



Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung

Masterarbeit



Systematische Untersuchungen zur
Triboelektrostatischen Sortierung und
Beeinflussung der Oberflächenladung
ausgewählter Industriemineralproben

Angelika Cornelia Luckeneder, BSc

September 2020



EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

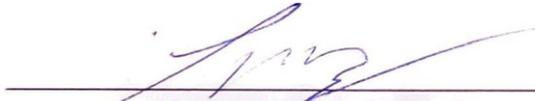
Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen

Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 08.09.2020



Unterschrift Verfasser/in
Angelika Cornelia, Luckeneder

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei Univ.- Prof. Dr. mont. Helmut Flachberger bedanken, der mir das Verfassen dieser Masterarbeit ermöglicht hat.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Dipl. – Ing. Sabrina Gehringer für die Betreuung und Unterstützung während des gesamten Projektes.

ABSTRACT

In the course of this master thesis, different raw material samples were sorted with a dry processing method, the triboelectrostatic belt separation. The selected raw material samples are

- Crude salt
- Magnesium oxide
- Raw magnesite
- Gulsenite

The paper presents an overview of the sorting successes of the different types of raw materials, which were achieved by separation in an electrostatic field. The sorting was carried out with a triboelectrostatic belt separator on a laboratory scale (type STET X2), which is located in a climatic chamber at the Chair of Mineral Processing.

For each type of raw material, a suitable experimental plan was compiled and used for the execution of the sorting tests. The basis for the preparation of the plans was the experience of previous projects at the Chair of Mineral Processing. These test plans include different machine and raw material parameters as well as environmental conditions. During the execution of the tests, these parameters were specifically changed as specified in the plans, with each individual test being carried out at least twice. With this targeted variation, the best or worst possible settings and general conditions for electrostatic sorting should be determined.

The triboelectrostatic charging of the raw material prior to the separation process is an important parameter for the improvement of the charging success and subsequently the sorting success. Up to now, the possibilities in this respect have been limited, which is why the Chair of Mineral Processing has developed a fluidized bed unit with the aim of increasing the triboelectrostatic charge. In the course of this work, the fluid bed unit was commissioned at the plant manufacturer.

KURZFASSUNG

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden verschiedene Rohgutproben mit einem trockenen Aufbereitungsverfahren, der triboelektrostatischen Bandscheidung, sortiert. Bei den ausgewählten Rohgutproben handelt es sich um:

- Rohsalz
- Magnesiumoxid
- Rohmagnesit
- Gulsenit

Die verfasste Arbeit stellt einen Überblick über die bei den vorgenannten Rohgutarten erzielten Sortiererfolge dar, welche mit der Trennung im elektrostatischen Feld erzielt wurden. Die Sortierung erfolgte mit einem triboelektrostatischen Bandscheider im Labormaßstab (Typ STET X2), welcher sich in einer Klimakammer im Aufbereitungstechnikum des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung befindet.

Für jede Rohgutart wurde ein passender Versuchsplan zusammengestellt und für die Durchführung der Sortierversuche angewendet. Die Basis für die Erstellung der Pläne bildeten die Erfahrungen vorangegangener Projekte am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung. Diese Versuchspläne beinhalteten unterschiedliche Maschinen- und Rohgutparameter, sowie Umgebungsbedingungen. Bei der Versuchsdurchführung wurden diese Parameter, wie in den Plänen festgelegt, gezielt verändert. Dabei wurde jeder einzelne Versuch mindestens zweimal durchgeführt. Mit dieser gezielten Variation sollten die Einflüsse unterschiedlicher Einstellungen und Umgebungsbedingungen auf den Sortiererfolg ermittelt werden.

