der Dichteklassen		
Strom- klasse	Produkt	Masse	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grobgut 1	Schwergut	3,1	1,2	32,9	65,9	0,2	1,6	<b>21,8</b>
	Mittelgut	21,0	10,8	77,1	12,1	9,8	25,8	26,8
	Leichtgut	3,2	42,1	<b>57,5</b>	0,4	5,8	3,0	0,1
	Summe	27,3	13,4	69,7	16,9	15,8	30,4	48,7
Grobgut 2	Schwergut	2,5	1,5	39,2	59,3	0,2	1,6	<b>15,8</b>
	Mittelgut	21,3	24,1	73,6	2,3	22,1	25,0	5,1
	Leichtgut	3,4	56,2	<b>43,7</b>	0,2	8,2	2,4	0,1
	Summe	27,1	26,0	66,7	7,3	30,5	29,0	21,0
Feingut 2	Schwergut	7,0	6,0	56,5	31,2	1,8	6,3	<b>23,1</b>
	Mittelgut	27,7	28,8	59,8	1,5	34,4	26,5	4,4
	Leichtgut	10,9	37,4	<b>44,6</b>	2,5	17,6	7,7	2,9
	Summe	45,6	27,3	55,7	6,3	53,8	40,6	30,3
Summe		100,0	23,2	62,5	9,5	100,0	100,0	100,0

Tabelle 61: Ergebnisse der Wendelscheiderversuche, Stromklassen, Flußspaterz Grün

Durch die Rohgutvorbereitung durch Stromklassierung konnte vor allem die schwerspaterreiche Fraktion in die Schwergutprodukte überführt werden, ohne allzu große Verluste der flußspaterreichen Fraktion in Kauf nehmen zu müssen.

### 6.2.6.3. Ergebnisse der Sortierversuche an den Stromklassen des Flußspaterzes Diagonaltrum

Beim Flußspaterz Diagonaltrum konnten, wie Tabelle 62 zeigt, durch die Stromklassierung ebenfalls die Verluste der flußspatreichen Dichteklasse 2,71/3,31 g/cm<sup>3</sup> im Schwergut der Wendelscheider verringert werden. Die Schwergutprodukte wiesen im Vergleich zum Flußspaterz Grün höhere Gehalte der Dichteklasse > 3,31 g/cm<sup>3</sup> auf. Es konnte 55,6 % des Inhaltes dieser Dichteklasse in den Schwergutprodukten ausgebracht werden.

Schwerspaterz			Gehalt der Dichteklassen			Verteilung der Dichteklassen		
Strom- klasse	Produkt	Masse	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grobgut 1	Schwergut	3,9	1,9	13,0	85,1	0,2	1,6	<b>19,2</b>
	Mittelgut	12,9	16,8	46,5	36,7	4,9	19,1	27,6
	Leichtgut	6,7	58,7	37,3	4,1	8,8	7,9	1,6
	Summe	23,5	26,2	38,4	35,4	13,9	28,6	48,4
Grobgut 2	Schwergut	3,6	8,2	12,9	78,9	0,7	1,4	<b>16,3</b>
	Mittelgut	20,4	51,6	42,5	5,9	23,7	27,5	7,1
	Leichtgut	9,4	88,4	<b>11,5</b>	0,1	18,6	3,4	0,1
	Summe	33,3	57,3	30,6	12,1	43,0	32,4	23,4
Feingut 2	Schwergut	8,6	8,0	32,8	40,1	1,5	9,0	<b>20,1</b>
	Mittelgut	26,7	52,9	29,6	3,1	31,8	25,1	4,8
	Leichtgut	7,8	56,1	19,5	7,5	9,8	4,8	3,4
	Summe	43,2	44,5	28,4	11,3	43,2	38,9	28,2
Summe		100,0	44,5	31,5	17,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 62: Ergebnisse der Wendelscheiderversuche, Stromklassen, Flußspaterz Diagonaltrum

Eine Bergevorabscheidung war bei der Stromklasse Grobgut 2 möglich, deren Gehalt der Dichteklasse 2,71/3,31 g/cm<sup>3</sup> bei nur 11,5 % lag.

Auf Grund des hohen Bergegehaltes dieses Erztyps konnte im Gegensatz zum Flußspaterz Grün als Mittelgut kein Flußspatprodukt mit hohen Gehalten der Dichteklasse 2,71/3,31 g/cm<sup>3</sup> erzielt werden. Die Verbesserung hinsichtlich der Anforderungen der Flotationsanlage ergab sich aus den verringerten Schwerspatgehalten.

### **6.2.7. Beurteilung der Verbesserung des Trennerfolges durch die Stromklassierung**

Die Verbesserung des Trennerfolges durch die Stromklassierung ergab sich vornehmlich durch bessere Schwergutprodukte. Durch die Stromklassierung konnte das Ausbringen des Schwerspates erhöht und gleichzeitig die Flußspatverluste in diesen Produkten verringert werden.

Das Herstellen von Produkten, die die Qualitätsanforderungen der Produkte und Zwischenprodukte erreichten, war in dieser einfachen Schaltung nur selten möglich. Die Ergebnisse der nach beiden Seiten hin stromklassierten Produkte zeigten deutlich die Verbesserung der Wendelscheideraufgabe durch die Stromklassierung. Eine engere Stromklassenbildung könnte die Voraussetzungen für die Feinkorndichtesortierung deutlich verbessern.

## **6.3. Implementierung einer Wendelscheideranlage**

Für die ersten Versuche unter betriebsnahen Bedingungen wurde im Bereich der Schwertrübeanlage eine Versuchswendelscheideranlage eingebaut. Diese bestand aus zwei Wendelachsen mit insgesamt vier Wendelscheidern. Aus dem Aufgabekasten der Doppelzyklone konnte ein Teilstrom des Waschsiebunterlaufes entnommen werden, der über einen weiteren Zyklon (siehe Abbildung 63) über einen Aufgabekasten die Wendelscheider beschickte.

Für den Betrieb der Wendelscheideranlage musste einer der Doppelzyklone (1 oder 2) stillgelegt werden, sodass die Hälfte der anfallenden Menge des Waschsiebunterlaufes auf die Wendelscheideranlage gelangte. Die Wendelscheider verfügten über Austräge für Leicht-, Mittel- und Schwergut am Ende der Wendeln und zusätzlich über einen Leichtgutaustrag auf halber Höhe. Um die Wendeln gleichmäßig mit Aufgabematerial zu versorgen, war der nachträgliche Einbau eines Stromteilers im Verteilerkasten notwendig. Die Produkte der Wendel konnten entweder auf ein Kratzband oder auf ein Entwässerungssieb ausgebracht werden. Durch den Einsatz von flexiblen Schläuchen konnten die einzelnen Produktströme auf diese Aggregate verteilt werden (siehe Abbildung 64).



Abbildung 63: Wendelscheideranlage, Aufgabeseite



Abbildung 64: Wendelscheideranlage, Austragsseite

### 6.3.1. Betriebsergebnisse

Die Inbetriebnahme der Versuchsanlage erfolgte ohne Probleme bei laufendem Betrieb der Schwertrübeanlage. Während der Versuche ergaben sich einige Verbesserungsmöglichkeiten, die zwischen den einzelnen Versuchen umgesetzt wurden. Hier sei als Beispiel die Vergleichmäßigung der Aufgabetrübe auf die vier Wendeln erwähnt. Die Proben wurden nicht zeitkontrolliert gezogen, sodass die Berechnung des Masseausbringens über eine Ausgleichsrechnung erfolgte.

Beim Versuch mit dem Flußspaterz Grün zeigte sich, dass – bedingt durch das hohe Masseausbringen – das Leichtgut einen sehr hohen  $\text{CaF}_2$ -Gehalt aufweist. Allerdings konnte im Schwergut bereits eine gute Anreicherung des Schwerspates bei gleichzeitiger Abreicherung des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes trotz niedrigen Schwerspatgehalts in der Aufgabe erzielt werden.

Beim Versuch mit Silberspat als Aufgabe wurde versucht, ein möglichst reines Bergeprodukt zu erzielen. Hinsichtlich des Schwerspatinhaltes wurde ein gutes Ergebnis erzielt. Der  $\text{CaF}_2$ -Gehalt im Leichtgut war mit 18,2 % noch immer sehr hoch.

Flußspaterz Grün		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	58,2	31,0	<b>59,0</b>	2,9	71,0	56,9	20,5
Mittelgut	33,5	19,5	67,9	7,3	25,7	37,6	29,3
Schwergut	8,3	9,9	39,7	50,3	<b>3,2</b>	5,5	<b>50,2</b>
Aufgabe	100,0	25,4	60,4	8,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 63: Betriebsversuch auf Testspirale, Flußspaterz Grün

Silberspat		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	7,7	73,8	<b>18,2</b>	7,6	24,6	11,4	0,9
Mittelgut	60,3	21,1	13,4	65,2	54,8	66,0	61,2
Schwergut	32,0	14,9	8,7	76,2	20,6	22,6	37,9
Aufgabe	100,0	23,2	12,3	64,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 64: Betriebsversuch auf Testspirale, Silberspat

Bei den Versuchen mit dem Erz aus dem Diagonaltrum ließen sich hingegen CaF<sub>2</sub>-Gehalte im Leichtgut von 10,9 % erreichen. Die Flußspatverluste in diesem Produkt hielten sich mit 4,1 und 6,9 % in Grenzen. Auch kam es im Schwergut zu einem guten Ausbringen des Schwespates, jedoch waren die Flußspatinhalte im Schwergut sehr hoch.

Flußspaterz DT		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	14,0	86,5	<b>10,9</b>	2,6	28,6	<b>4,1</b>	2,2
Mittelgut	66,5	41,0	44,5	8,1	64,5	79,3	33,3
Schwergut	19,5	15,0	<b>31,8</b>	53,2	6,9	16,6	64,4
Aufgabe	100,0	42,3	37,3	16,1	100,0	100,0	100,0

Tabelle 65: Betriebsversuch auf Testspirale, Flußspaterz DT

Flußspaterz DT		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	18,9	88,1	<b>10,9</b>	1,0	51,7	<b>6,9</b>	0,5
Mittelgut	14,1	37,8	46,4	8,0	16,5	21,9	3,0
Schwergut	67,0	15,3	<b>31,7</b>	53,0	31,8	71,2	96,4
Aufgabe	100,0	32,2	29,8	36,8	100,0	100,0	100,0

Tabelle 66: Betriebsversuch auf Testspirale, Flußspaterz DT

Beim letzten Versuch wurde Roherz mit Schwerspatsand aus einer Zwischenlagerung im Verhältnis 1:2 vermischt. Hier konnte bei einem passablen Masseausbringen ein BaSO<sub>4</sub>-Gehalt von 81,0 % erzielt werden. Hinsichtlich des Flußspatausbringens im Leichtgut zeigte sich wiederum der bekannte Sachverhalt.

Schwerspaterz+Sand		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	31,0	48,2	<b>24,4</b>	12,6	68,8	45,6	6,9
Mittelgut	5,0	41,1	32,0	15,2	9,5	9,7	1,3
Schwergut	64,0	7,4	11,6	<b>81,0</b>	21,7	44,7	91,7
Aufgabe	100,0	21,7	16,6	56,5	100,0	100,0	100,0

Tabelle 67: Betriebsversuch auf Testspirale, Schwerspaterz und Schwerspatsand

Mit diesen Versuchen konnten die Laborergebnisse an unklassierten Proben unter betriebsnahen Bedingungen wiederholt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass es möglich sein sollte, den Schwerspat aus den Sanden abzutrennen, allerdings muss das Ausbringen von Flußspat in diesen Produkten verringert werden. Beim Flußspaterz aus dem Diagonaltrum ließ sich ein Bergesprodukt mit geringen Flußspatverlusten herstellen. Beim Flußspaterz Grün müsste vor allem bei der Schwerspatabtrennung auf ein möglichst geringes Flußspatausbringen im Schwerspatprodukt geachtet werden, um die Flußspatverluste im Schwergut gering zu halten.

### 6.3.1.1. Detaillierte Untersuchung eines Versuches mit dem Flußspaterz yp Diagonaltrum

Um die Ergebnisse der Wendelscheiderversuche im Labor mit denen der Wendelscheideranlage in Wolfach zu vergleichen, wurde ein weiterer Versuch durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Beprobung wurde Flußspaterz Diagonaltrum in der Anlage verarbeitet. Es wurde auf ein möglichst ausgeglichenes Masseausbringen der Produkte geachtet. Die Ergebnisse in Tabelle 68 zeigen hohe Inhaltsausbringenswerte der Dichteklasse  $< 2,7 \text{ g/cm}^3$  im Leichtgut und  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Schwergut. Trotz des hohen Masseausbringens an Leichtgut war der Gehalt der Dichteklasse  $2,71/3,31 \text{ g/cm}^3$  mit 15,1 % eher niedrig. Allerdings gingen dadurch 16,6 % des Inhaltes dieser Dichteklasse im Leichtgut (Berge) verloren. Ebenso gingen 25,5 % des Inhaltes dieser Dichteklasse im Schwergut verloren.

Die Auswertung des korngößenbezogenen Dichteklassenausbringens zeigte, dass große Teile der Dichteklasse  $> 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Schwergut ausgetragen wurde. Da diese Dichteklasse den Schwerspat repräsentiert, war dies als Erfolg zu werten. Allerdings wurden auch ein großer Anteil der Dichteklassen  $< 3,31 \text{ g/cm}^3$  im Schwergut ausgetragen, wodurch gezeigt wurde, dass die Trennschneideneinstellung ein zu großen Massenausbringen im Schwergut zuließ.

Produkt	Masse	Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklassen		
		< 2,71	2,71/3,31	> 3,31	< 2,71	2,71/3,31	> 3,31
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leichtgut	29,0	84,8	<b>15,1</b>	0,2	62,4	<b>16,6</b>	0,5
Mittelgut	36,4	42,7	50,6	6,8	32,6	57,9	18,9
Schwergut	34,6	11,2	38,6	50,1	4,9	<b>25,5</b>	80,6
Aufgabe	100,0	51,5	34,4	14,1	100,0	100,0	100,0

Tabelle 68: Zusammenfassung der Ergebnisse, Betriebsversuch Wolfach, Diagonaltrum

Im Vergleich zu den zuvor untersuchten Flußspatproben (Abschnitt 6.2.3) konnte bei diesem Versuch im Leichtgut ein deutlicher Unterschied im korngößenbezogenen Inhaltsausbringen festgestellt werden, wie Abbildung 65 zeigt. Dadurch war es beim Flußspaterz Diagonaltrum möglich, ein Leichtgut ohne große Flußspatverluste abzutrennen.

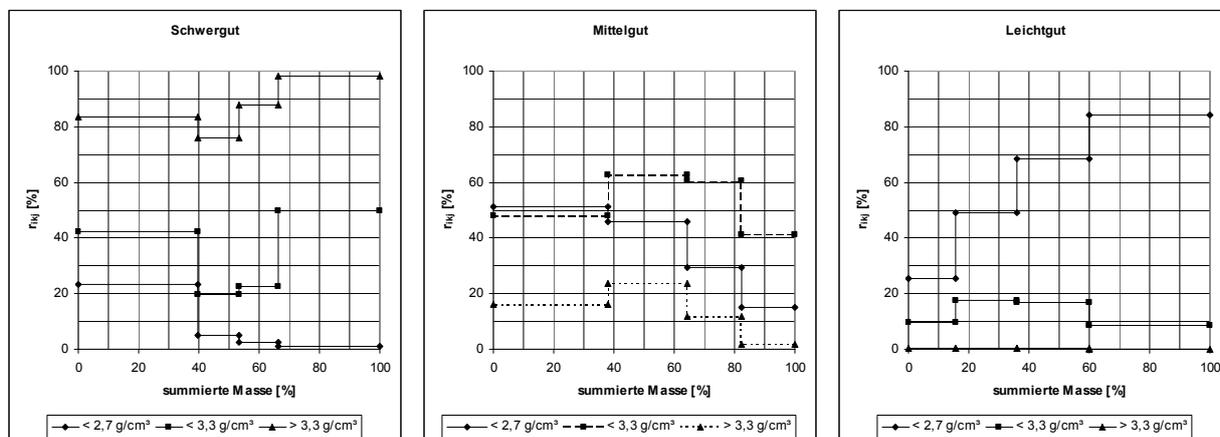


Abbildung 65: Korngößenbezogenes Inhaltsausbringen, Betriebsversuch Wolfach, Diagonaltrum

## 6.4. Zusammenfassung der Ergebnisse der Feinkorndichtesortierung

Die Versuche zur Feinkorndichtesortierung zeigten, dass eine einstufige Sortierung auf einem Wendelscheider zu keinem befriedigenden Ergebnis führt. Mit einer Rohgutvorbereitung durch Stromklassierung konnten die Ergebnisse zwar verbessert werden, allerdings nicht in ausreichend großem Maße.

Bei unklassiertem Material konnte bereits ein Großteil des Schwerspatinhaltes in ein Produkt überführt werden. Allerdings wurden noch große Mengen an Flußspat im Schwergut ausgetragen. Die Ausbringenswerte der Dichteklasse  $< 2,71 \text{ g/cm}^3$  waren bereits auf niedrigem Niveau.

Das Mittelgut konnte nur beim Test mit dem Flußspaterz Grün tatsächlich als Flußspatprodukt angesehen werden. Bei den anderen Erztypen konnten die Flußspatgehalte mit der einstufigen Versuchsdurchführung nicht auf ein Maß erhöht werden, um es ohne Bedenken in der Flußspatflotation einsetzen zu können.

Die Leichtgutprodukte waren in den meisten Fällen meist nicht als Bergeprodukte einzuordnen. Im Falle des Flußspaterzes Diagonaltrum konnte tatsächlich ein Bergeprodukt ohne große Flußspatverluste hergestellt werden. Beim Flußspaterz Grün konnten die Flußspatinhalte im Leichtgut gering gehalten werden, allerdings lagen die Flußspatgehalte in diesen Produkten bei etwa 50 %. Dies konnte durch die Porosität des Flußspates erklärt werden.

Die Stromklassierung konnte beim Versuch mit dem Schwerspaterz ein Grobgut mit hohem Schwerspatgehalt hergestellt werden. Bei den Flußspaterzen wurde der Trennschnitt bei geringerer Trübedichte durchgeführt, um genügend Probenmaterial für die Wendelscheiderversuche bereitstellen zu können. Technisch sollte es aber möglich sein, mit dem ersten Trennschnitt ein Schwerspatprodukt herzustellen.

Bei den Sortierversuchen an der Stromklasse „Grogut 2“ konnten die besten Ergebnisse hinsichtlich des Inhaltsausbringens der Dichteklassen in den entsprechenden Produkten erzielt werden. Durch die Vorklassierung konnten die Inhaltsausbringenswerte und vor allem die Schwerspatabtrennung deutlich verbessert werden.

Durch den von Natur aus geringen Dichteunterschied zwischen Flußspat und Quarz und die Porosität des Flußspates sind bereits schlechte Grundvoraussetzungen für die Feinkorndichtesortierung gegeben. Ohne ausreichende Stromklassierung und Nachreinigungsstufen ist eine effektive Trennung nicht realisierbar. Eine Schwerspatabtrennung sollte sich aber in einer relativ einfachen Anlage verwirklichen lassen.

## 7. Prüfung des Einsatzes alternativer Sortierverfahren

Nachdem die Porosität eines Teiles der Flußspatkörner als Grund für die Flußspatverluste in den Bergen der Aufbereitungsanlage identifiziert worden war und damit feststand, dass diese mit der Dichtesortierung auch unter geänderten Betriebsbedingungen nicht oder nur unzureichend ausbringbar sind, wurden alternative Sortierverfahren auf ihre Tauglichkeit und mögliche Einsatzfähigkeit getestet.

Eine mögliche Aufbereitungsvariante stellt die **Elektroscheidung** dar. Die Elektroscheidung nutzt zum einen Unterschiede in der Oberflächenleitfähigkeit, um zwischen leitenden und nichtleitenden Mineralen eine Trennung herbeizuführen, zum anderen Unterschiede im Aufladeverhalten von Nichtleitern, um diese im elektrostatischen Feld zu trennen.

Eine weitere, aus aufbereitungstechnischer Sicht zunächst unerwartete Möglichkeit der Flußspatrückgewinnung aus den Bergen der Schwertrübescheidung stellt der Einsatz der **Magnetscheidung** dar. Diese Idee beruht auf der Überlegung, dass Schwerstoffpartikel in den Poren poröser Körner zurückbleiben oder an der rauen Kornoberfläche anhaften könnten. Wie erste Tastversuche zeigten, reichten geringste Mengen an ferromagnetischen Bestandteilen in den Flußspatkörnern aus, um diese mittels Starkfeldmagnetscheidung in ein Magnetprodukt auszubringen.

Die **sensorgestützte Sortierung** bietet auf Grund vieler verschiedener Sensoren ein weites Untersuchungsfeld für weiterführende Untersuchungen. Unterschiede hinsichtlich der Farbe und der Röntgentransmission wurden ausgewählt, um in orientierenden Untersuchungen bei CommoDas zu testen, ob eine Schwerspatabtrennung im Korngrößenbereich 50/20 mm möglich ist.

### 7.1. Elektroscheidung

Da die Hauptkomponenten – Schwerspat, Flußspat und Quarz – elektrische Nichtleiter sind, kommt für deren Sortierung nur die triboelektrische Sortierung in Frage. Die Corona-Scheidung könnte in weiterer Folge die Aufgabe einer Nachreinigung übernehmen, um z.B. störende Sulfide oder leitende Nebenbestandteile aus den Produkten der triboelektrischen Sortierung zu entfernen.

#### 7.1.1. Versuche mit triboelektrischen Verfahren

In der Literatur werden große Unterschiede im Aufladungsverhalten zwischen Flußspat/Schwerspat und Quarz ausgewiesen [19]. Zu Beginn der Untersuchungen stand kein Sortierapparat zur Verfügung, um triboelektrische Sortierversuche durchzuführen. Erste Tastversuche mit einem adaptierten Walzenscheider werden dennoch angeführt, um ein vollständiges Bild über die Versuche zu erhalten.

### 7.1.1.1. „Triboelektrische“ Sortierung am Walzenscheider Typ Carpco

Durch das Zurückklappen der Corona-Elektrode kann am Walzenscheider eine Trennung nach dem elektrostatischen Prinzip erfolgen. Die Probe, ein Leichtgutprodukt eines Wendelscheiderversuches, wurde im Trockenschrank auf 105°C aufgeheizt und über einen Luftzyklon, der als triboelektrische Aufladeeinheit diente, auf die Aufgaberinne des Scheiders aufgegeben. Wie die Auswertung des Versuches (Tabelle 69) zeigt, konnte mit diesem Verfahren eine Trennung zwischen Quarz und den Wertmineralen – in diesem Fall hauptsächlich Flußspat – herbeigeführt werden. Das geringe Ausbringen von CaF<sub>2</sub> im Elektrodenprodukt (Berge) zeigt bereits eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur Feinkorndichtesortierung.

Produkt	Masse	Gehalt			Inhalt		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Elektrode	49,3	84,0	<b>4,0</b>	0,5	<b>68,4</b>	6,7	11,3
Walze	50,7	37,7	53,8	3,8	31,6	<b>93,3</b>	<b>88,7</b>
Aufgabe	100,0	60,5	29,3	2,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 69: „Triboelektrische“ Sortierung am Walzenscheider Typ Carpco

### 7.1.1.2. Triboelektrische Sortierung von entstaubten Sandproben

Für diese Untersuchungen wurden die Restproben der Feinkorndichtesortierversuche aus Punkt 6.2.2 verwendet. Als Trennaggregat stand ein Freifallektroscheider Typ Hamos zur Verfügung. Bis auf die Temperatur der Proben wurden die Testbedingungen für alle folgenden Versuche beibehalten. Die Trennschneiden waren so eingestellt, dass die Fläche unter dem Sortierraum etwa gedrittelt wurde (Einstellung der Trennschneiden: +5° und -5°). Die Aufgabe- und Aufladeeinheit wurden jeweils mit den maximal möglichen Maschineneinstellungen betrieben.

In einem ersten Test wurde die halbe Teilprobe (allflux®-Klasse CaF<sub>2</sub>-Sand) ohne weitere Vorbereitung – d.h. Guttemperatur = Raumtemperatur – auf den Scheider aufgegeben. Die Ergebnisse in Tabelle 70 zeigen, dass sich bereits ein gewisser Sortiereffekt einstellte. So konnte ein Schwerspatprodukt mit einem Schwerspat-Gehalt von 85,3%, wenn auch mit einem geringen Masseausbringen von 3 %, an der negativen Elektrode abgetrennt werden. Immerhin 75,6 % des

SiO<sub>2</sub>-Inhaltes wurden an der positiven Elektrode ausgetragen, der CaF<sub>2</sub>-Inhalt verteilte sich zu etwa gleichen Teilen auf das Produkt an der positiven Elektrode und das Mittelgut.

Produkt	Masse	Gehalt			Inhalt		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
+ Elektrode	53,5	37,8	51,0	5,4	<b>75,6</b>	50,7	21,1
Mittelgut	43,5	14,8	60,4	18,9	24,1	48,8	60,0
- Elektrode	<b>3,0</b>	3,2	9,6	<b>85,3</b>	0,4	0,5	18,9
Aufgabe	100,0	26,7	53,8	13,7	100,0	100,0	100,0

Tabelle 70: Ergebnis der triboelektrischen Sortierung, CaF<sub>2</sub>-Sand, Guttemperatur 20°C

Die zweite Teilprobe wurde in einem Trockenschrank auf 150°C vorgeheizt. Auch die Aufladeeinheit des Scheiders wurde vor dem Versuch vorgeheizt, damit das Probematerial auf dem Weg in den Scheideraum möglichst wenig Temperatur verlor. Wie Tabelle 71 zeigt, veränderte sich das Masseausbringen der Produkte durch die Vorheizung des Probenmaterials im Vergleich zum Versuch bei Raumtemperatur sehr stark. Es konnten sehr hohe Inhaltsausbringenswerte für SiO<sub>2</sub> und BaSO<sub>4</sub> mit über 94 % in den Elektrodenprodukten festgestellt werden. Im Mittelgut wurde ein CaF<sub>2</sub>-Gehalt von 89,7 % festgestellt, allein das Ausbringen von Flußspat in diesem Produkt war unzureichend.

Durch die erhöhte Guttemperatur konnte das Trennergebnis verbessert werden, verkaufsfähige Produkte konnten allerdings nicht hergestellt werden. Eine Nachreinigungsstufe konnte auf Grund der geringen Massen der Produkte nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurden die Restmassen der allflux®-Proben zu einer Mischprobe vereint und diese wie zuvor beschrieben mit einer Guttemperatur von 150°C auf den Scheider aufgegeben. Die Ergebnisse dieser Grundstufe sind in Tabelle 72 angegeben.

Wiederum konnten sehr hohe Ausbringenswerte für SiO<sub>2</sub> und BaSO<sub>4</sub> in den Elektrodenprodukten beobachtet werden. Das Produkt der negativen Elektrode erfüllte bereits die Anforderungen an ein verkaufsfähiges Schwerspatprodukt.

Produkt	Masse	Gehalt			Inhalt		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
+ Elektrode	40,0	63,7	27,5	0,6	<b>94,0</b>	20,4	1,7
Mittelgut	23,0	5,7	<b>89,7</b>	1,8	4,8	38,2	3,0
- Elektrode	37,0	0,9	60,4	36,0	1,2	41,4	<b>95,3</b>
Aufgabe	100,0	27,1	54,0	14,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 71: Ergebnis der triboelektrischen Sortierung, CaF<sub>2</sub>-Sand, Guttemperatur 150°C

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
GS +	32,3	42,6	44,6	3,8	<b>80,5</b>	44,4	2,8
GS MG	23,0	11,0	65,6	13,4	14,8	46,5	6,9
GS -	44,8	1,8	6,6	89,8	4,7	9,2	<b>90,3</b>
Aufgabe	100,0	17,1	32,4	44,5	100,0	100,0	100,0

Tabelle 72: Grundstufe des Versuchs mit dem Mischsand

Das schwerspatreiche Produkt der negativen Elektrode wurde ohne weitere Aufheizung sofort wieder auf den Scheider aufgegeben und bei ansonst gleichen Einstellungen in drei Produkte sortiert (Reinigungsstufe GS -). Vorangegangene Versuche (siehe Tabelle 70) zeigten, dass auch bei niedrigeren Guttemperaturen eine Schwerspatabtrennung möglich war. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in Tabelle 73 aufgelistet. Bei einem Masseausbringen von 58,6 % konnte ein Schwerspatprodukt mit einem BaSO<sub>4</sub>-Gehalt von über 99 % hergestellt werden. Auch das Mittelgut zeigte deutlich bessere Gehalte als die Aufgabe. Das Produkt an der positiven Elektrode beinhaltete über 65 % der Aufgabehalte an SiO<sub>2</sub> und CaF<sub>2</sub> und nur 0,6 % an BaSO<sub>4</sub>.

Reinigungsstufe GS -		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
RS +	8,7	17,9	69,0	5,8	65,4	69,2	<b>0,6</b>
RS MG	32,6	1,1	6,2	<b>92,1</b>	14,5	23,0	33,8
RS -	58,6	0,8	1,2	<b>99,4</b>	20,1	7,8	65,6
Aufgabe	100,0	2,4	8,7	88,9	100,0	100,0	100,0

Tabelle 73: Reinigungsstufe des Produktes der negativen Elektrode der Grundstufe

Die Produkte GS MG und GS + wurden über Nacht wieder auf 150°C aufgeheizt. Bei der Nachreinigung des Mittelgutes (Reinigungsstufe GS MG) der Grundstufe (Ergebnisse siehe Tabelle 74) wurde ein Mittelgut bei hohem Masseausbringen (54,7 %) produziert, das bereits einen CaF<sub>2</sub>-Gehalt von über 94 % aufwies. Die beiden Elektrodenprodukte bestanden im Wesentlichen jeweils aus nur zwei Mineralen, wodurch eine weitere Aufbereitung dieser Produkte in einer dritten Stufe oder eine gezielte Rückführung in die entsprechende Reinigungsstufe einfach möglich wäre.

Reinigungsstufe GS MG		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
RS +	24,0	33,3	55,4	0,9	<b>78,3</b>	18,0	2,0
RS MG	54,7	2,9	<b>94,3</b>	1,3	15,7	<b>69,9</b>	6,6
RS -	21,3	2,9	41,7	45,6	6,0	12,0	<b>91,4</b>
Aufgabe	100,0	10,2	73,8	10,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 74: Ergebnisse der Nachreinigung des Mittelgutes der Grundstufe

Die Reinigung des Produktes der positiven Elektrode aus der Grundstufe (Reinigungsstufe GS +) zeigte die Möglichkeit einer Bergeabscheidung mit äußerst geringen Wertmineralgehalten im Produkt der positiven Elektrode. Zusätzlich konnte ein Flußspatprodukt mit etwa 85 %  $\text{CaF}_2$ -Gehalt an der negativen Elektrode hergestellt werden.

Reinigungsstufe GS +		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
RS +	48,9	69,4	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>77,8</b>	0,8	12,8
RS MG	12,6	62,4	25,6	1,7	18,0	8,9	8,3
RS -	38,5	4,7	<b>84,9</b>	5,3	4,1	<b>90,3</b>	78,9
Aufgabe	100,0	43,6	36,2	2,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 75: Reinigungsstufe des Produktes der negativen Elektrode der Grundstufe

Die Gesamtbilanz der Reinigungsstufen in Tabelle 76 fasst die vielversprechenden Sortierergebnisse zusammen. Durch eine Optimierung der Trennschneideneinstellungen kann es zu besseren Masseausbringenswerten oder Gehalten der entsprechenden Produkte kommen. Zusätzlich dazu können durch Modifikation weiterer Parameter – wie etwa „Luftfeuchtigkeit“ oder „Temperatur“ – die Trennergebnisse weiter verbessert werden.

Die triboelektrische Aufladung mit nachfolgender Sortierung im elektrostatischen Feld erwies sich im Laufe der gesamten Untersuchungen als vielversprechende Möglichkeit zur Aufbereitung des Roherzes zu hochreinen Konzentraten bei gleichzeitig niedrigsten Verlusten von Wertmineralinhalten in den Bergen. Bei rechnerischer Zusammenfassung der Produkte „RS MG“ und „RS -“ aus Tabelle 73 konnte bei einem Inhaltsausbringen von beinahe 92 % ein Schwerspatprodukt mit einem  $\text{BaSO}_4$ -Gehalt von 96 % hergestellt werden. Zwar konnte kein verkaufsfähiges Flußspatkonzentrat mit einem  $\text{CaF}_2$ -Gehalt > 97 % hergestellt werden, allerdings konnten zwei Produkte mit sehr hohen Flußspatgehalten (94,3 und 84,9 %  $\text{CaF}_2$ ) bei einem Gesamtausbringen von immerhin 68,8 % des  $\text{CaF}_2$ -Inhaltes produziert werden.

In Abbildung 66 sind die Inhaltsausbringenswerte graphisch dargestellt. Zu erkennen ist, dass Quarz immer negativ, Schwerspat immer positiv aufgeladen wurde. Flußspat lud sich in Gegenwart von Schwerspat als Hauptkomponente positiv auf, in Gegenwart von Quarz als Hauptkomponente negativ.

War Flußspat selbst die Hauptkomponente, wurde der größte Teil im Mittelgut ausgebracht, und hauptsächlich die Nebenbestandteile Quarz (-) und Schwerspat (+) wie zuvor beschrieben aufgeladen und als Produkte an den entgegengesetzt geladenen Elektroden ausgebracht.

Gesamt			Gehalt			Verteilung		
Grundstufe	Reinigungsstufe	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
GS -	RS - (GS -)	26,2	0,8	1,2	<b>99,4</b>	1,2	0,9	<b>60,6</b>
	RS MG (GS -)	14,6	1,1	6,2	<b>92,1</b>	0,9	2,8	<b>31,3</b>
	RS + (GS -)	3,9	17,9	69,0	5,8	4,0	8,3	0,5
GS MG	RS - (GS MG)	4,9	2,9	41,7	45,6	0,8	6,3	5,2
	RS MG (GS MG)	12,6	2,9	<b>94,3</b>	1,3	2,1	<b>36,4</b>	0,4
	RS + (GS MG)	5,5	33,3	55,4	0,9	10,5	9,4	0,1
GS +	RS - (GS +)	12,4	4,7	<b>84,9</b>	5,3	3,3	<b>32,4</b>	1,5
	RS MG (GS +)	4,1	62,4	25,6	1,7	14,5	3,2	0,2
	RS + (GS +)	15,8	69,4	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>62,6</b>	0,3	0,2
Aufgabe		100,0	17,5	32,5	43,1	100,0	100,0	100,0

Tabelle 76: Zusammenfassung des zweistufigen Versuches

Die schwierigeren Grundvoraussetzungen bei diesem Mineralgemenge im Vergleich zu einfacheren Sortieraufgaben mit nur zwei zu trennenden Komponenten konnten durch eine Grundstufe und anschließende Reinigungsstufen bewältigt werden.