Ein wichtiger Parameter für die Verbesserung des Aufladeerfolgs und in weiterer Folge des Sortiererfolgs, stellt die dem Trennprozess vorangehende triboelektrostatische Aufladung des Rohgutes dar. Bislang waren die Möglichkeiten diesbezüglich begrenzt, weshalb vom Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung eine triboelektrostatische Aufladeeinheit mit Wirbelschichtreaktor entwickelt wurde, mit dem Ziel, die triboelektrostatische Aufladung zu verstärken bzw. zu kontrollieren. Im Zuge dieser Arbeit erfolgte die Inbetriebnahme der triboelektrostatischen Aufladeeinheit mit Wirbelschichtreaktor beim Anlagenhersteller.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Motivation für die Durchführung der Arbeit.....	10
2. Aufgabenstellung	12
3. Zusammenfassung.....	13
4. Grundlagen der Elektrostatischen Sortierung	16
4.1. Physikalische Grundlagen	17
4.1.1. Energiebändermodell	19
4.2. Ladungserzeugung.....	20
4.2.1. Kontaktpolarisation	20
4.2.2. Aufladung im Koronafeld	22
4.2.3. Triboelektrostatische Aufladung	23
4.3. Apparatebeschreibung.....	24
4.3.1. Elektrostatische Walzenscheider.....	24
4.3.2. Kammerscheider	25
4.3.3. Bandscheider	27
5. Methodik der Versuchsauswertung.....	29
5.1. Grundbegriffe der statistischen Versuchsplanung	29
5.1.1. Systemgrenzen	29
5.1.2. Parameter und Faktoren.....	30
5.1.3. Stufen.....	30
5.1.4. Effekt.....	30
5.2. Traditioneller Versuchsplan.....	31
5.3. Statistischer Versuchsplan	33
5.4. Versuchspläne	33
5.4.1. Teilfaktorieller Versuchsplan	34

5.4.2.	Vollfaktorieller Versuchsplan	34
5.4.3.	Festlegung von reduzierten vollfaktoriellen Versuchsplänen	35
5.4.4.	Teilfaktorieller Versuchsplan zur Überprüfung von fünf Faktoren	36
5.5.	Auswertung der Ergebnisse	38
5.5.1.	Auswertung anhand der Mittelwerte.....	38
5.5.2.	Auswertung mit der Varianzanalyse.....	38
5.6.	Auswertung mittels Effektdiagramm	41
6.	Einführung in die Wirbelschichttechnik	42
6.1.	Theoretische Grundlagen.....	42
6.1.1.	Wirbelschichtarten	43
6.1.2.	Zustandsbereiche der Wirbelschichttechnik.....	45
6.1.3.	Feststoffverhalten in Gas- Feststoff Wirbelschichten	47
7.	Versuche am Bandscheider.....	49
7.1.	Untersuchungen am Bandscheider mit unterschiedlichen Parametern	50
7.1.1.	Maschinenparameter	50
7.1.2.	Äußere Parameter	51
7.2.	Rohsalz	52
7.2.1.	Rohgutcharakteristik	52
7.2.2.	Versuchsbeschreibung.....	53
7.2.3.	Versuchsauswertung	54
7.2.4.	Resümee	56
7.3.	Magnesiumoxid.....	57
7.3.1.	Rohgutcharakteristik	57
7.3.2.	Versuchsbeschreibung.....	58
7.3.3.	Versuchsauswertung	59

7.3.4.	Beurteilung anhand der Mittelwerte.....	60
7.3.5.	Varianzanalyse.....	61
7.3.6.	Effektdiagramme	62
7.3.7.	Resümee	63
7.4.	Rohmagnesit	64
7.4.1.	Rohgutcharakteristik	64
7.4.2.	Versuchsbeschreibung.....	65
7.4.3.	Versuchsauswertung	67
7.4.4.	Beurteilung anhand der Mittelwerte.....	68
7.4.5.	Varianzanalyse.....	70
7.4.6.	Effektdiagramme	70
7.4.7.	Resümee	73
7.5.	Gulsenit.....	74
7.5.1.	Rohgutcharakteristik	74
7.5.2.	Versuchsbeschreibung.....	75
7.5.3.	Versuchsauswertung	77
7.5.4.	Beurteilung anhand der Mittelwerte.....	78
7.5.5.	Varianzanalyse.....	80
7.5.6.	Effektdiagramme	81
7.5.7.	Resümee	83
8.	Ausblick: Inbetriebnahme einer triboelektrostatischen Aufladeeinheit,	
	ausgeführt als Wirbelschichteinheit.....	84
8.1.	Funktionsbeschreibung der Wirbelschichteinheit.....	84
8.2.	Aufbau der triboelektrostatischen Aufladeeinheit.....	86
8.3.	Bedienung und Betrieb der triboelektrischen Aufladeeinheit.....	88