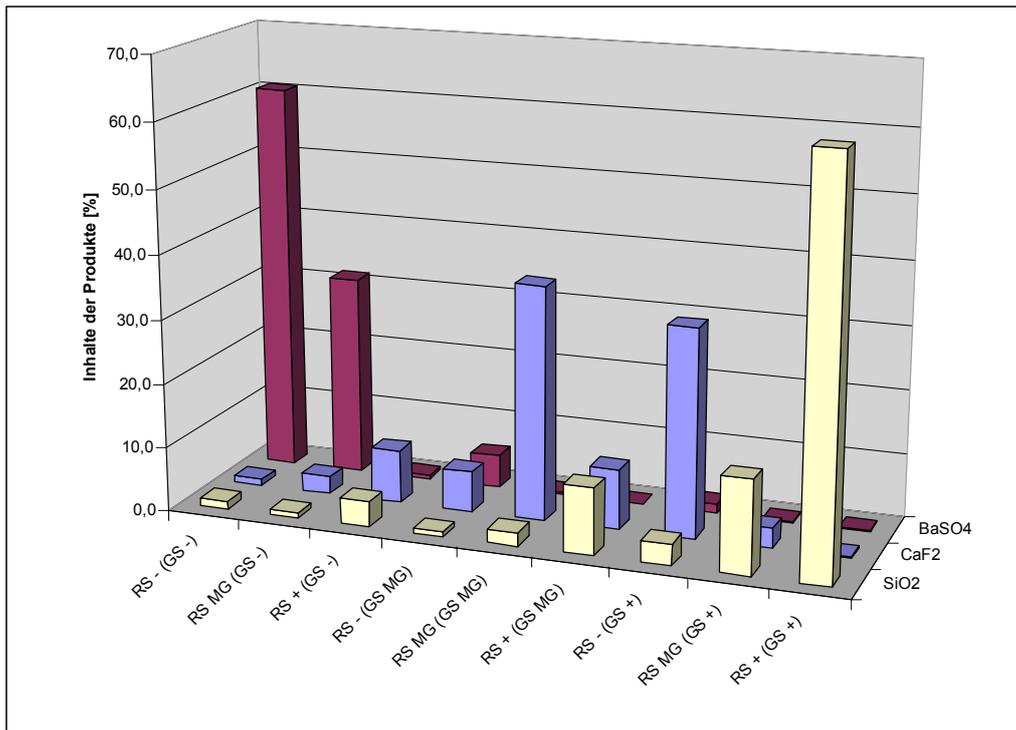


Abbildung 66: Graphische Darstellung der Inhaltsverteilung auf die Produkte

### 7.1.1.3. Triboelektrische Sortierung von zerkleinerten Bergproben

Diese Versuche sollten zeigen, ob die triboelektrische Sortierung als Möglichkeit genutzt werden kann, um die Flußspatinhalte der Berge der Schwertrübescheidung zurückzugewinnen. Dazu wurden Bergproben der Schwertrübescheidung (Erztyp Grün) auf kleiner 1 mm zerkleinert und für die folgenden Versuche verwendet.

Im Gegensatz zu den unter Punkt 7.1.1.2 erwähnten Untersuchungen wurde diese Probe nicht entschlämmt, sodass hohe Anteile an Fein- und Feinstkorn vorlagen. Trotz dieser weitaus schlechteren Grundvoraussetzungen in Bezug auf das Trennverfahren konnte in diesem Versuch (Ergebnisse siehe Tabelle 77) 50,7 % des SiO<sub>2</sub>-Inhaltes ohne große Verluste von Flußspat in ein Bergprodukt überführt werden.

Da der Feinanteil in der Aufgabe zu unerwünschten Effekten - wie zum Beispiel zu einer Verstopfung der Aufgabe- und Aufladeeinrichtung und damit zu einer stockenden und stoßweise erfolgenden Aufgabe - führte, wurde diese Bergprobe mittels Allgaier-Siebmaschine bei Maschenweiten von 0,5 und 0,1 mm in Siebfractionen unterteilt.

Aufgrund verbesserter Voraussetzungen durch ein engeres Kornband (0,5/0,1 mm) und geringere Feinanteile konnte das Sortierergebnis verbessert werden (siehe Tabelle 78). So wurde im Vergleich zur unklassierten Probe (Tabelle 77) einerseits ein größerer Anteil an SiO<sub>2</sub> im Bergprodukt ausgebracht und andererseits ein wesentlich höherer CaF<sub>2</sub>-Gehalt im Flußspatprodukt erzielt.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
+ Elektrode	25,0	<b>66,0</b>	9,9	0,5	<b>50,7</b>	<b>4,5</b>	5,7
Mittelgut	46,4	24,4	64,9	4,1	34,7	54,9	83,9
- Elektrode	28,5	16,7	<b>78,1</b>	0,8	14,6	40,6	10,4
Aufgabe	100,0	32,6	54,9	2,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 77: Ergebnisse der triboelektrischen Sortierung einer zerkleinerten Bergeprobe

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
+ Elektrode	34,7	<b>69,3</b>	4,1	0,3	<b>58,2</b>	<b>3,2</b>	21,2
Mittelgut	32,6	43,7	45,5	0,3	34,4	33,6	17,6
- Elektrode	32,7	9,4	<b>85,3</b>	1,0	7,4	63,2	61,2
Aufgabe	100,0	41,4	44,1	0,5	100,0	100,0	100,0

Tabelle 78: Ergebnisse der triboelektrischen Sortierung der Kornklasse 0,5/0,1 mm der Bergeprobe

Beim Versuch der Sortierung der Korngrößenklasse 1/0,5 mm (Ergebnisse in Tabelle 79) konnten zwar zu den Produkten der Versuche mit der Korngrößenklasse 0,5/0,1 mm qualitativ vergleichbare Produkte erzielt werden, allerdings bei deutlich geringerem Masseausbringen.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
+ Elektrode	18,4	<b>69,6</b>	3,8	0,3	30,9	<b>1,5</b>	12,8
Mittelgut	<b>60,0</b>	41,6	47,5	0,3	60,3	61,7	45,1
- Elektrode	21,5	16,8	<b>79,1</b>	0,8	8,8	36,8	42,1
Aufgabe	100,0	41,4	46,3	0,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 79: Ergebnisse der triboelektrischen Sortierung der Kornklasse 1/0,5 mm der Bergeprobe

## 7.1.2. Versuche mit Corona-Scheidung

Da die Hauptbestandteile Schwerspat, Flußspat und Quarz elektrische Nichtleiter sind, kann diese Art der Elektroscheidung nur zum Abtrennen von Sulfiden oder anderen elektrischen Leitern dienen. Zusätzlich wurden orientierende Versuche unternommen, die SiO<sub>2</sub>-Gehalte in einigen Produkten zu senken und Produkte der triboelektrischen Sortierung nachzureinigen.

### 7.1.2.1. Versuch zur Verringerung des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes durch Corona-Scheidung

Als Aufgabe für diesen Versuch diente das Wendelscheiderleichtgut eines Flußspatsandes (Mischung Grün : DT = 3 : 1). Die Bilanz dieses Versuches ist in Tabelle 80 dargestellt. Ein Leiterprodukt mit 12,5 % Massenausbringen konnte, ohne den SiO<sub>2</sub>-Gehalt des Rückstandes wesentlich zu verringern, hergestellt werden. Auf Grund der nichtleitenden Eigenschaften des Flußspates wurden nur geringe Flußspatverluste im Leiterprodukt erwartet, was durch diesen Versuch bestätigt wurde.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leiter	<b>12,5</b>	64,1	<b>1,3</b>	1,8	13,1	0,6	17,2
Mittelgut	53,2	64,1	26,8	1,4	55,8	52,1	58,6
Nichtleiter	34,4	55,3	37,7	0,9	31,1	47,3	24,2
Aufgabe	100,0	61,1	27,4	1,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 80: Ergebnisse der Coronascheidung an einem Wendelscheiderleichtgut

### 7.1.2.2. Versuch zur Abtrennung von Sulfiden aus einem Schwerspatprodukt eines Wendelscheiderversuches

Bei diesem Versuch wurde das Nichtleiterprodukt mehrere Male nachgereinigt und die Leiterprodukte zu einem Produkt vereint. Die Ergebnisse sind in Tabelle 81 dargestellt. Es zeigte sich, dass eine merkliche Abreicherung störender Begleitelemente – wie Pb, Mn und Fe – im Nichtleiterprodukt erzielt werden konnte. Jeweils etwa die Hälfte der analysierten Schwermetallinhalte (Pb und Fe) konnten im Leiterprodukt bei einem Masseausbringen von 8,1 % ausgebracht werden, bei Mn etwa ein Drittel. Die Inhaltsverteilungen an CaF<sub>2</sub> und SiO<sub>2</sub> folgten jenem von BaSO<sub>4</sub> und wurden daher in der Bilanztafel aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Produkt	Masse	Gehalt				Inhalt			
		BaSO <sub>4</sub>	Pb	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaSO <sub>4</sub>	Pb	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leiter	8,1	68,0	2,9	1,7	3,3	7,4	<b>46,2</b>	<b>31,6</b>	<b>54,5</b>
Nichtleiter	91,9	75,5	0,3	0,3	0,2	92,6	53,8	68,4	45,5
Aufgabe	100,0	74,9	0,5	0,4	0,5	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 81: Ergebnisse der Nachreinigung eines Schwerspatproduktes

### 7.1.2.3. Nachreinigung eines flußspatreichen Produktes eines triboelektrischen Sortierers

Das Mittelgut (RS MG) aus Tabelle 74 aus den triboelektrischen Sortierversuchen unter Punkt 7.1.1.2 wurde mittels Corona-Scheidung nachgereinigt. Dabei wurde untersucht, ob sich eine Verbesserung des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes durch Abtrennen von leitenden Bergebestandteilen ergab und ob sich qualitätsmindernde Bestandteile, wie etwa Sulfide, abreichern ließen.

	Masse	Gehalt					Inhalt				
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	As	Pb	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	As	Pb
Produkt	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Leiter	<b>21,1</b>	5,4	86,4	3,8	0,0066	0,00060	43,8	19,4	57,4	<b>90,3</b>	<b>61,4</b>
Nichtleiter	78,9	1,8	<b>96,3</b>	0,8	0,0002	0,00010	56,2	80,6	42,6	9,7	38,6
Aufgabe	100,0	2,6	94,2	1,4	0,0015	0,00021	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 82: Ergebnisse der Nachreinigung eines flußspatreichen Produktes aus den triboelektrischen Sortierversuchen

In Tabelle 82 sind die positiven Effekte der Nachreinigung dargestellt. Der CaF<sub>2</sub>-Gehalt konnte bei gleichzeitiger Verringerung störender Bestandteile, wie SiO<sub>2</sub> und BaSO<sub>4</sub>, auf 96,3 % erhöht werden. Das Inhaltsausbringen des Arsens, das einen wichtigen Indikator für das Vorhandensein von Fahlerzen darstellt, mit 90 % im Leiterprodukt zeigt, dass sich sulfidische Bestandteile mit der Corona-Scheidung sehr gut abscheiden lassen. Es kann erwartet werden, dass die Verluste hinsichtlich Masseausbringen an Leiterprodukt (21,1 %) und der Wertmineralinhalte durch eine optimierte Prozessführung, und sei es nur durch Variation der Trennschneideneinstellung, verringert werden können. Der Versuch zeigt aber auch anschaulich, dass durch die Kombination von Verfahren der Elektroscheidung hochwertige Flußspatprodukte herstellbar sind.

### 7.1.3. Zusammenfassung und Bewertung der Elektroscheidungsversuche

Die Versuche mit Verfahren der Elektroscheidung und dabei insbesondere die auf triboelektrischer Aufladung beruhende Sortierung im elektrostatischen Feld zeigen neue Möglichkeiten auf, um die Sortierung von Schwespat-, Flußspat- und Quarz-Gemengen in überaus erfolgreicher Weise zu

bewältigen.

Mit Hilfe der Elektroscheidung können qualitativ hochwertige Produkte mit äußerst geringen Verlusten an Wertmineralen in den Bergen hergestellt werden. So konnte bereits in der ersten Stufe ein verkaufsfähiges Schwerspatprodukt hergestellt und 80 % des  $\text{SiO}_2$ -Inhaltes in das andere Elektrodenprodukt überführt werden. In den Reinigungsstufen konnten ein Schwerspatprodukt mit 99 %  $\text{BaSO}_4$ , ein Flußspatprodukt mit 94 %  $\text{CaF}_2$  und ein Bergeprodukt mit einem Restwertmineralgehalt von 1,3 % hergestellt werden. Diese drei Produkte machten in Summe 54,6 % der Aufgabemasse aus.

Die Versuche mit zerkleinerten Bergeproben zeigen, dass auch dieser Produktstrom mit Hilfe der Elektroscheidung aufbereitet und somit das Flußspatausbringen der Aufbereitungsanlage verbessert werden könnte.

Die Elektroscheidung kann somit in zweierlei Hinsicht als taugliches Aufbereitungsverfahren bestätigt werden, zum einen, um Flußspat aus Bergeströmen zurückzugewinnen, zum anderen kommt dieses Verfahren sogar als möglicher Ersatz für die Feinkorndichtesortierung in Betracht.

Zur Abtrennung von unerwünschten Schwermetallträgern – insbesondere jenen, die in sulfidischer Form vorliegen – eignet sich die Corona-Scheidung. Durch die Vielzahl an Begleitmineralen – von denen eben nur ein Teil in Form von leitenden Mineralen vorliegt – kann aber nur eine unvollständige Abreicherung erzielt werden.

## **7.2. Magnetscheidung**

Auf der Grundlage, dass Schwerstoffpartikel teilweise in die Poren des Flußspates eindringen oder zumindest an der rauen Kornoberfläche haften bleiben, sollte mittels Starkfeldmagnetscheidung eine Sortierung möglich sein.

### **7.2.1. Theoretischer Ansatz**

Das Vorhandensein von Spuren an Magnetit als eines der seltenen Minerale mit ferromagnetischen Eigenschaften hat in der Mineralaufbereitung immer wieder zu kuriosen Aufbereitungsvarianten geführt. So machte man sich etwa feinste Einsprenkelungen von ferromagnetischem Magnetit in serpentinierten Nebengestein bei der Aufbereitung von kryptokristallinem Magnesit zunutze. Der diamagnetische Magnesit wird dabei im unmagnetischen Rückstand angereichert, während das Nebengestein auf Grund des Vorhandenseins von Magnetitspuren mittels Starkfeldmagnetscheidung in das Magnetprodukt gezogen wird.

Einem Vorschlag von Prof. Dr. H.-J. Steiner [20] folgend sollte geprüft werden, ob diese Aufbereitungsvariante auf die anstehende Herausforderung der Verringerung der Flußspatverluste angewendet werden könnte. Da die Hauptverluste an Flußspat im Korngrößenbereich 4/1 mm

auftreten (siehe Punkt 5.7.2), war davon auszugehen, dass die Anreicherung poröser und daher mit Spuren an ferromagnetischen Schwerstoffen „verunreinigten“ Körner mit handelsüblichen Starkfeldmagnetscheider gelingen könnte.

## 7.2.2. Magnetscheideversuche an trockenen Bergeproben

Die Magnetscheideversuche wurden an verschiedenen Bergeproben aus den Untersuchungen der Schwertrübescheidung durchgeführt.

### 7.2.2.1. Magnetscheideversuch an der Kornklasse 4/2 mm einer Bergeprobe

Das Bergematerial wurde mit einem Permanentmagnetwalzenscheider Typ IFE sortiert. Das Magnetprodukt 1 wurde durch die Magnetkraft am weitesten, das Mittelgut 1 weniger weit und der Rückstand 1 nicht abgelenkt. Das Mittelgut 2 entstand bei Wiederholung des Versuches mit Rückstand 1 als Aufgabe. Einige wenige Körner bildeten das Magnetprodukt 2, das auf Grund der geringen Masse – zu wenig für eine chemische Analyse – dem Mittelgut 2 zugegeben wurde.

Wie in Tabelle 83 angeführt, konnte in den Magnet- und Mittelprodukten ein  $\text{CaF}_2$ -Ausbringen von 54,7 % erreicht werden. 75,5 % des  $\text{SiO}_2$ -Inhaltes verblieben im unmagnetischen Rückstand. Somit konnte eine Verringerung des  $\text{CaF}_2$ -Gehaltes von 31,4 auf 22,5 % im Rückstand der Magnetscheidung erreicht werden.

4/2 mm, unbehandelt		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt 1	8,5	21,5	64,4	0,2	3,5	17,4	1,2
Mittelgut 1	21,1	41,8	37,3	0,4	16,9	25,1	6,1
Mittelgut 2	7,1	30,5	53,9	0,3	4,1	12,1	1,5
Rückstand 2	63,3	<b>62,3</b>	22,5	2,0	<b>75,5</b>	45,3	91,2
Aufgabe	100,0	52,3	31,4	1,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 83: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 4/2 mm, unbehandelt

### 7.2.2.2. Magnetscheideversuch mit der Kornklasse 4/2 mm nach zusätzlicher Behandlung mit Schwertrübe

Um das Flußspatausbringen im Magnetprodukt zu erhöhen, wurde eine Teilprobe der Korngrößenklasse 4/2 mm mit Schwertrübe aus dem Betrieb vermengt und anschließend vorsichtig mit Wasser auf einem Sieb abgebraust. Nach Trocknung der Probe wurde diese auf einem Sieb abgeklopft - um gröbere Anpackungen von Schwerstoff zu entfernen - und hierauf mittels Magnetscheidung in drei Produkte getrennt.

Wie in Tabelle 84 dargestellt, konnte durch die Behandlung der Probe mit Schwertrübe das Inhaltsausbringen von  $\text{CaF}_2$  in den Magnetprodukten von 54,7 auf 83,3 % gesteigert werden, allerdings stieg auch das  $\text{SiO}_2$ -Ausbringen in den Magnetprodukten von 24 auf 39 %.