8.3.1.	Inbetriebnahme und Arbeitsweise	89
8.3.2.	Versuchsdurchführung	90
8.3.3.	Häufig auftretende Fehler	91
9.	Abbildungsverzeichnis	92
10.	Tabellenverzeichnis.....	93
11.	Diagrammverzeichnis	99
12.	Formelverzeichnis	101
13.	Abkürzungsverzeichnis	102
14.	Literaturverzeichnis.....	103
14.1.	weiterführendes Literaturverzeichnis	106
15.	Anhang	107
15.1.	Varianzanalyse.....	107
15.2.	Rohsalz	108
15.2.1.	Versuchsplan und Einstellungen	108
15.2.2.	Rohsalzaufgabe	109
15.2.3.	Bandscheider: Versuchsprotokolle	110
15.2.4.	Auswertung und Analyse	111
15.3.	Magnesiumoxid.....	113
15.3.1.	Versuchsplan und Einstellungen	113
15.3.2.	Bandscheider: Versuchsprotokolle	114
15.3.3.	Auswertung und Analyse	115
15.3.4.	Beurteilung anhand der Mittelwerte.....	116
15.3.5.	Varianzanalyse.....	117
15.3.6.	Effektdiagramme	122
15.4.	Rohmagnesit	125

15.4.1. Versuchsplan und Einstellungen	125
15.4.2. Bandscheider: Versuchsprotokolle	126
15.4.3. Auswertung und Analyse	130
15.4.4. Beurteilung anhand der Mittelwerte.....	132
15.4.5. Varianzanalyse.....	134
15.4.6. Effektdiagramme	140
15.5. Gulsenit.....	142
15.5.1. Rohgutcharakteristik	142
15.5.2. Versuchsplan und Einstellungen	142
15.5.3. Bandscheider: Versuchsprotokolle	143
15.5.4. Auswertung und Analyse	147
15.5.5. Beurteilung anhand der Mittelwerte.....	149
15.5.6. Varianzanalyse.....	151
15.5.7. Effektdiagramme	157
15.6. Wirbelschichteinheit Übersichtspläne	159

1. MOTIVATION FÜR DIE DURCHFÜHRUNG DER ARBEIT

Mineralische Rohstoffe sind der Motor einer funktionierenden Wirtschaft. Eine kontinuierliche Versorgung durch Rohstoffe unter fairen Marktbedingungen ist unerlässlich für Wohlstand, Sicherheit und Gesundheit im Industrieland Österreich. Ein Teil der jährlich gewonnenen und dringend benötigten Rohstoffe stammt aus heimischen Lagerstätten. Somit ist die Eigenversorgung in gewissen Bereichen ganz oder zumindest zum Teil gedeckt. Die Bedarfsdeckung bei Metallen, einigen Industriemineralen und Energierohstoffen ist jedoch nicht gegeben, in diesen Segmenten ist die Republik Österreich stark von Importen abhängig. [1]

Der globale Rohstoffbedarf hat sich in den letzten 20 Jahren verändert. Um das Jahr 2000 haben 25 % der Weltbevölkerung 70- 80 % der Rohstoffe für sich beansprucht. Durch das Aufstreben von Schwellen- und Entwicklungsländern steigt der Rohstoffbedarf seit 20 Jahren kontinuierlich an. Grund dafür sind unter anderem das weltweite Wirtschaftswachstum, steigende Bevölkerungszahlen und der technische Wandel. Die Konkurrenz am globalen Rohstoffmarkt sorgt für eine veränderte Nachfrage und somit zu einem Preisanstieg der mineralischen Rohstoffe. [2]

Laut World Mining Data 2019 wurden 1985 weltweit 9,6 Milliarden Tonnen an Wertmineralen gefördert (jeweils ohne die Gruppe der Baurohstoffe wie Steine und Erden). Im Jahr 2000 waren es 11,3 Milliarden Tonnen und 2017 bereits 17,2 Milliarden Tonnen, davon nur 1,45 Milliarden Tonnen in Europa. [3]

Um die Rohstoffversorgung in Österreich zu gewährleisten, müssen die ökologischen, gesellschaftlichen und politischen Aspekte der globalen Rohstoffpolitik kontinuierlich hinterfragt werden.

Auf Grund der global steigenden Nachfrage an mineralischen Rohstoffen werden Forschungsarbeiten entlang des gesamten Wertschöpfungskreislaufes „vom (primären) Rohstoff, zum Werkstoff, zum Reststoff und wiederum zum (sekundären) Rohstoff“ weltweit durchgeführt. Ziel dabei ist es, die zur Verfügung stehenden primären und sekundären Rohstoffe umweltschonend, ressourcenschonend und mit einem geringeren Energieverbrauch durch innovative Prozesse zu verarbeiten. [2]

Auch aufgrund der steigenden Qualitätsanforderungen an mineralische Rohstoffkonzentrate, speziell im Sektor der Industriemineralien, ist es unerlässlich, nach neuen Wegen zu suchen, um Rohstoffe effizient aufzubereiten. [4]

Die Motivation dieser Masterarbeit ist es, unterschiedliche Industriemineralien aus europäischen Lagerstätten durch elektrostatische Sortierung effizient und ressourcenschonend aufzubereiten und dadurch eine umweltschonendere Alternative zur Nassaufbereitung im fein und feinstdispersen Korngrößenbereich zu ermöglichen.

2. AUFGABENSTELLUNG

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der trockenen Sortierung von mineralischen Rohgütern aus der Gruppe der Industrieminerale. Im Zuge der Versuche werden Rohsalz, Gulsenit, Magnesiumoxid und Rohmagnesit auf ihre Sortierbarkeit im elektrostatischen Feld untersucht. Als Sortierapparat wird ein triboelektrostatischer Bandscheider (Typ STET X2) eingesetzt.

Ziel ist es, jene Prozessbedingungen zu ermitteln, welche zum bestmöglichen Trennerfolg führen. Die systematischen Parameterstudien für die unterschiedlichen Rohgutproben werden auf Basis von Erfahrungen aus vorangegangenen Elektroscheidungsprojekten am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung festgelegt. Dabei werden die Grundsätze der statistischen Versuchsplanung berücksichtigt, um die vielversprechendsten Versuchseinstellungen zu ermitteln.

Aufgrund der bisher begrenzten Möglichkeit, die triboelektrostatische Aufladung der Rohgüter zu beeinflussen und quantitativ zu erfassen, wurde ein Wirbelschichtreaktor entworfen, welcher als triboelektrostatische Aufladeeinheit dient. Im Zuge dieser Arbeit soll die Inbetriebnahme des Wirbelschichtreaktors beim Anlagenhersteller erfolgen.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden Rohsalz, Magnesiumoxid, Rohmagnesit und Gulsenit mittels Elektroscheidung trocken sortiert. Als Sortierapparat wurde ein triboelektrostatischer Bandscheider der Firma ST Equipment & Technology LLC der Type X2 eingesetzt. Die Versuche wurden auf Basis der für die verschiedenen Rohgutarten angepassten Versuchspläne, nach den Grundsätzen der statistischen Versuchsplanung durchgeführt.

Bei der Rohsalzprobe handelt es sich um ein Rohgut der Firma Salinen Austria AG. Die Aufgabekorngröße betrug $100 [\%] < 500 [\mu\text{m}]$. Es wurden die Einflüsse der Parameter „Rohguttemperatur der Aufgabe“ und „relative Luftfeuchte“ untersucht. Die Versuche ergaben, dass eine erhöhte Rohguttemperatur der Aufgabe zu einem verbesserten Sortiererergebnis führt. Die relative Luftfeuchte darf die sogenannte Deliqueszenzfeuchte von $75 [\%]$ nicht überschreiten, da es sonst zu einem oberflächlichen Auflösen des Rohsalzes und zur Solebildung kommt.

Das Magnesiumoxid wurde von der Firma Styromag Steirische Magnesitindustrie GmbH zur Verfügung gestellt. Die Versuche bauen auf bereits abgeschlossenen Versuchsreihen auf, die am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung durchgeführt wurden. Es wurden die Einflüsse der Parameter „Rohguttemperatur der Aufgabe“ und „relative Luftfeuchte“ untersucht. Die Versuche ergaben, dass eine niedrige Luftfeuchte von $25 [\%]$ und eine hohe Rohguttemperatur von $65 [^{\circ}\text{C}]$ zu einem verbesserten Gehalt und maximalem Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat führten. Dabei hat die relative Luftfeuchte einen größeren Einfluss auf das Sortiererergebnis als die Rohguttemperatur.