Behandlung mit Schwertrübe		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt	28,8	16,2	73,8	0,2	<b>10,7</b>	<b>61,8</b>	4,1
Mittelgut	24,4	50,7	30,4	0,3	28,3	21,5	5,2
Rückstand	46,8	57	12,2	2,7	61,1	16,6	90,6
Aufgabe	100,0	43,7	34,4	1,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 84: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 4/2 mm, mit Schwertrübe vorbehandelt

### 7.2.2.3. Magnetscheideversuch mit der Kornklasse 4/2 mm nach zusätzlicher Behandlung mit Ölsäure und Schwertrübe

Die Probenvorbereitung für diesen Magnetscheideversuch erfolgte nach derselben Vorgangsweise wie unter Punkt 7.2.2.2 beschrieben, mit der einzigen Ausnahme, dass der Schwertrübe ein Tropfen Ölsäure zugegeben wurde. Durch das Reagenz sollte es zu einer selektiven Haftung von Schwertrübeanteilen am Flußspat kommen. Zum besseren Vergleich der Ergebnisse wurden die Einstellungen des Magnetscheiders (Aufgaberate, Trennschneideneinstellung) beibehalten.

Durch die Behandlung mit Ölsäure konnten im Vergleich zur Behandlung mit reiner Schwertrübe noch

bessere Ergebnisse erzielt werden (siehe Tabelle 85). Allerdings ist in diesem Fall das Mittelgut auf Grund des geringen  $\text{CaF}_2$ -Gehaltes von 18,9 % den Bergen zuzurechnen.

Behandlung mit Ölsäure und Schwertrübe		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt	44,6	23,4	64,8	0,2	21,8	<b>79,7</b>	10,6
Mittelgut	37,9	62,9	18,9	1,3	49,8	19,8	58,4
Rückstand	17,5	<b>77,8</b>	1,2	1,5	28,4	0,6	31,1
Aufgabe	100,0	47,9	36,3	0,8	100,0	100,0	100,0

Tabelle 85: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 4/2 mm, mit Ölsäure und Schwertrübe

#### 7.2.2.4. Magnetscheideversuch mit der Kornklasse 2/1 mm

Um den gesamten Korngrößenbereich (4/1 mm) – jenem Bereich, in dem die größten Flußspatverluste auftreten – hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten der Magnetscheidung zu prüfen, wurde auch die Korngrößenklasse 2/1 mm auf dem Magnetscheider in Produkte sortiert. Der Versuchsablauf wurde zur Wahrung der Vergleichbarkeit beibehalten, lediglich die Trennschneidenstellung wurde den korngößenbedingt geänderten Abwurfbedingungen angepasst.

Werden die Magnet- und Mittelgutprodukte aus Tabelle 86 zusammengefasst, ergibt sich ein Produkt, das bei einem Masseausbringen von 50,1 % einen  $\text{CaF}_2$ -Inhalt von 67,3 % aufweist, aber nur 28,2 % des  $\text{SiO}_2$ -Inhaltes enthält. Auch in dieser Korngrößenklasse ist somit ein Trenneffekt ableitbar.

#### 7.2.3. Untersuchungen unter betriebsnahen Bedingungen

Da bei einer technischen Umsetzung der Bergerückgewinnung mittels Magnetscheidung im Betrieb aus Kostengründen keine Trocknung des Bergestromes möglich wäre, wurden Versuche unter betriebsnahen Bedingungen mit feuchtem und nassem Probenmaterial durchgeführt.

2/1 mm, unbehandelt		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt 1	30,2	16,9	<b>69,7</b>	0,2	11,6	46,5	8,7
Mittelgut 1	3,9	28,8	53,7	0,3	2,6	4,7	1,7
Magnetprodukt 2	11,7	36,5	47,8	0,4	9,7	12,3	6,7
Mittelgut 2	4,3	43,8	41,0	0,6	4,3	3,9	3,7
Rückstand 2	49,9	63,2	29,7	1,1	<b>71,8</b>	<b>32,7</b>	79,1
Aufgabe	100	43,9	45,3	0,7	100	100	100

Tabelle 86: Ergebnisse des Magnetscheideversuches, 2/1 mm, unbehandelt

### 7.2.3.1. Vergleichsversuch an einer trockenen Bergeprobe

Um den Einfluss des Wassergehaltes der Probe deutlich zu machen, wurde auch ein Vergleichsversuch im trockenen Zustand durchgeführt. Die Korngrößenspanne war mit 6,3/1 mm im Vergleich zu den vorangegangenen Magnetscheideversuchen größer.

trocken		Gehalt			Verteilung		
Produkt	Masse	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt	32,4	24,3	65,4	0,2	18,3	50,0	4,3
Rückstand	67,6	52,1	31,4	2,2	<b>81,7</b>	<b>50,0</b>	95,7
Aufgabe	100,0	43,1	42,4	1,6	100,0	100,0	100,0

Tabelle 87: Magnetscheideversuch an einer trockenen Bergeprobe, Vergleich

Der Vergleich der Versuchsergebnisse in Tabelle 87 mit den Versuchen unter Punkt 7.2.2.1 zeigt ähnliche Ausbringenswerte für  $\text{CaF}_2$  und  $\text{SiO}_2$  in den Trennprodukten. In diesem Versuch konnte 50 % des  $\text{CaF}_2$ -Inhaltes im Magnetprodukt ausgebracht werden, während über 80 % des  $\text{SiO}_2$ -Inhaltes im unmagnetischen Rückstand verblieb.

### 7.2.3.2. Magnetscheideversuch mit einer feuchten Bergeprobe

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaF}_2$	$\text{BaSO}_4$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt	60,5	39,9	48,8	1,2	54,8	69,5	50,4
Rückstand	39,5	50,5	32,9	1,8	<b>45,2</b>	30,5	49,6
Aufgabe	100,0	44,1	42,5	1,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 88: Magnetscheideversuch mit einer feuchten Bergeprobe

Die Probe wurde mit Wasser aus einer Sprühflasche befeuchtet und anschließend auf dem Magnetscheider sortiert. Das Band des Magnetscheiders wurde vor dem Versuch ebenfalls angefeuchtet, um den zu erwartenden betrieblichen Bedingungen möglichst nahe zu kommen. Die Feuchte der Aufgabe wurde nach dem Versuch durch Berechnung aus den Feuchtegehalten der Trennprodukte zu 8,6 % bestimmt.

Wie aus den Ergebnisse dieses Versuches in Tabelle 88 zu erkennen ist, wurde zwar ein höheres  $\text{CaF}_2$ -Ausbringen im Magnetprodukt erreicht, aber auch das  $\text{SiO}_2$ -Ausbringen stieg im Vergleich zur trockenen Probe von 18,3 auf 54,8 %. Die durch das Wasser bedingten Haftkräfte zwischen den Körnern und dem Magnetscheideband verschoben die Ausbringenswerte in Richtung Magnetprodukt und verringerten den Trennerfolg in deutlichem Ausmaß.

### 7.2.3.3. Magnetscheideversuch mit einer nassen Bergeprobe

Der Wassergehalt der Aufgabe wurde in diesem Versuch abermals erhöht und betrug 17,5 %. Dabei verschlechterte sich die Sortierwirkung der Magnetscheidung abermals, wie aus Tabelle 89 hervorgeht.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Magnetprodukt	50,4	41,8	46,5	1,5	47,2	55,6	55,1
Rückstand	49,6	47,5	37,7	1,2	52,8	44,4	44,9
Aufgabe	100,0	44,6	42,1	1,4	100,0	100,0	100,0

Tabelle 89: Magnetscheideversuch mit einer nassen Bergeprobe

#### 7.2.4. Zusammenfassung der Möglichkeiten einer Bergerückgewinnung mittels Magnetscheidung

Im trockenen Zustand der Proben konnte eine deutliche Anreicherung des Flußspates im Magnetprodukt beobachtet werden. Somit wurde bestätigt, dass die porösen Flußspatkörner Schwerstoffpartikel entweder im Porenraum aufnehmen können oder diese an der rauen Oberfläche anhaften. Durch die Zugabe von Ölsäure in die Trübe konnte dieser Effekt noch verstärkt werden, sodass immerhin 79,7 % des CaF<sub>2</sub>-Inhaltes in ein Flußspatprodukt übergeführt werden konnten.

Unter betriebsnahen Bedingungen mit feuchtem Aufgabematerial konnten die Ausbringenswerte der trockenen Magnetscheidung allerdings nicht erreicht werden. Durch die wasserbedingten Haftkräfte zwischen Korn/Korn bzw. Korn/Band wurden deutlich schlechtere Ergebnisse erzielt.

### 7.3. Untersuchungen zum Bereich der sensorgestützten Sortierung

Die in den Wolfacher Erzen vorhandenen Wertminerale bieten der sensorgestützten Sortierung einige Ansätze zur stofflichen Trennung.

Ein mögliches Trennmerkmal stellt die Fluoreszenz unter UV-Licht dar, die bei den Mineralen Flußspat und Schwerspat auftritt. Diese Eigenschaft wird durch die Kristallisation der Wertmineralphasen stark beeinflusst, wobei gilt, je besser die Ausbildung der Kristallstruktur, desto stärker ist die Fluoreszenz.

Ein weiteres Trennmerkmal ist durch die deutlichen Farbunterschiede der vorhandenen Mineralphasen gegeben, so sollte eine Abscheidung des meist dunklen Nebengesteins vom durchscheinenden Flußspat und Quarz und des weißen Schwerspates möglich sein.

Auch durch das Röntgentransmissionsverfahren sollte sich der Schwerspat abtrennen lassen, da dieser auf Grund seiner ausgesprochen guten Abschirmeigenschaften gegenüber Röntgenstrahlen ausreichend große Unterschiede zu Flußspat und Nebengestein aufweisen sollte.

### 7.3.1. Betrachtung ausgewählter Proben unter UV-Licht

Abbildung 67 zeigt ausgewählte Proben unter Normallicht, Abbildung 68 unter UV-Licht. Die Proben „2 Schwerspatkonzentrat“ und „5 Flußspatkonzentrat Diagonaltrum 2/1mm“ zeigten eine ausgeprägte Fluoreszenz. Bei der Probe „3 Berge Grün Klaubeklasse poröser Flußspat“ konnte keine Fluoreszenz festgestellt werden.



Abbildung 67: Proben unter Normallicht

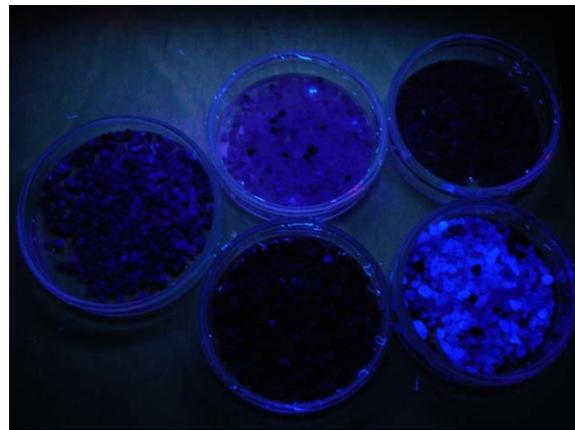
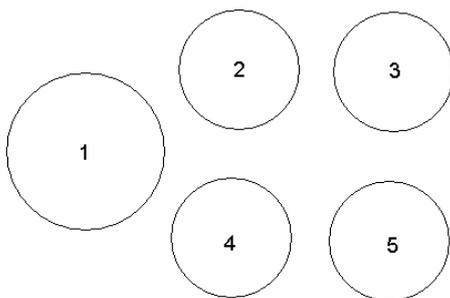


Abbildung 68: Proben unter UV-Licht



- 1 Berge Grün Klaubeklasse „Hell“
- 2 Schwerspatkonzentrat
- 3 Berge Grün Klaubeklasse „poröser Flußspat“ (96 %  $\text{CaF}_2$ )
- 4 Berge Grün Klaubeklasse „Nebengestein“
- 5 Flußspatkonzentrat Diagonaltrum 2/1 mm

Diese Bilder veranschaulichen, dass die porösen Flußspatkörner unter UV-Licht von den nichtfluoreszierenden Bergebestandteilen nicht zu unterscheiden sind. Damit würden bei einer Sortierung mit dem Trennmerkmal „Fluoreszenz unter UV-Licht“ wiederum Flußspatverluste im Bergeprodukt auftreten.

### 7.3.2. Sortierung mittels Röntgen-Transmission an der Grobfraction des Waschsiebtes

Für die Untersuchungen bei CommoDas wurde die Grobfraction des Waschsiebtes, diese entspricht in etwa der Klasse 50/20 mm, verwendet. Die Apparateinstellungen und genauen Zielsetzungen der Versuche waren dem Verfasser nicht bekannt, sodass eine detaillierte Interpretation der Ergebnisse nicht möglich war.

Die Versuchsergebnisse in Tabelle 90 und Tabelle 91 zeigen einen gewissen Sortiereffekt auf, allerdings mit im Vergleich zur Schwertrübescheidung bei weitem schlechteren Gehalts- und Ausbringenswerten.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	43,2	7,9	9,8	79,2	11,7	30,9	77,5
Berge	56,8	45,3	16,7	17,5	88,3	69,1	22,5
Aufgabe	100,0	29,1	13,7	44,2	100,0	100,0	100,0

Tabelle 90: Ergebnisse Röntgentransmission, Test 1, Schwerspaterz, 50/20 mm

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	50,9	25,8	49,1	14,3	29,7	84,1	87,6
Berge	49,1	63,2	9,6	2,1	70,3	15,9	12,4
Aufgabe	100,0	44,2	29,7	8,3	100,0	100,0	100,0

Tabelle 91: Ergebnisse Röntgentransmission, Test 2, Flußspaterz, 50/20 mm

### 7.3.3. Farbsortierung an der Grobfraktion des Waschsiebtes

Die Farbsortierung (Ergebnisse siehe Tabelle 92 und Tabelle 93) ergab mit Werten von 92,4 % und 91,2 % für das BaSO<sub>4</sub>-Ausbringen in den Konzentraten bei beiden untersuchten Erztypen gute Ergebnisse, allerdings war auch das Ausbringen an SiO<sub>2</sub> und CaF<sub>2</sub> in den Konzentraten sehr hoch. Verwachsungen und vor allem unzureichende Selektivität dürften die Hauptgründe für diese Ergebnisse darstellen.

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	65,4	15,9	13,0	69,3	35,6	66,3	<b>92,4</b>
Berge	34,6	54,4	12,5	10,7	64,4	33,7	7,6
Aufgabe	100,0	29,2	12,8	49,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 92: Ergebnisse Farbsortierung, Test 5, Schwerspaterz, 50/20 mm

Produkt	Masse	Gehalt			Verteilung		
		SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Konzentrat	38,4	31,7	42,9	18,4	26,0	58,8	<b>91,2</b>
Berge	61,6	56,2	18,7	1,1	74,0	41,2	8,8
Aufgabe	100,0	46,8	28,0	7,7	100,0	100,0	100,0

Tabelle 93: Ergebnisse Farbsortierung, Test 7, Flußspaterz, 50/20 mm

## 7.4. Bewertung der alternativen Sortierverfahren

Die Elektroscheidung im elektrostatischen Feld mit vorangegangener triboelektrischer Aufladung wird von Seiten des Verfassers als jenes Alternativverfahren bzw. ergänzendes Verfahren zur Dichtesortierung angesehen, welches das größte Potential für weitere Verbesserungen in der Aufbereitungsanlage Wolfach beinhaltet. Die Produktqualität der Schwerspatkonzentrate war mit einem  $\text{BaSO}_4$ -Gehalt von bis zu 99 % ausgezeichnet. Beim Flußspatprodukt müsste eine Verbesserung des  $\text{CaF}_2$ -Gehaltes von nur einem Prozentpunkt erreicht werden, um die Anforderungen an ein hochwertiges Flußspatprodukt zu erreichen. Die Wertmineralverluste in den Bergen waren äußerst gering, so konnte bei passablem Masseausbringen ein Bergeprodukt mit den Gehalten von 0,7 %  $\text{BaSO}_4$  und 0,6 %  $\text{CaF}_2$  hergestellt werden. Die Auswertung der Ergebnisse und der Vergleich mit der Schwerspatabscheidung mittels Feinkorndichtesortierung im Kappa-Netz nach STEINER in Abbildung 69 zeigt eine deutlich höhere Selektivität der triboelektrischen Sortierung und somit die Bestätigung der Tauglichkeit dieses Verfahrens für die Sortieraufgabe Schwerspat/Flußspat.