Der Rohmagnesit wurde ebenfalls von der Firma Styromag Steirische Magnesitindustrie GmbH zur Verfügung gestellt. Es wurden die Maschinenparameter „angelegte Spannung“, „Elektrodenabstand“, „Bandgeschwindigkeit“, „Polarität der Kopfelektrode“ und „Aufgaberate“ hinsichtlich ihres Einflusses auf das Trennergebnis untersucht. Die Versuche ergaben, dass eine hohe angelegte Spannung von $6 [\text{kV}]$, ein geringer Elektrodenabstand von $9 [\text{mm}]$, eine hohe Bandgeschwindigkeit von $32,5 [\text{fps}]$, eine geringe Aufgaberate von 5 (von $10 [-]$) und eine positive

Kopfelektrodenpolarität zu einer vielversprechenden Konzentratqualität hinsichtlich Gehalte und Inhaltsausbringen von CaO, MgO, SiO₂ und HCL unl. führen.

Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
32,5	9	6	positiv	5

Tabelle 1: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Rohmagnesit

Die Bandgeschwindigkeit, die Polarität der Kopfelektrode und die Aufgaberate haben einen größeren Einfluss auf das Sortierergebnis als die angelegte Spannung und der Abstand der Elektroden. Ebenfalls eine Rolle spielen die Wechselwirkung zwischen der Bandgeschwindigkeit und der Polarität der Kopfelektrode und die Wechselwirkung zwischen der Bandgeschwindigkeit und der Aufgaberate.

Der Gulsenit wurde auch von der Firma Styromag Steirische Magnesitindustrie GmbH zur Verfügung gestellt. Es wurden die Maschinenparameter „angelegte Spannung“, „Elektrodenabstand“, „Bandgeschwindigkeit“, „Polarität der Kopfelektrode“ und „Aufgaberate“ hinsichtlich ihres Einflusses auf das Trennergebnis untersucht. Die Versuche ergaben, dass eine hohe angelegte Spannung von 6 [kV], eine niedrige Bandgeschwindigkeit von 17 [fps], eine geringe Aufgaberate von 5 (von 10 [-]), ein geringer Elektrodenabstand von 9 [mm] und eine positive Polarität der Kopfelektrode zu einem vielversprechenderen Konzentrat hinsichtlich der Gehalte und Inhaltsausbringen von CaO, MgO und HF unl. führen.

Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
17	9	6	positiv	5

Tabelle 2: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Gulsenit

Den stärksten Einfluss auf das Sortierergebnis von Gulsenit hat die Polarität der Kopfelektrode. Sowohl die Wechselwirkung zwischen der Bandgeschwindigkeit und der Polarität der Kopfelektrode als auch die Wechselwirkung zwischen der Bandgeschwindigkeit und der Aufgaberate üben einen nennenswerten Einfluss auf das Sortierergebnis aus.

Für die Verbesserung der triboelektrostatischen Aufladung wurde ein Wirbelschichtreaktor entworfen, welcher im Zuge dieser Masterarbeit beim Anlagenhersteller in Betrieb genommen wurde.

4. GRUNDLAGEN DER ELEKTROSTATISCHEN SORTIERUNG

Elektrische Ladungen stehen miteinander in Wechselwirkung. Gleichsinnige Ladungen stoßen einander ab, gegensinnige Ladungen ziehen einander an. Diese Interaktion zwischen den Teilchen wird elektromagnetische Wechselwirkung genannt und ist eine Grundkraft der Physik. [5]

Durch die unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften von Rohgütern ist eine Sortierung im elektrischen Feld möglich, diese wird als elektrostatische Sortierung bezeichnet. Dabei handelt es sich um ein trockenes Sortierverfahren, welches in vielen Sparten der Rohstoffaufbereitung Anwendung findet. Hierbei spielen die Oberflächenleitfähigkeit bzw. der spezifische Ladungsunterschied der einzelnen Bestandteile eine entscheidende Rolle. Die Größe der Ladungen und deren Vorzeichen bestimmen über den Sortiererfolg. [6]

Die Sortierung im elektrostatischen Feld kann in drei Abschnitte unterteilt werden. Im ersten Schritt erfolgt das Aufladen der Körneroberflächen mit unterschiedlichen elektrischen Ladungsträgern. Im Anschluss erfolgt das Einbringen des zu sortierenden Rohgutes in ein elektrostatisches Spannungsfeld. Durch das elektrostatische Feld werden die geladenen Körner in ihrer Bewegungsbahn beeinflusst. Der Abschluss stellt die Sortierung der Produkte nach ihren elektrischen Eigenschaften dar. [6]