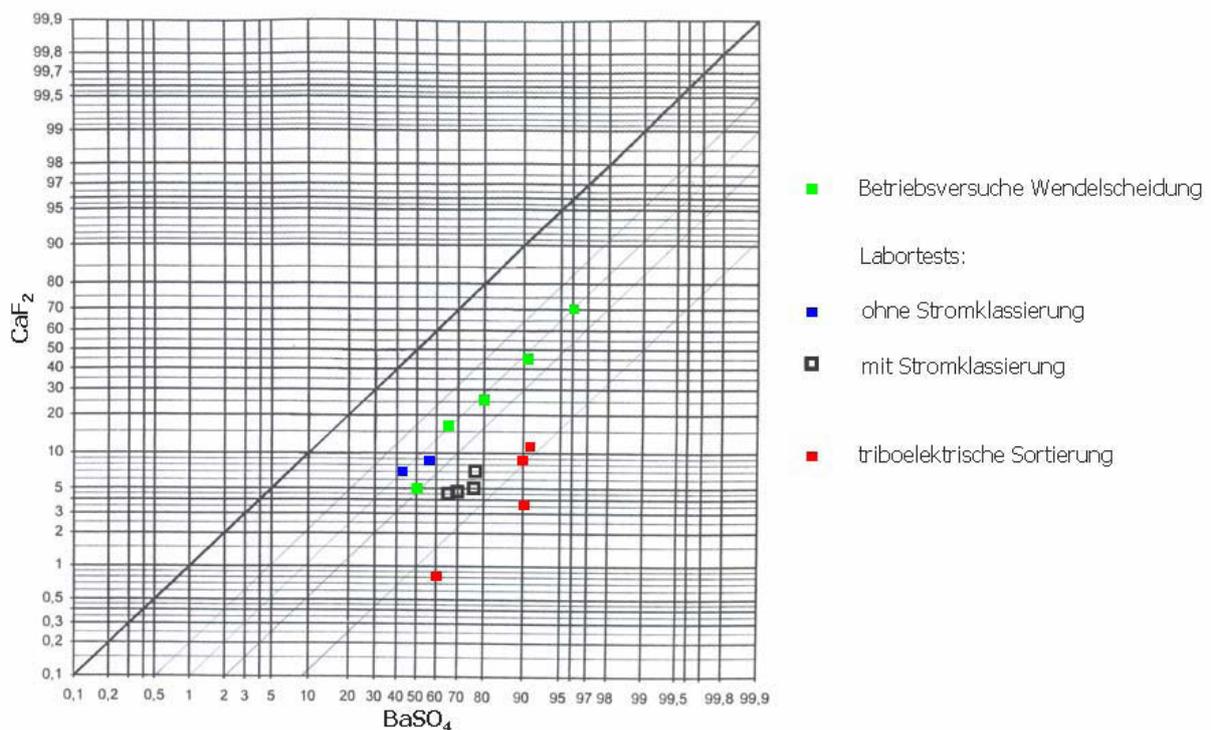


Abbildung 69: Versuchsergebnisse der Feinkorndichtesortierung und der Elektroscheidung im Kappa-Netz, Schwerspatabscheidung

Zudem kann die Elektroscheidung zur Flußspatrückgewinnung aus den Bergen verwendet werden. Da in den Bergen der Schwertrübescheidung fast kein Schwerspat vorliegt, handelt es sich hierbei um eine einfache Sortieraufgabe. Die Auswertung im Kappa-Netz (siehe Abbildung 70) zeigt wiederum die höhere Selektivität der Elektroscheidung im Vergleich zu konkurrenzierenden Verfahren.

Mit der Corona-Scheidung könnten einige Produkte nachgereinigt werden, etwa um wertvolle Sulfide – Bleiglanz Kupferkies und Fahlerze – in ein Produkt zu überführen, das als Aufgabe für die Sulfidflotation dienen könnte. Eine Trennung der Wertminerale – Flußspat und Schwerspat – mit dieser Methode ist nicht möglich. Auch fiel eine Verringerung des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes durch Abtrennung von leitenden Bergebestandteilen nur gering aus.

Die Magnetscheidung zeigte bei trockenen Proben gute Ergebnisse bei der Rückgewinnung von Flußspat aus den Bergen der Schwertrübescheidung. Bei betriebsnahen Bedingungen bezogen auf den Wassergehalt der Proben konnten diese Ergebnisse bei weitem nicht erreicht werden. Für eine technische Umsetzung in der Anlage wäre eine vorgeschaltete Trocknung notwendig. Die Magnetscheidung lieferte im Vergleich zur Elektroscheidung schlechtere Ergebnisse in Bezug auf die Gehalte der Produkte und den Fehlausträgen.

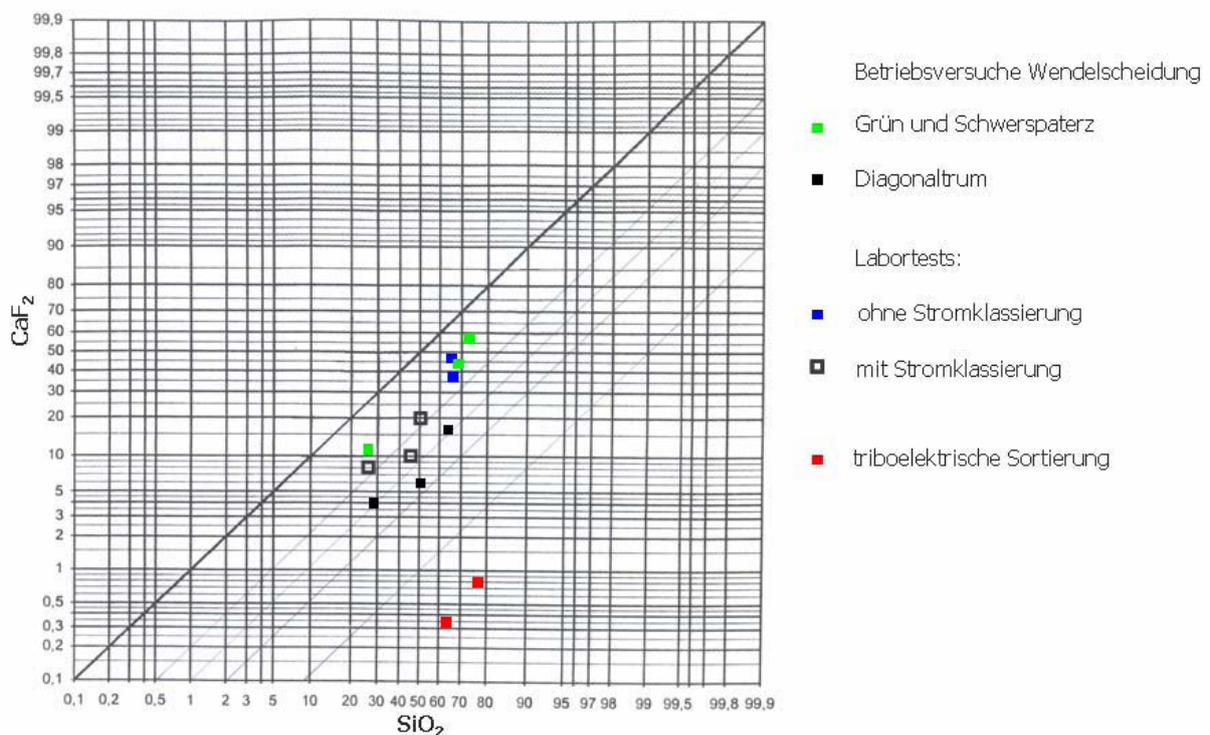


Abbildung 70: Versuchsergebnisse der Feinkorndichtesortierung und der triboelektrischen Sortierung im Kappa-Netz, Bergeabscheidung

Die sensorgestützte Sortierung zeigte in der Korngrößenklasse 50/20 mm die prinzipielle Möglichkeit einer Schwerspateranreicherung auf, allerdings mit im Vergleich zur Schwertrübescheidung bei weitem schlechteren Ergebnissen hinsichtlich des Ausbringens. Die Sortierung von Flußspat und Quarz scheiterte an fehlenden bzw. unzureichenden Selektivitätsunterschieden in Bezug auf Farbe und Röntgentransmission.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] Markl, G., Zur Geologie der Grube Clara bei Oberwolfach, Lapis 7-8, 2001 S. 20-23
- [2] Sachtleben Bergbau GmbH, Präsentation der Grube und der Aufbereitung, März 2008
- [3] Mauerlechner, R., Stammbaum der Aufbereitungsanlage Wolfach, EXCEL-Datei
- [4] Stadtschnitzer, A., Flachberger, H., Beitrag zur Auswahl von Verfahren der Dichtesortierung, BHM, 153. Jg. (2008), Heft 6, S. 211-216
- [5] Komorniczky, K., Gleisberg, D., Reitz, M., Viskositäts-, Stabilitäts- und Korrosionsverhalten von ferromagnetischen Schwertrüben für die Schwimm-Sink-Aufbereitung, Erzmetall 26 (1973) Nr.6 S. 300-304
- [6] Ferrara, G., Ruff, H. J., Dynamic dense medium separation Processes (1+2), Erzmetall 35 (1982) Nr. 6 S. 294-299, Nr. 7/8 S. 395-398
- [7] Ruff, H. J., Greiner, L., Neue Entwicklungen bei der dynamischen Schwertrübesortierung, Aufbereitungs-Technik Nr. 12/1986 S. 667-674
- [8] Kitsikopoulos, H., Tselepidis, P., Ruff, H. J., Ferrara, G., Industrial operation of the first two-density, three-stage dense Medium Separator processing Chromit ores, Proceedings of the XVII IMPC, Dresden, S. 55-65
- [9] Dodbiba, G., Fujita, T., Progress in separating Plastic Materials for Recycling, Physical Separation in Science and Engineering, 2004, Vol. 13., No. 3-4, S. 165-182
- [10] Chiné, B., Ferrara, G., Concha, F., Flow patterns in the Tri-Flo cylindrical dynamic separator, Proceedings of the XX IMPC – Aachen, September 1997, Se. 505-520
- [11] Ferrara, G., Bozzato, P., Chiné, B., Performance of conical and cylindrical separatory vessels in dynamic dense-medium separation processes, Minerals & Metallurgical Processing, 1999, Vol. 10, No. 2, S. 8-15
- [12] Ferrara, G., Bevilacqua, P., De Lorenzi, L., Zanin, M., The influence of particle shape on the dynamic dense medium separation of plastics, International Journal of Mineral Processing 59, 2000, S. 225-235
- [13] Ferrara, G., Machiavelli, G., Bevilacqua, P., Meloy, T.P., Tri-Flo: A multistage high-sharpness DMS process with new applications, Minerals and Metallurgical Processing, May 1994, S. 63-73
- [14] Meissner, P., Viskositäts- und Stabilitätsbeschreibung von Schwertrüben, Bachelorarbeit (2008), Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben
- [15] Kalteis, B., Untersuchungen zur Fragen des Fließverhaltens von mineralischen Suspensionen, BHM, 138 Jg. (1993), Heft 4, S. 121-129
- [16] Schubert, H.; Aufbereitung fester Stoffe, Band 2, 1996, Seite 30-31
- [17] Stadtschnitzer, A., Flachberger, H., Experimental Gravity Separations Studies on Fluorite/Barite-Ores, Conference in Minerals Engineering, Februar 2010

- [18] Rapp, M., Auswertung von Wendelscheiderversuchen, Bachelorarbeit (2010), Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben
- [19] Lindley, K.S., Rowson, N.A., Charging Mechanisms for Particles prior to Electrostatic Separation, Magnetic and Electrical Separation, Vol. 8, S. 101-113, 1997
- [20] Steiner, H. J., mündliche Mitteilung
- [21] Meissner, P., Flotationsuntersuchungen an den Flußspaterzen der Firma Sachtleben GmbH, Masterarbeit (2010), Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben

## **9. Anhang**

- A. Geologie und Anlagenbeschreibung
- B. Nachweis der Porosität und deren Auswirkungen
- C. Untersuchungen der Schwertrübescheidung
- D. Feinkorndichtesortierung

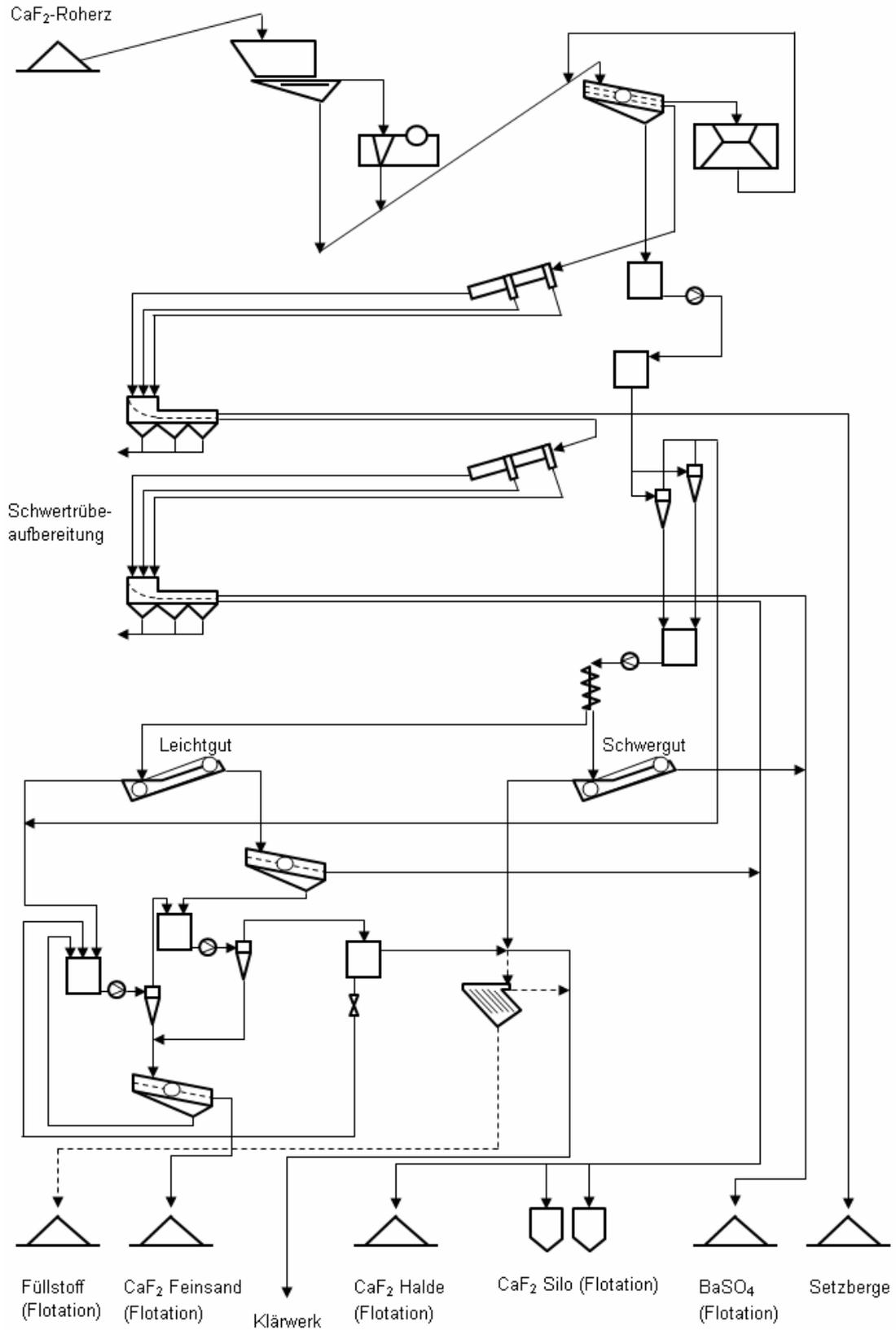
## **A. Anhang: Geologie und Anlagenbeschreibung**

Seite Beschreibung

A-2 Stammbaum der Aufbereitungsanlage Wolfach, Schwerspatfahrweise [3]

A-3 Übersicht über die Flußspatflotationsanlage [21]

Stammbaum der Aufbereitungsanlage Wolfach, Schwerspatfahrweise [3]





## **B. Anhang: Nachweis der Porosität und deren Auswirkungen**

Seite	Beschreibung
B-2	Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, Diagonaltrum, Berge, 2/1 mm
B-3	Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, Grün, Berge, 2/1 mm
B-4	Vergleichsmessungen der Porosität an der Dichteklasse $> 3,0 \text{ g/cm}^3$ aus Tabelle 9
B-5	Vergleichsmessungen der Porosität an der Dichteklasse $2,8/2,7 \text{ g/cm}^3$ aus Tabelle 9
B-6	Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen an den Korngrößenklassen der Zerkleinerungsprodukte aus 4.3.
B-7	Scan auf Spurenelemente, Flußspaterz Diagonaltrum
B-8	Scan auf Spurenelemente, Flußspaterz Grün

Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, Diagonaltrum, Berge, 2/1 mm

Dichte- klasse	Masse	Durchgang	Dichte Helium- pyknometer	Dichte GeoPyc 1360	Porosität	Dichte bei Wasser- sättigung
[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]
> 3,0	5,25	94,75	3,279	3,113	5,1	3,164
> 2,9	2,38	92,37	3,145	2,782	11,5	2,898
> 2,8	1,34	91,03	3,126	2,600	16,8	2,768
> 2,7	4,28	86,75	2,906	2,594	10,7	2,701
> 2,6	62,32	24,43	2,732	2,492	8,8	2,580
> 2,5	24,07	0,37	2,708	2,389	11,8	2,507
< 2,5	0,37	0,00	2,692	2,150	20,1	2,351
Summe	100,00		2,771	2,503	9,6	

Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analyse und der Dichtebestimmungen, Grün, Berge, 2/1 mm

Dichte- klasse	Masse	Durchgang	Dichte Helium- pyknometer	Dichte GeoPyc 1360	Porosität	Dichte bei Wasser- sättigung
[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]
> 3,0	5,02	94,98	3,209	2,923	8,9	3,012
> 2,9	3,30	91,69	3,208	2,384	25,7	2,641
> 2,8	8,14	83,55	3,258	2,323	28,7	2,610
> 2,7	8,66	74,89	3,161	2,258	28,6	2,544
> 2,6	49,26	25,63	2,779	2,346	15,6	2,502
> 2,5	24,04	1,59	2,740	2,345	14,4	2,489
< 2,5	1,59	0,00	2,757	2,101	23,8	2,339
Summe	100,00		2,865	2,356	17,6	

Vergleichsmessungen der Porosität an der Dichteklasse  $> 3,0 \text{ g/cm}^3$  aus Tabelle 9

Teilprobe	Dichte He-Pyknometer	Dichte GeoPyc	Porosität
[1]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
1	3,189	2,777	12,91
2	3,192	2,777	12,99
3	3,204	2,769	13,59
4	3,206	2,785	13,15
Abweichung	0,007	0,004	0,21
Mittelwert	3,198	2,777	13,16

Messung	Dichte Geo	Porosität
[1]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
1	2,794	12,49
2	2,799	12,34
3	2,804	12,18
4	2,789	12,65
5	2,790	12,64
6	2,784	12,80
7	2,790	12,63
8	2,795	12,48
Abweichung	0,006	0,20
Mittelwert	2,793	12,53

Vergleichsmessungen der Porosität an der Dichteklasse 2,8/2,7 g/cm<sup>3</sup> aus Tabelle 9

Teilprobe	Dichte He-Pyknometer	Dichte GeoPyc	Porosität
[1]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
1	3,202	2,152	32,78
2	3,205	2,120	33,85
3	3,186	2,157	32,29
4	3,206	2,149	32,96
Abweichung	0,007	0,012	0,44
Mittelwert	3,200	2,145	32,97

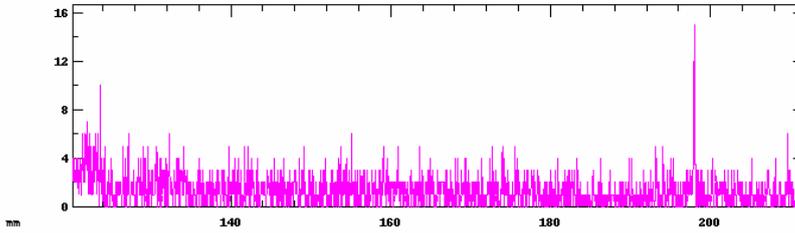
Messung	Dichte Geo	Porosität
[1]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
1	2,169	32,54
2	2,167	32,62
3	2,171	32,50
4	2,166	32,66
5	2,168	32,60
6	2,161	32,80
7	2,167	32,63
8	2,155	33,00
Abweichung	0,005	0,16
Mittelwert	2,165	32,67

Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen an den Korngrößenklassen der Zerkleinerungsprodukte aus 4.3.

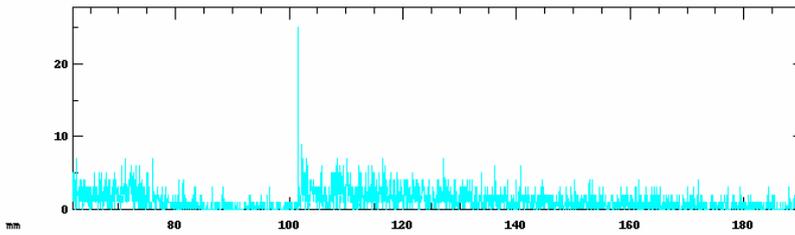
Kornklasse	Zerkleinerungsprodukte		Gehalt der Dichteklasse			Verteilung der Dichteklasse		
	k	Masse	< 2,8	2,8/3,1	> 3,1	< 2,8	2,8/3,1	> 3,1
[mm]	[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
6,3/4	0,5	51,14	79,16	14,75	6,09	60,61	65,37	41,46
	0,1	34,70	75,82	11,52	12,67	39,39	34,63	58,54
	0	14,16						
4/2	0,5	50,00	68,32	22,50	9,19	61,25	65,59	34,98
	0,1	36,05	59,94	16,37	23,68	38,75	34,41	65,02
	0	13,95						
2/1	0,5	76,02	54,97	32,96	12,06	82,21	85,94	65,90
	0,1	17,89	50,55	22,93	26,52	17,79	14,06	34,10
	0	6,10						
1/0	0,5	46,59	51,71	35,83	12,46	59,50	82,06	51,58
	0,1	25,49	64,31	14,31	21,37	40,50	17,94	48,42
	0	27,91						

Scan auf Spurenelemente, Flußpaterz Diagonaltrum

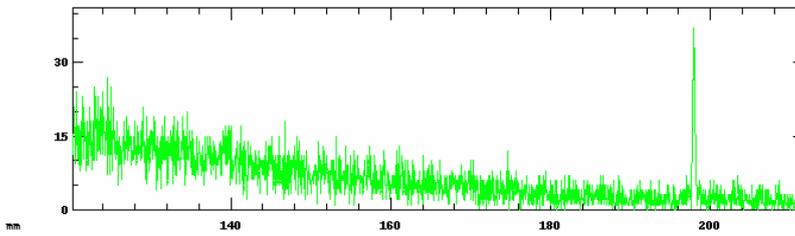
ch2 PETJ



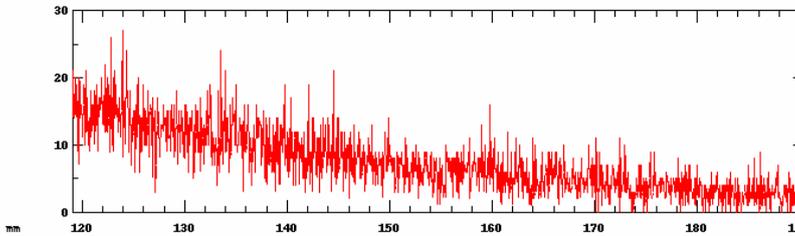
ch3 LIF



ch4 PETH



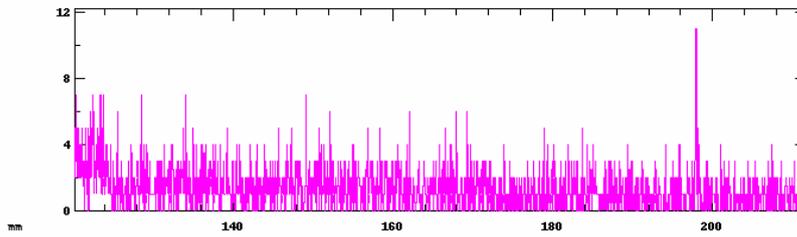
ch5 LIFH



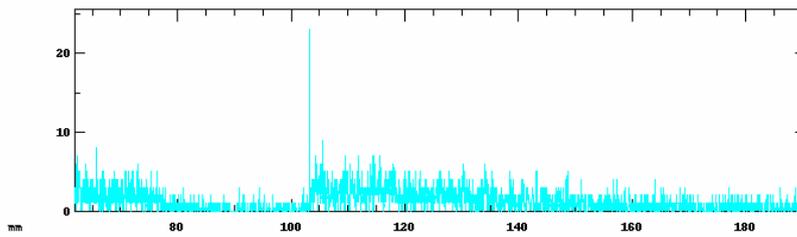
Group : oskar  
Sample : OskarfIdtspel  
DT  
Jan 28 16:32 2010  
Stage No. 1  
X : 49.2665 mm  
Y : 90.2210 mm  
Z : 10.6940 mm  
Acc. V : 20.0 kV  
Prob C : 2.023E-08A  
Scan Off Mag 40  
2 ch PETJ  
St 120.2350, End 211.5350 mm  
Interval 50 um  
Length 91.3000 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 1827  
Max 15  
Min 0  
Ave 1  
Accum 1  
3 ch LIF  
St 61.9060, End 190.3560 mm  
Interval 50 um  
Length 128.4500 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 2570  
Max 25  
Min 0  
Ave 1  
Accum 1  
4 ch PETH  
St 120.2350, End 211.5350 mm  
Interval 50 um  
Length 91.3000 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 1827  
Max 37  
Min 0  
Ave 6  
Accum 1  
5 ch LIFH  
St 119.0690, End 190.3190 mm  
Interval 50 um  
Length 71.2500 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 1426  
Max 27  
Min 0  
Ave 7  
Accum 1  
\*ID-Doctor\*  
A-Rank :  
B-Rank :

Scan auf Spurenelemente, Flußspaterz Grün

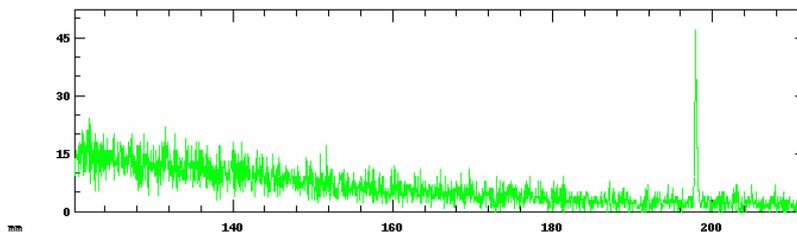
ch2 PETJ



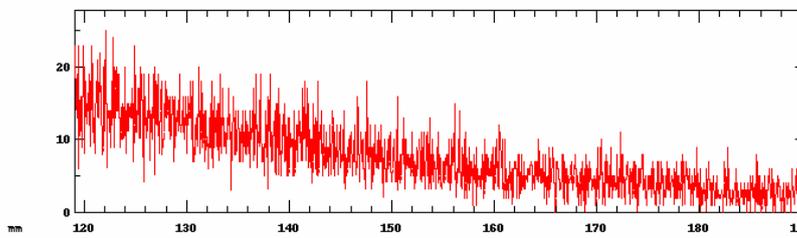
ch3 LIF



ch4 PETH



ch5 LIFH



Group : oskar  
Sample : Oskarflörspe1  
  
Jan 28 17:11 2010  
Stage No. 1  
X : 23.8325 mm  
Y : 68.4405 mm  
Z : 10.7340 mm  
Acc. V : 20.0 kv  
Prob C : 2.038E-08A  
Scan Off Mag 40  
2 ch PETJ  
St 120.2350, End 211.5350 mm  
Interval 50 um  
Length 91.3000 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 1827  
Max 11  
Min 0  
Ave 1  
Accum 1  
3 ch LIF  
St 61.9060, End 190.3560 mm  
Interval 50 um  
Length 128.4500 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 2570  
Max 23  
Min 0  
Ave 1  
Accum 1  
4 ch PETH  
St 120.2350, End 211.5350 mm  
Interval 50 um  
Length 91.3000 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 1827  
Max 47  
Min 0  
Ave 6  
Accum 1  
5 ch LIFH  
St 119.0630, End 190.3130 mm  
Interval 50 um  
Length 71.2500 mm  
Dwell(ms) 200  
Points 1426  
Max 25  
Min 0  
Ave 8  
Accum 1  
  
\*ID-Doctor\*  
A-Rank :  
B-Rank :

## C. Anhang: Untersuchungen der Schwertrübescheidung

Seite Beschreibung

- C-2 Ergebnisse de Viskositätsbestimmungen an Trüben mit verschiedenen Schwerstoffen
- C-3 Ergebnisse der Stabilitätsuntersuchungen der Schwertrüben
- C-4 Ergebnisse der Trübeprobenahme bei den Versuchen mit veränderten Druck und verändertem Durchmesser der Unterlaufdüse
- C-5 Chemische Analysen der Versuche mit einem Durchmesser der Unterlaufdüse von 110 mm
- C-6 Chemische Analysen der Versuche mit einem Durchmesser der Unterlaufdüse von 90 mm
- C-7 Chemische Analysen der Versuche mit einem Durchmesser der Unterlaufdüse von 70 mm
- C-8 Ergebnisse der Klaube und Abschwimmversuche der Bergeprobe vom 10.8.2007
- C-9 Versuche mit Reinerzproben bei unterschiedlichen Drücken, Basisdaten der Siebanalyse
- C-10 Versuche mit Reinerzproben bei unterschiedlichen Drücken, Basisdaten der Schwimm-Sink-Analysen
- C-12 Ermittlung der Teilungszahlen, chemische Analysen und Schwimm-Sink-Analysen
- C-13  $\text{CaF}_2$ -Gehalte der Produkte des Tri-Flo-Scheiders 1, nach Erztyp

## Ergebnisse de Viskositätsbestimmungen an Trüben mit verschiedenen Schwerstoffen

Ferrosilizium verdüst I aus Literatur	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup> [Pa	s]
4,0	0,051
3,8	0,040
3,6	0,030
3,4	0,025
3,2	0,022

Magnetit gemahlen aus Literatur	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup>	[Pa s]
2,1	0,022
2,2	0,025
2,3	0,027
2,4	0,033
2,5	0,042
2,6	0,062

Mischung 60:40	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup>	[Pa s]
2,77	0,0383
2,82	0,0507
2,81	0,0491
2,70	0,0325
2,80	0,0468
2,78	0,0451

Ferrosilizium	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup> [Pa	s]
3,55	0,0213
3,54	0,0286
3,59	0,0323
3,63	0,0303
3,55	0,0185
3,75	0,0281
3,70	0,0317
3,72	0,0364
3,45	0,0114
3,68	0,0198
3,83	0,0483
3,80	0,0672
3,49	0,0159
3,65	0,0244
3,64	0,0262
3,27	0,0134
3,77	0,0379
3,71	0,0332
3,87	0,0655

Trübe 2	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup>	[Pa s]
2,94	0,0175
2,96	0,0195
2,93	0,0182
2,91	0,0212
3,01	0,0326
3,02	0,0329
3,04	0,0437
2,86	0,0138
2,97	0,0199
2,78	0,0108
3,00	0,0141
3,05	0,0204
3,13	0,0294
2,84	0,0123
2,94	0,0190
3,06	0,0264
3,08	0,0326
2,66	0,0080
2,80	0,0123
2,87	0,0180
2,91	0,0247

Trübe 1	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup>	[Pa s]
3,10	0,0625
3,15	0,0709
3,13	0,0672
3,11	0,0598
3,13	0,0648
2,93	0,0212
2,95	0,0231
2,90	0,0216
2,90	0,0206
2,91	0,0278
2,96	0,0334
2,93	0,0341
3,03	0,0451
3,03	0,0233
3,05	0,0243
3,10	0,0285
3,11	0,0282
2,80	0,0135
2,94	0,0207
3,07	0,0327
3,02	0,0286
2,92	0,0117
3,02	0,0164
3,28	0,0292
3,14	0,0280

Magnetit	
Dichte	Viskosität
g/cm <sup>3</sup> [Pa	s]
2,41	0,0291
2,53	0,0448
2,38	0,0478
2,48	0,0406
2,41	0,0313
2,44	0,0440
2,47	0,0618

## Ergebnisse der Stabilitätsuntersuchungen der Schwertrüben

Bezeichnung der Trübe	Dichte	Stabilität
[g/c	m <sup>3</sup> ]	[s/cm]
Trübe 1	2,9	11,40
2,8		8,54
2,7		6,94
2,6		5,91
2,5		3,86
2,4		3,23

Ferrosilizium 3,4		5,03
3,3		4,26
3,2		3,51
3,1		2,89
3,0		2,69

Trübe 2	2,9	9,07
2,8		6,43
2,7		5,45
2,6		4,32
2,5		3,50
2,4		2,96

Magnetit 2,5		30,60
2,3		13,39
2,3		16,23
2,3		5,57
2,2		5,34
2,1		4,00
2,0		3,02

Referenz Ferrosilizium verdüst I	3,0	1,0
3,2		1,9
3,4		2,5
3,6		5,0

Referenz Magnetit gemahlen II	2,0	4
2,1		5
2,2		6
2,3		10
2,4		15

Ergebnisse der Trübeprobenahme bei den Versuchen mit veränderten Druck und verändertem Durchmesser der Unterlaufdüse

		Trübedichte			
Durchmesser	Druck	Aufgabe	Schwertgut	Leichtgut	Spreizung
[mm]	[bar]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
110	2,6	2,545	3,125	2,040	1,085
	2,4	2,545	3,100	2,115	0,985
	2,2	2,545	3,105	2,120	0,985
	2,0	2,595	3,070	2,170	0,900
	1,8	2,540	3,070	2,185	0,885
	1,6	2,555	3,015	2,260	0,755
90	2,4	2,675	2,950	2,325	0,625
	2	2,690	2,900	2,345	0,555
	1,6	2,640	2,865	2,410	0,455
70	2,2	2,645	3,005	2,115	0,890
	1,8	2,690	2,925	2,400	0,525
	1,6	2,675	2,880	2,435	0,445
	1,4	2,656	2,863	2,413	0,450

Chemische Analysen der Versuche mit einem Durchmesser der Unterlaufdüse von 110 mm

Druck	Produkt	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mg
[bar]		[%]	[%]	[%]	[%]
2,6	Schwergut	69,37	12,12	12,20	0,74
	Berge	34,64	2,46	48,59	0,41
	Aufgabe	54,47	10,92	27,19	0,52
2,4	Schwergut	72,51	12,49	8,80	0,49
	Berge	33,41	0,61	50,83	0,56
	Aufgabe	60,88	12,45	18,70	0,35
2,2	Schwergut	78,03	8,67	8,87	0,50
	Berge	40,71	0,56	46,11	0,51
	Aufgabe	65,24	8,69	19,14	0,82
2,0	Schwergut	80,03	6,71	8,82	0,75
	Berge	49,02	0,83	38,80	0,48
	Aufgabe	72,63	6,00	16,00	0,69
1,8	Schwergut	79,50	7,21	8,73	0,81
	Berge	41,76	0,52	42,54	0,46
	Aufgabe	70,10	5,35	17,37	0,86
1,6	Schwergut	72,99	12,53	7,65	0,56
	Berge	43,11	0,48	43,30	0,40
	Aufgabe	73,15	6,30	15,54	0,59

Chemische Analysen der Versuche mit einem Durchmesser der Unterlaufdüse von 90 mm

Druck	Produkt	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mg
[bar]		[%]	[%]	[%]	[%]
2,4	Schwergut	56,53	18,36	8,01	0,37
	Berge	27,05	1,10	54,95	0,42
	Aufgabe	55,70	16,41	17,88	0,27
2,0	Schwergut	55,31	19,65	8,63	0,46
	Berge	24,14	1,22	54,76	0,47
	Aufgabe	50,72	16,61	20,75	0,30
1,6	Schwergut	54,31	19,42	9,79	0,26
	Berge	25,18	1,46	56,91	0,45
	Aufgabe	48(25,49)*	22,72	24,04	0,19

\* Berechneter Wert (Wert laut Analyse); Berechnet auf Grund unplausibler Größe

Chemische Analysen der Versuche mit einem Durchmesser der Unterlaufdüse von 70 mm

Druck	Produkt	CaF <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mg
[bar]		[%]	[%]	[%]	[%]
2,2*	Schwergut				
	Berge	21,52	0,64	59,17	0,38
	Aufgabe				
1,8	Schwergut	61,62	15,91	13,01	0,28
	Berge	34,31	1,48	49,50	0,52
	Aufgabe	60,55	14,82	16,05	0,36
1,6	Schwergut	62,88	16,57	9,33	0,46
	Berge	31,40	1,20	50,99	0,51
	Aufgabe	55,63	15,53	19,24	0,32
1,4	Schwergut	56,48	18,38	9,19	0,36
	Berge	28,83	2,09	53,80	0,50
	Aufgabe	51,65	18,72	17,73	0,13

\* Es war nur die Beprobung des Bergestroms möglich. Störfälle in der Schwertrübeanlage verhinderten eine komplette Beprobung.