Durch die Bestimmung der unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften der zu sortierenden Rohgüter wird der Auflademechanismus und der entsprechende Sortierapparat ausgewählt. Das Aufladen der Körner erfolgt in den meisten Fällen mittels Kontaktpolarisation, Aufladung im Koronafeld oder triboelektrischer Aufladung. [7]

Die aktuell handelsüblichen Elektroscheider sind der elektrostatische Walzenscheider, der Kammer- oder Freifallscheider und der Bandscheider. Bei allen Sortierapparaten kommen Hochspannungselektroden zur Erzeugung eines elektrischen Feldes mit hoher Feldstärke zum Einsatz. [7]

4.1. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Elektrische Ladungen üben Kräfte aufeinander aus. Als Grundlage für die Elektroscheidung, welche die unterschiedlichen Ladungen der beteiligten Rohgüter ausnutzt, dient das Coulombsche Gesetz. Dieses Gesetz beschreibt jene Kraft F_c , die zwei, voneinander im Abstand r befindliche Punktladungen q_1 und q_2 aufeinander ausüben: [5]

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Formel 1: Coulombsches Gesetz

Bei ϵ_0 handelt es sich um die elektrostatische Feldkonstante, deren Wert $8,8542 \cdot 10^{-12}$ [As/Vm] beträgt. [5]

Für die Sortierung im elektrostatischen Feld spielen zwei Sonderfälle des Coulombschen Gesetzes eine wesentliche Rolle, welche in der folgenden Abbildung schematisch abgebildet sind und im Anschluss daran erklärt werden:

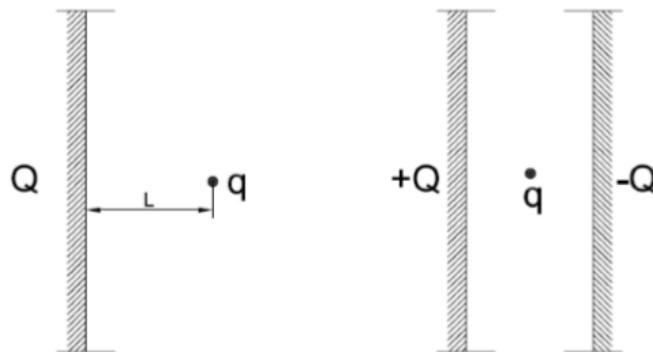


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Sonderfälle des Coulombschen Gesetzes [8]

1. Es wird angenommen, dass eine Punktladung q einer Fläche A gegenübersteht. Das Flächenstück trägt die Ladung Q und steht im Abstand l zur Punktladung. Daraus folgt:

$$F = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} q \frac{Q}{A}$$

Formel 2: Sonderfall 1 des Coulombschen Gesetzes

2. Eine Punktladung q befindet sich zwischen zwei Ebenen, die unterschiedlich geladen sind. Daraus ergibt sich die Beziehung:

$$F = \frac{1}{\epsilon_0} q \frac{Q}{A}$$

Formel 3: Sonderfall 2 des Coulombschen Gesetzes

Der Sonderfall 1 spiegelt die physikalische Grundlage der Arbeitsweise des Walzenscheiders wider. Die Punktladung stellt das Rohgutkorn dar, die gegenüberstehende Fläche ist die Oberfläche der Walze. Beim Freifallscheider und Bandscheider spielt der zweite Sonderfall eine wesentliche Rolle. Die zwei Ebenen stellen die beiden Starkstromelektroden dar, zwischen denen sich das Rohgut durchbewegt. [6]

Die Arten der Ladungserzeugung bestimmen die Auswahl des Sortierapparates. Das jeweilige Verfahren zur Ladungserzeugung muss auf den Trennapparat abgestimmt sein, um einen erfolgreichen Sortiereffekt zu erzielen. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwei Methoden der Ladungserzeugung, welche durch unterschiedliche Verfahren erzeugt werden können: [6]

1. Die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit der Körner
2. Das Erzeugen von Oberflächenladungen durch Reibung bzw. Kontakt der Körner auf Grund von Unterschieden in der Aufladbarkeit

Aufgrund der Wirtschaftlichkeit und der technischen Umsetzung haben sich vor allem drei Arten der Auflademethoden durchgesetzt, die im Kapitel 4.2 Ladungserzeugung ab Seite 20 näher beschrieben werden.