Ergebnisse der Klaube und Abschwimmversuche der Bergeprobe vom 10.8.2007

Kornklasse	Masse	Beton	Neben- gestein	"Quarz" < 2,7 g/cm <sup>3</sup>	"Quarz" 2,7/3 g/cm <sup>3</sup>	"Quarz" > 3 g/cm <sup>3</sup>
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
18/14	8,2	4,6	63,2	30,4	1,8	0,0
14/10	26,8	6,6	50,2	35,4	7,5	0,3
10/6,3	20,5	6,4	50,1	32,2	10,4	0,9
6,3/4	13,1	5,8	45,7	33,1	14,6	0,8
4/2	19,4	4,4	35,0	42,4	15,6	2,6
2/1	12,0	2,6	30,4	45,2	14,3	7,5
Summe	100,0	5,4	45,3	36,6	10,9	1,8

Versuche mit Reinerzproben bei unterschiedlichen Drücken, Basisdaten der Siebanalyse

Diagonaltrum		1,4 bar			1,8 bar		
	Aufgabe	Konzentrat Berge			Konzentrat Berge		
Maschenweite	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	847,72	363,09		427,70	363,09	376,40	
6,3	579,60	215,30		243,20	215,30	215,40	
4	362,60	176,69		165,20	176,69	139,50	
2	478,83	193,31		171,80	193,31	173,40	
1	354,38	120,52		93,10	120,52	112,10	
0	87,89	3,03		9,90	3,03	13,20	
Summe	2711,0	1071,94	2	1110,90	1071,94	1030,00	

Grün		1,4 bar			1,8 bar		
	Aufgabe	Konzentrat Berge			Konzentrat Berge		
Maschenweite	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	907,76	339,19		153,60	552,00	294,20	
6,3	580,96	268,37		113,30	388,81	234,80	
4	378,41	229,84		97,60	322,19	255,30	
2	569,99	293,49		153,90	446,18	386,90	
1	458,75	184,79		155,70	303,29	400,00	
0	233,37	27,14		28,00	58,10	96,10	
Summe	3129,2	1342,82	4	702,10	2070,57	1667,30	

Grün	2,55 g/cm³				2,51 g/cm³			
	Aufgabe	Konze	ntrat	Berge	Aufgabe	Konze	ntrat	Berge
Maschenweite	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
10	654,74	615,98		192,70	696,51	614,72	615,70	
6,3	367,94	409,36		151,20	465,48	422,14	492,10	
4	236,71	284,66		101,90	377,41	308,55	392,50	
2	321,26	354,22		132,50	554,30	423,75	501,40	
1	248,47	423,34		117,40	506,64	316,09	437,00	
0	85,82	43,53		17,90	106,21	29,37	51,90	
Summe	1914,94	2131,0	9	713,60	2706,55	2114,62	2490,6	0

Schwerspat		1,4 bar			1,8 bar		
	Aufgabe	Konzentrat Berge			Konzentrat Berge		
Maschenweite	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	594,42	1133,0	0	568,30	882,56	526,90	
6,3	353,97	525,99		344,50	502,90	354,60	
4	270,60	461,75		272,30	415,45	296,40	
2	348,57	480,89		386,30	613,29	511,40	
1	309,85	332,73		360,70	448,16	513,30	
0	121,70	64,00		27,30	101,23	55,70	
Summe	1999,1	2998,36	1	1959,40	2963,59	2258,30	

Versuche mit Reinerzproben bei unterschiedlichen Drücken, Basisdaten der Schwimm-Sink-Analysen

Diagonaltrum 1,4 bar	Aufgabe Konze			ntrat		Berge	
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>
Maschenweite	Masse	Masse		Masse	Masse	Masse	Masse
[mm]	[g] [g] [g]	[g] [g] [g]					
10	535,02	314,97		52,94	310,84	412,60	17,20
6,3	362,87	217,27		36,76	179,00	234,10	10,10
4	196,48	167,47		14,74	161,60	157,60	9,00
2	231,37	248,59		18,56	174,33	154,10	18,60
1	155,24	199,04		10,81	109,95	80,60	12,50
Summe 1480,9	8	1147,34		133,81	935,72	1039,00	67,40

Diagonaltrum 1,8 bar	Aufgabe Konze			ntrat		Berge	
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>
Maschenweite	Masse	Masse		Masse	Masse	Masse	Masse
[mm]	[g] [g] [g]	[g] [g] [g]					
10	535,02	314,97		73,18	304,06	361,95	15,16
6,3	362,87	217,27		39,03	184,09	201,52	15,10
4	196,48	167,47		36,63	180,01	128,80	11,79
2	231,37	248,59		37,19	242,74	158,63	15,90
1	155,24	199,04		23,23	150,62	92,70	19,76
Summe 1480,9	8	1147,34		209,26	1061,52	943,60	77,71

Grün 1,4 bar	Aufgabe Konze			ntrat		Berge	
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>
Maschenweite	Masse	Masse		Masse	Masse	Masse	Masse
[mm]	[g] [g] [g]	[g] [g] [g]					
10	312,97	605,25		12,31	330,03	137,03	24,19
6,3	158,36	433,32		6,67	263,90	100,94	17,83
4	85,84	300,73		5,43	225,72	73,87	29,05
2	117,03	455,32		5,64	288,75	85,57	74,93
1	93,29	365,96		4,95	179,58	69,67	89,60
Summe 767,49		2160,58		35,00	1287,98	467,08	235,60

Grün 1,8 bar	Aufgabe Konze			ntrat		Berge	
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>	> 2,72 g/cm <sup>3</sup>
Maschenweite	Masse	Masse		Masse	Masse	Masse	Masse
[mm]	[g] [g] [g]	[g] [g] [g]					
10	312,97	605,25		26,93	525,07	280,20	24,60
6,3	158,36	433,32		20,64	368,17	190,30	53,80
4	85,84	300,73		14,41	307,78	202,10	66,70
2	117,03	455,32		17,40	428,78	207,70	179,20
1	93,29	365,96		16,53	286,76	169,71	230,29
Summe 767,49		2160,58		95,91	1916,56	1050,00	554,60

Grün 2,55 g/cm <sup>3</sup>	Aufgabe Konze			ntrat		Berge		
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>			> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>		
Maschenweite	Masse			Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	289,39			376,90	192,48	428,59	201,60	2,10
6,3	145,67			231,68	72,78	340,35	153,60	6,80
4	74,84			166,83	43,21	244,00	95,10	13,20
2	89,38			237,78	45,31	309,99	113,00	29,20
1	67,02			183,21	23,60	200,08	84,90	36,20
Summe	666,30			1196,40	377,38	1523,01	648,20	87,50

Grün 2,51 g/cm <sup>3</sup>	Aufgabe Konze			ntrat		Berge		
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>			> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>		
Maschenweite	Masse			Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	334,26			373,79	235,39	385,86	629,14	0,00
6,3	219,11			258,08	108,27	320,51	496,36	17,64
4	143,03			242,60	73,40	238,92	379,92	35,11
2	191,20			363,10	79,19	347,89	434,10	67,30
1	165,32			346,59	56,58	259,51	360,08	76,92
Summe	1052,9	2		1584,16	552,83	1552,69	2299,60	196,97

Schwerspat 1,4 bar	Aufgabe Konze			ntrat		Berge		
	<2,72 g/cm <sup>3</sup>			>2,72 g/cm <sup>3</sup>		<2,72 g/cm <sup>3</sup>		
Maschenweite	Masse			Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	65,28			531,74	8,29	1117,40	512,05	65,45
6,3	26,88			327,36	3,43	522,69	328,23	24,17
4	25,24			246,31	1,43	359,46	253,79	25,22
2	37,88			310,30	1,85	475,71	327,78	58,52
1	41,43			268,55	3,96	327,37	266,64	94,06
Summe	196,71			1684,26	18,96	2802,63	1688,48	267,43

Schwerspat 1,8 bar	Aufgabe Konze			ntrat		Berge		
	< 2,72 g/cm <sup>3</sup>			> 2,72 g/cm <sup>3</sup>		< 2,72 g/cm <sup>3</sup>		
Maschenweite	Masse			Masse	Masse	Masse	Masse	
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
10	65,28			531,74	1,68	883,13	488,81	47,66
6,3	26,88			327,36	4,03	500,75	333,20	29,92
4	25,24			246,31	3,46	412,85	266,27	37,36
2	37,88			310,30	8,28	607,37	423,25	88,15
1	41,43			268,55	9,46	433,81	365,14	148,16
Summe	196,71			1684,26	26,91	2837,91	1876,67	351,25

Ermittlung der Teilungszahlen, chemische Analysen und Schwimm-Sink-Analysen

Diagonaltrum in [%]	Beprobung KW 9			Beprobung KW 10		
	Leichtgut	Schwertgut	Aufgabe	Leichtgut	Schwertgut	Aufgabe
CaF <sub>2</sub>	2,23 44,45		34,24	1,42 43,02		37,69
SiO <sub>2</sub>	70,55 14,34	34,26 71,12	17,72 36,92			
BaSO <sub>4</sub>	0,69 21,45		17,20	0,57 19,91		14,84
Mg	0,49 0,19	0,36 0,36	0,15 0,14			

Diagonaltrum Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]	2/1mm			4/2 mm			10/6,3 mm			
	Aufgabe	Konzentrat	Berge	Aufgabe	Konzentrat	Berge	Aufgabe	Konzentrat	Berge	
	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	
> 3,0	494,53	773,04	16,37	554,94	1162	15,00	533,67	1150,0	0	3,10
> 2,9	23,00	21,98	7,41	32,52	31,43	4,36	19,39	76,38		5,22
> 2,8	8,44	10,67	4,17	17,58	30,40	4,90	32,92	48,64		9,57
> 2,7	26,73	14,24	13,33	38,56	37,77	48,27	60,92	80,05		24,82
> 2,6	118,45	54,68	194,23	163,44	60,57	288,04	230,35	93,36		685,88
> 2,5	44,11	9,28	75,00	53,08	37,77	235,96	144,84	5,63		424,43
< 2,5	1,20	0,00	1,14	3,38	0,00	3,85	8,47	0,00		19,88
Summe	716,46	883,89	311,65	863,50	1359,94	600,38	1030,56	1454,0	6	1172,9

Grün in [%]	Beprobung KW 9			Beprobung KW 10		
	Leichtgut	Schwertgut	Aufgabe	Leichtgut	Schwertgut	Aufgabe
CaF <sub>2</sub>	12,42 53,80	46,22 10,41	53,57 43,36			
SiO <sub>2</sub>	63,97 19,36	34,36 65,04	28,39 34,47			
BaSO <sub>4</sub>	0,51 0,52	0,52 0,54	1,05 0,22			
Mg	0,31 14,89		9,64	0,6	9,04 11,97	

Grün Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]	2/1mm			4/2 mm			10/6,3 mm			
	Aufgabe	Konzentrat	Berge	Aufgabe	Konzentrat	Berge	Aufgabe	Konzentrat	Berge	
	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	Masse	
> 3,0	286,00	496,17	16,10	358,39	745,35	15,41	358,16	644,75	4,43	
> 2,9	54,76	87,16	10,58	79,03	103,44	8,30	164,36	217,79	3,77	
> 2,8	25,71	44,48	26,13	48,06	83,70	22,64	104,63	184,36	18,9	
> 2,7	45,20	9,07	27,79	58,37	73,73	52,88	96,62	149,57	59,07	
> 2,6	88,95	69,14	158,11	107,45	100,92	230,28	226,26	141,64	429,14	
> 2,5	43,81	21,33	77,15	49,92	10,70	209,23	89,61	7,71	441,37	
< 2,5	2,00	0,00	5,10	4,65	0,00	25,98	22,77	1,03	86,71	
Summe	546,43	727,35	320,96	705,87	1117,84	564,72	1062,41	1346,8	5	1043,39

CaF<sub>2</sub>-Gehalte der Produkte des Tri-Flo-Scheiders 1, nach Erztyp

Diagonaltrum	Aufgabe	Berge	Konzentrat	Trübedichte
Datum	[%] [%] [%]			[g/cm <sup>3</sup> ]
6.3.	37,69	1,42	43,02	2,55
27.2.	34,27	2,23	44,45	2,55
27.11.	57,55	4,43	61,14	2,55
8.11.	28,04	4,35	46,96	2,74
8.11.	28,04	6,25	40,09	2,74
29.11.	49,19	3,17	65,27	2,55

Grün	Aufgabe	Berge	Konzentrat	Trübedichte
Datum	[%] [%] [%]			[g/cm <sup>3</sup> ]
25.3.	46,38	20,47	58,79	2,64
5.3.	43,36	10,41	53,57	2,55
28.2.	46,22	12,42	53,8	2,55
26.11.	60,33	18,78	70,67	2,55
17.3.	54,69	36,46	66,99	2,55
18.3.	45,07	30,62	55,93	2,74
9.11.	65,13	50,16	74,23	2,74
8.11.	65,13	48,69	74,23	2,74
14.11.	54,42	19,31	65,23	2,51
10.12.	57,4	23,6	67,4	2,55
28.11.	49,09	18,38	60,19	2,55
13.11.	56,58	27,65	-	2,55
10.8.	59,54	20,99	80,61	

Schwerspat	Aufgabe	Berge	Konzentrat	Trübedichte
Datum	[%] [%] [%]			[g/cm <sup>3</sup> ]
6.3.	21,48	6,97	19,44	2,55
26.2.	7,82	9,96	7,09	2,55
12.11.	15,28	17,8	16,55	2,74
12.11.	15,28	13,49	21,03	2,74
15.11.	14,35	5,97	15,95	2,55
10.12.	18,9	2,5	20,1	2,55
27.11.	14,13	9,65	25,68	2,55

---

Mischung	Aufgabe	Berge	Konzentrat
Datum	[%] [%]	[%]	
14.5.	50,72	24,14	55,31
	55,7	27,05	56,53
	60,55	34,31	61,62
	55,63	31,4	62,88
	51,65	28,83	56,48
	73,15	43,11	72,99
	70,1	41,76	79,5
	72,63	49,02	80,03
	65,24	40,71	78,03
	60,88	33,41	72,51
	54,47	34,64	69,37

---

## D. Anhang: Feinkorndichtesortierung

Seite Beschreibung

- D-2 Ergebnisse der Siebanalyse von Sanden bei unterschiedlicher Rohgutvorbereitung  
Ergebnisse der Siebanalysen der Stromklassen, Typ Richards, Abbildung 57
- D-3 Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen der Wendelscheiderversuche, allflux®-Produkte
- D-4 Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen des Wendelscheiderversuchs, Stromklasse 3, Richards  
Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen des Wendelscheiderversuchs, Diagonaltrum, Betrieb
- D-5 Beprobung der Stromklassiersversuche, Reinerze
- D-8 Schwimm-Sink-Analysen der Stromklassen, Reinerze
- D-10 Schwimm-Sink-Analysen der Wendelscheiderprodukte, Reinerze

## Ergebnisse der Siebanalyse von Sanden bei unterschiedlicher Rohgutvorbereitung

allflux®		Grobsand Grün	Zyklon- unterlauf	Grobgut 2 Grün
Maschenweite [mm]	Klasse [%]	Klasse [%]	Klasse [%]	Klasse [%]
2	0,00	0,00	0,89	
1,6			1,66	
1,25			6,66	
1		10,07	8,06	0,00
0,71	29,41	17,59	12,16	0,86
0,5	28,61	21,04	12,83	15,18
0,315	29,33	24,56	15,50	58,18
0,2		14,14	12,99	
0,1	12,65	8,93	15,67	25,49
0,071			6,00	
0,04			6,19	
0	0,00	3,67	1,39	0,29
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00

## Ergebnisse der Siebanalysen der Stromklassen, Typ Richards, Abbildung 57

	SK-1	SK-2	SK-3		SK-4
Maschenweite [mm]	Klasse [%]	Klasse [%]	Klasse [%]		Klasse [%]
3	0,00		0,00	0,00	0,00
1,6	3,59		0,07	0,00	0,00
1	30,57		13,04	1,02	0,13
0,71	37,91		34,49	16,98	0,94
0,5	24,64		31,24	40,33	14,05
0,315	3,30		20,85	32,24	40,62
0,1	0,00		0,30	9,43	44,26
Summe	100,00		100,00	100,00	100,00

## Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen der Wendelscheiderversuche, allflux®-Produkte

BaSO <sub>4</sub> 30		Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]			
Produkt	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
[mm]		[%]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	8,99	2,61	6,61	11,32
	0,5	10,89	0,28	0,74	6,35
	0,315	28,30	0,25	0,79	6,52
	0,1	51,82	0,19	1,00	7,42
Mittelgut	0,71	19,82	4,23	10,23	38,94
	0,5	26,91	1,14	2,62	5,12
	0,315	38,28	2,30	3,53	3,76
	0,1	14,99	1,87	3,44	3,06
Leichtgut	0,71	49,07	17,06	24,40	6,31
	0,5	34,60	4,00	3,58	0,40
	0,315	15,36	5,34	2,93	0,18
	0,1	0,97	3,37	1,90	0,30
Aufgabe gesiebt	0,71	20,98	11,42	29,69	2,61
	0,5	22,96	3,20	3,94	3,95
	0,315	32,96	2,39	3,09	4,47
	0,1	23,10	0,77	1,89	6,71

CaF <sub>2</sub> 10-36		Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]			
Produkt	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
[mm]		[%]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	7,40	2,53	11,74	30,91
	0,5	12,23	0,34	1,62	5,60
	0,315	35,86	0,29	3,15	5,25
	0,1	44,51	0,30	3,12	8,19
Mittelgut	0,71	24,00	5,31	17,88	13,13
	0,5	32,48	1,83	5,42	1,55
	0,315	38,48	1,72	5,28	0,85
	0,1	5,04	1,34	6,12	0,92
Leichtgut	0,71	57,36	14,15	18,88	0,68
	0,5	33,25	4,07	3,93	0,03
	0,315	9,06	4,22	3,40	0,04
	0,1	0,33	1,62	1,95	0,15
Aufgabe gesiebt	0,71	29,41	8,20	14,31	4,10
	0,5	28,61	0,80	1,61	0,56
	0,315	29,33	1,39	3,72	1,32
	0,1	12,65	0,49	3,25	4,79

## Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen des Wendelscheiderversuchs, Stromklasse 3, Richards

SK 3			Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]		
Produkt	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
[mm]		[%]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	1,05	1,41	5,47	1,33
	0,5	15,93	0,34	2,67	3,95
	0,315	67,01	0,03	1,22	3,68
	0,1	16,01	0,05	0,33	9,80
Mittelgut	0,71	19,96	3,19	10,86	0,58
	0,5	53,39	2,21	10,27	1,66
	0,315	26,27	0,86	8,61	3,10
	0,1	0,38	0,26	0,81	1,39
Leichtgut	0,71	56,72	5,80	6,69	0,07
	0,5	39,07	5,86	6,85	0,09
	0,315	4,08	3,02	7,59	0,30
	0,1	0,12	0,35	0,35	0,14
Aufgabe gesiebt	0,71	27,74	6,48	8,91	0,33
	0,5	38,50	2,83	6,69	1,28
	0,315	28,66	0,42	4,10	3,90
	0,1	5,10	0,07	0,47	10,43

## Ergebnisse der Schwimm-Sink-Analysen des Wendelscheiderversuchs, Diagonaltrum, Betrieb

Betrieb DT			Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]		
Produkt	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
[mm]		[%]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	33,61	0,25	11,61	13,38
	0,5	12,97	1,21	7,60	16,96
	0,315	13,80	1,97	5,58	11,73
	0,1	39,63	1,31	2,26	2,26
Mittelgut	0,71	17,72	6,70	15,65	0,42
	0,5	17,87	8,85	12,23	1,37
	0,315	26,42	5,32	5,39	1,12
	0,1	37,99	4,27	3,83	0,66
Leichtgut	0,71	39,96	16,07	1,42	0,01
	0,5	24,04	11,88	1,96	0,02
	0,315	20,29	11,86	3,15	0,04
	0,1	15,70	12,07	4,37	0,07
Aufgabe gesiebt	0,71	29,48	14,21	11,35	3,70
	0,5	18,51	11,83	9,00	2,51
	0,315	19,83	5,96	4,76	1,41
	0,1	32,18	3,35	3,60	1,28

## Beprobung der Stromklassierversuche, Schwerspaterz

Trennschnitt 1		Feststoff- gehalt	Dichte	Maschenweite [mm]				
Produkt	Probe			Zeitpunkt	0,5	0,25	0,1	0
	[1]	[min]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Schwergut	1	9	54,03	4,100	66,63	32,99	0,11	0,26
	2	16	54,16	4,052	64,71	35,02	0,10	0,18
	3	22	54,41	4,165	67,67	32,06	0,11	0,15
	4	30	54,70	4,125	68,20	31,72	0,05	0,03
	5	42	54,58	4,071	70,91	28,89	0,07	0,13
	6	54	48,82	4,197	70,65	29,21	0,06	0,07
	7	63	54,71	4,081	71,34	28,33	0,09	0,23
Leichtgut	1	10	9,06	3,320	4,16	30,59	39,51	25,75
	2	17	11,01	3,297	12,94	32,54	32,91	21,61
	3	23	9,64	3,285	13,27	30,81	31,97	23,96
	4	31	7,47	3,297	6,26	31,30	37,54	24,91
	6	55	10,54	3,313	12,75	29,35	32,93	24,97

Trennschnitt 2		Feststoff- gehalt	Dichte	Maschenweite [mm]				
Produkt	Probe			Zeitpunkt	0,5	0,25	0,1	0
	[1]	[min]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Schwergut	1	5	51,03	3,389	19,58	53,47	26,71	0,24
	2	9	52,97	3,314	27,84	50,51	21,52	0,12
	3	15	50,69	3,410	26,26	51,31	22,33	0,10
	4	22	50,76	3,394	23,20	52,72	24,01	0,07
	5	32	50,30	3,480	19,73	54,76	25,47	0,04
	6	42	51,88	3,353	27,33	52,56	20,05	0,05
Leichtgut	1	6	15,50	3,315	0,00	5,93	45,90	48,17
	2	11	16,16	3,303	0,01	10,54	45,34	44,11
	3	17	13,35	3,300	0,01	8,70	46,44	44,85
	4	23	12,09	3,302	0,03	7,54	47,97	44,46
	5	33	14,02	3,287	0,03	11,46	48,70	39,82
	6	43	12,27	3,250	0,04	15,59	45,88	38,49

## Beprobung der Stromklassierversuche, Flußspaterz Diagonaltrum

Trennschnitt 1		Feststoff- gehalt	Dichte	Maschenweite [mm]			
Produkt Probe	Zeitpunkt			0,5	0,25	0,1	0
[1]	[min]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]
Schwergut	1 6	43,60	3,328	77,85	21,98	0,15	0,02
	2 14	44,13	3,258	77,51	22,28	0,18	0,02
	3 24	43,12	3,432	75,05	24,69	0,24	0,02
	4 34	44,94	3,372	78,51	21,34	0,13	0,01
	5 43	45,36	3,399	78,06	21,79	0,12	0,02
	6 55	44,66	3,249	80,34	19,49	0,13	0,04
Leichtgut	1 7	10,25	2,984	7,11	32,68	35,20	25,02
	2 15	8,92	2,975	5,03	31,06	36,28	27,63
	3 25	11,09	2,968	7,15	31,98	34,13	26,74
	4 35	9,57	2,941	9,24	35,25	32,39	23,12
	5 45	9,39	2,960	7,72	36,50	33,68	22,10
	6 56	6,18	2,961	9,38	39,73	30,36	20,54

Trennschnitt 2		Feststoff- gehalt	Dichte	Maschenweite [mm]			
Produkt Probe	Zeitpunkt			0,5	0,25	0,1	0
[1]	[min]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]
Schwergut	1 5	48,61	2,944	20,59	66,71	12,65	0,05
	2 11	46,77	2,922	23,56	63,88	12,51	0,05
	3 18	46,92	2,936	25,13	63,25	11,58	0,05
	4 26	45,12	2,981	17,07	63,47	18,92	0,53
	5 37	45,47	2,959	20,72	63,06	15,84	0,38
	6 45	51,83	2,890	28,17	60,09	11,66	0,07
Leichtgut	1 6	10,54	2,962	0,01	7,77	50,88	41,34
	2 12	10,04	2,950	0,02	10,36	50,72	38,90
	3 19	9,56	2,960	0,03	7,67	47,54	44,77
	4 27	12,58	2,981	0,01	4,97	46,56	48,46
	5 38	11,59	2,975	0,01	7,50	50,46	42,03
	6 46	11,42	2,952	0,02	11,50	49,81	38,67

## Beprobung der Stromklassierversuche, Flußspaterz Grün

Trennschnitt 1		Feststoff- gehalt	Dichte	Maschenweite [mm]				
Produkt	Probe			Zeitpunkt	0,5	0,25	0,1	0
[1]		[min]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Schwergut	1	6	41,37	3,266	71,95	27,79	0,23	0,03
	2	14	45,27	3,240	75,01	24,80	0,18	0,01
	3	24	43,23	3,216	83,98	15,93	0,07	0,02
	4	34	42,37	3,197	85,52	14,42	0,04	0,02
	5	43	43,76	3,235	82,14	17,77	0,07	0,02
	6	55	42,04	3,233	78,46	21,41	0,10	0,02
Leichtgut	1	7	8,26	3,034	2,55	31,04	36,88	29,53
	2	15	8,80	3,041	4,17	37,31	34,33	24,19
	3	25	9,21	3,046	5,56	38,64	36,68	19,12
	4	35	6,36	3,020	4,87	39,12	34,68	21,34
	5	45	8,55	3,024	3,20	34,89	37,30	24,62
	6	56	7,44	3,039	2,88	33,85	37,29	25,98

Trennschnitt 2		Feststoff- gehalt	Dichte	Maschenweite [mm]				
Produkt	Probe			Zeitpunkt	0,5	0,25	0,1	0
[1]		[min]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Schwergut	1	5	44,56	3,068	11,81	72,59	15,43	0,16
	2	10	44,83	3,047	14,53	73,38	11,95	0,14
	3	16	45,98	3,051	17,27	73,69	8,90	0,14
	4	25	46,37	3,055	16,09	75,21	8,65	0,05
	5	35	46,57	3,055	16,35	75,40	8,20	0,05
	6	44	46,90	3,025	20,24	73,75	5,93	0,08
Leichtgut	1	6	14,03	3,028	0,02	6,49	53,62	39,88
	2	12	15,08	3,025	0,03	9,97	51,65	38,35
	3	18	15,95	3,017	0,05	12,45	50,39	37,10
	4	26	15,22	3,020	0,02	10,56	50,34	39,08
	5	37	12,44	3,016	0,05	11,12	51,25	37,58
	6	45	9,62	3,000	0,03	11,57	52,12	36,28

## Schwimm-Sink-Analysen der Stromklassen, Reinerze

BaSO <sub>4</sub>		Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]			
Stromklasse	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3 >	3,3
	[mm]	[g] [g] [g] [g]			
Grobgut 1	0,71	416,73	1,3128	5,1384	11,2259
	0,5	687,21	0,1195	2,4434	12,4819
	0,315	457,87	0,0001	0,0779	10,4481
	0,1	35,12	0,0379	0,067	7,3535
	0	4,10			
Grobgut 2	0,71	73,43	8,4467	1,5479	0,0164
	0,5	290,49	6,405	4,5712	0,0843
	0,315	483,09	3,9782	4,4262	1,641
	0,1	599,88	0,3212	1,5865	9,4381
	0	2,88			
Feingut	0,71	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	0,65	0,4989	0,0441	0,0001
	0,315	49,70	6,6707	1,3908	0,0087
	0,1	932,27	2,4676	1,6334	1,594
	0	718,54			

Diagonaltrum		Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]			
Stromklasse	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3 >	3,3
	[mm]	[g] [g] [g] [g]			
Grobgut 1	0,71	610,3	4,7687	3,6775	1,5709
	0,5	748,59	3,1174	6,1819	3,4575
	0,315	310,68	0,0714	4,7825	12,1055
	0,1	48,63	0,0972	0,1798	10,4814
	0	2,30			
Grobgut 2	0,71	17,83	6,9546	0,3649	0,0028
	0,5	309,13	6,5144	0,8412	0,0015
	0,315	713,39	6,1535	3,4485	0,1195
	0,1	428,08	1,3403	2,7475	3,0406
	0	4,65			
Feingut	0,71	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,315	20,91	4,8263	0,7168	0,0054
	0,1	901,13	4,3193	2,4508	0,4865
	0	648,29			

Grün		Dichteklasse [g/cm <sup>3</sup> ]			
Stromklasse	Maschenweite	Masse	< 2,7	2,7/ 3,3	> 3,3
	[mm]	[g] [g] [g] [g]			
Grobgut 1	0,71	326,12	2,4262	8,6904	0,9352
	0,5	630,26	1,6490	8,5085	1,0482
	0,315	183,35	0,0810	6,0978	4,2149
	0,1	20,68	0,0486	0,3068	5,9880
	0	1,64			
Grobgut 2	0,71	13,70	2,3499	2,8554	0,0078
	0,5	242,93	4,2882	3,8660	0,0102
	0,315	930,91	2,2576	5,9701	0,0701
	0,1	407,92	0,6218	6,1896	2,1234
	0	4,69			
Feingut	0,71	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	0,70	0,3861	0,2105	0,0003
	0,315	39,96	2,8364	3,0690	0,0103
	0,1	796,40	1,2939	2,8387	0,1717
	0	477,34			

## Schwimm-Sink-Analysen der Wendelscheiderprodukte, Schwerspaterz

BaSO <sub>4</sub>	Grobgut 1		Dichteklassen [g/cm <sup>3</sup> ]			
	Produkt Masche	nweite	Masse		< 2,7 2,7/3,3 >	3,3
	[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	
Schwergut	0,71	92,73		0,5094	2,3231	10,4925
	0,5	265,54		0,0346	0,7834	10,0457
	0,315	375,37		0,0010	0,0310	10,3688
	0,1	25,50		0,0427	0,0881	8,6842
Mittelgut	0,71	172,04		0,3696	2,4972	8,5400
	0,5	245,46		0,0575	1,8406	8,9608
	0,315	99,24		0,0052	0,1803	9,3577
	0,1	3,14		0,0636	0,1197	2,9787
Leichtgut	0,71	164,06		1,7156	5,1160	5,0386
	0,5	130,51		0,3258	3,7028	9,0303
	0,315	44,29		0,0178	0,1579	9,6444
	0,1	1,07		0,0524	0,0947	0,9185

BaSO <sub>4</sub>	Grobgut 2		Dichteklassen [g/cm <sup>3</sup> ]			
	Produkt Masche	nweite	Masse		< 2,7 2,7/3,3 >	3,3
	[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	
Schwergut	0,71	2,02		1,7091	0,2871	0,0112
	0,5	7,56		4,0505	3,3244	0,1616
	0,315	41,08		0,6278	1,1589	4,0883
	0,1	416,73		0,0069	0,0934	4,6302
Mittelgut	0,71	12,04		5,5664	1,4154	0,0147
	0,5	130,6		4,0493	5,4279	0,1257
	0,315	386,03		3,5232	4,8911	1,8022
	0,1	264,03		0,5171	2,2981	3,8455
Leichtgut	0,71	61,57		7,4595	1,4156	0,0205
	0,5	155,35		7,0593	2,7221	0,0324
	0,315	102,07		4,6383	2,6004	0,2775
	0,1	21,76		0,5938	0,9539	2,1275

## Schwimm-Sink-Analysen der Wendelscheiderprodukte, Flußspaterz Diagonaltrum

Diagonaltrum	Grobgut 1		Dichteklassen [g/cm <sup>3</sup> ]			
	Produkt Masche	nweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
	[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	39,82		2,2878	3,5669	8,6689
	0,5	151,27		0,2546	3,3034	10,5534
	0,315	255,78		0,0043	1,0094	12,4282
	0,1	52,15		0,0571	0,1172	12,6772
Mittelgut	0,71	118,36		6,8722	9,8108	6,1996
	0,5	206,49		2,9140	10,3722	6,3250
	0,315	69,23		0,1000	7,2738	13,0054
	0,1	3,36		0,1081	0,2052	3,0679
Leichtgut	0,71	265,63		10,6657	4,8335	0,5070
	0,5	145,61		9,6269	9,7758	1,0377
	0,315	7,94		0,3817	6,3983	1,2530
	0,1	0,25		0,1238	0,1191	0,0670

Diagonaltrum	Grobgut 2		Dichteklassen [g/cm <sup>3</sup> ]			
	Produkt Masche	nweite	Masse	< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
	[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	0,63		0,6151	0,0289	0,0005
	0,5	11,91		10,5229	1,3796	0,0270
	0,315	41,65		4,5073	3,8693	1,5113
	0,1	393,12		0,1440	0,8500	7,4021
Mittelgut	0,71	0,49		0,4737	0,0244	0,0000
	0,5	41,66		10,2298	1,7193	0,0104
	0,315	213,33		5,7625	4,0481	0,1265
	0,1	125,7		1,7669	3,3112	0,9565
Leichtgut	0,71	12,43		7,2505	0,3691	0,0034
	0,5	158,97		9,4972	0,7237	0,0055
	0,315	144,61		7,6194	1,4484	0,0120
	0,1	13,01		4,2755	1,2442	0,0381

## Schwimm-Sink-Analysen der Wendelscheiderprodukte, Flußspaterz Grün

Diagonaltrum	Grobgut 1		Masse	Dichteklassen [g/cm <sup>3</sup> ]		
	Produkt Masche	nweite		< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
	[mm]		[g]	[g]	[g]	[g]
Schwergut	0,71	31,62	1,0405	8,6987	8,1312	
	0,5	168,25	0,4342	10,3007	9,0754	
	0,315	243,24	0,0133	3,6742	11,2744	
	0,1	54,83	0,0500	0,2448	11,4702	
Mittelgut	0,71	129,91	2,3013	12,6059	1,6410	
	0,5	233,56	1,8170	12,6537	1,6536	
	0,315	53,27	0,2117	12,1216	3,8946	
	0,1	1,25	0,0525	0,2846	0,9439	
Leichtgut	0,71	338,15	6,0612	8,2943	0,0548	
	0,5	174,00	6,0365	8,0284	0,0662	
	0,315	4,14	0,5955	3,4958	0,1084	
	0,1	0,42	0,1475	0,2309	0,0599	

Diagonaltrum	Grobgut 2		Masse	Dichteklassen [g/cm <sup>3</sup> ]		
	Produkt Masche	nweite		< 2,7	2,7/3,3	> 3,3
	[mm]		[g] [g] [g] [g]			
Schwergut	0,71	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	0,29	0,1353	0,1695	0,0020	
	0,315	10,15	0,6353	8,8453	0,6747	
	0,1	100,07	0,0653	2,3638	4,4675	
Mittelgut	0,71	0,33	0,1978	0,1422	0,0024	
	0,5	26,90	5,4432	5,0712	0,0135	
	0,315	195,42	2,8725	7,6153	0,0613	
	0,1	106,76	1,2534	9,1183	0,6518	
Leichtgut	0,71	7,99	3,5528	4,3886	0,0123	
	0,5	76,51	4,8479	3,5472	0,0115	
	0,315	61,20	5,1992	4,0197	0,0197	
	0,1	2,80	1,2554	1,5143	0,0248	