4.1.1. ENERGIEBÄNDERMODELL

Für die Wahl der Auflademethodik müssen die elektrischen Eigenschaften der zu sortierenden Rohgüter bekannt sein. Dabei wird bei festen Stoffen zwischen Leiter, Halbleiter und Nichtleiter unterschieden. Anhand des sogenannten quantenmechanischen Energiebändermodells lässt sich die Leitfähigkeit fester Stoffe beschreiben.

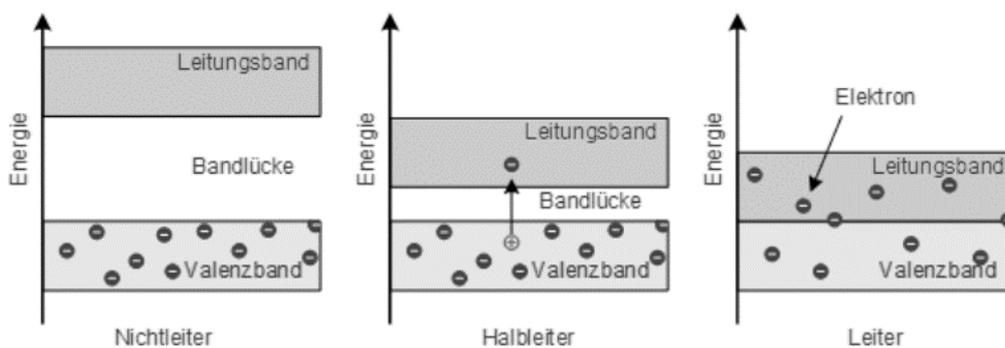


Abbildung 2: Relative Lage der Valenz- und Leitungsbander bei Nichtleitern, Halbleitern und Leitern [9]

Liegen Atome eng genug beisammen, stehen sie miteinander in Wechselwirkung. Im Energiebändermodell werden Energiezustände von äußeren Elektronen beschrieben. Ähnelt sich das Energieniveau der Elektronen, werden sie zu sogenannten Energiebändern zusammengefasst. Elektronen, die an der Leitung teilnehmen, befinden sich in energetisch höheren Bändern als jene, die nicht teilnehmen. Das oberste Band, das vollständig mit Elektronen besetzt ist, heißt Valenzband. Das Band, welches nicht mehr vollständig besetzt ist, heißt Leitungsband und trägt zur elektrischen Leitfähigkeit bei. [5]

Die Breite der Bänder hängt davon ab, wie stark das jeweilige Elektron an das Atom gebunden ist. Ist das Band schmal, herrscht eine geringe Wechselwirkung mit dem benachbarten Atom vor. Das Elektron ist durch das niedrige Energieniveau stark an das eigene Atom gebunden. Bei einem dickeren Band ist es genau umgekehrt. [5]

Durch das quantenmechanische Energiebändermodell lassen sich die Unterschiede zwischen Leiter, Halbleiter und Nichtleiter erklären. [5]

Bei einem Leiter ist das Valenzband nur teilweise gefüllt. Somit ist das Valenzband auch gleichzeitig das Leitungsband. Es gibt viele unbesetzte Energiezustände und Elektronen können mittels elektrischer Felder leicht in energetisch höhere Zustände angehoben werden, was die elektrische Leitfähigkeit ermöglicht. Valenzband und Leiterband überlappen bzw. berühren sich dabei, wie es in der Abbildung 2 auf Seite 19 ersichtlich ist. [5]

Bei einem Nichtleiter ist das Valenzband vollständig gefüllt. Es herrscht eine große energetische Lücke bis zum nächsten Band, die die Elektronen nicht überwinden können. Das Leiterband bleibt unbesetzt. [5]

Bei einem Halbleiter ist diese Lücke geringer. Durch Energieeintrag (z.B. Temperaturanstieg) können Elektronen angeregt werden und diese Lücke überwinden. [5]

4.2. LADUNGSERZEUGUNG

Die derzeit technisch und wirtschaftlich relevanten Auflademethoden für die Elektroscheidung sind

- die Aufladung durch Kontaktpolarisation,
- die Aufladung im Koronafeld und
- die triboelektrostatische Aufladung,

welche nachfolgend beschrieben werden. [6]

4.2.1. KONTAKTPOLARISATION

Mit Hilfe der Kontaktpolarisation lassen sich bei der Leiter-/Nichtleiter-Trennung Körner aufladen. Dabei liegen die Körner auf einer Metallplatte und sind dem elektrischen Feld einer Gegenelektrode ausgesetzt: [6] [7]

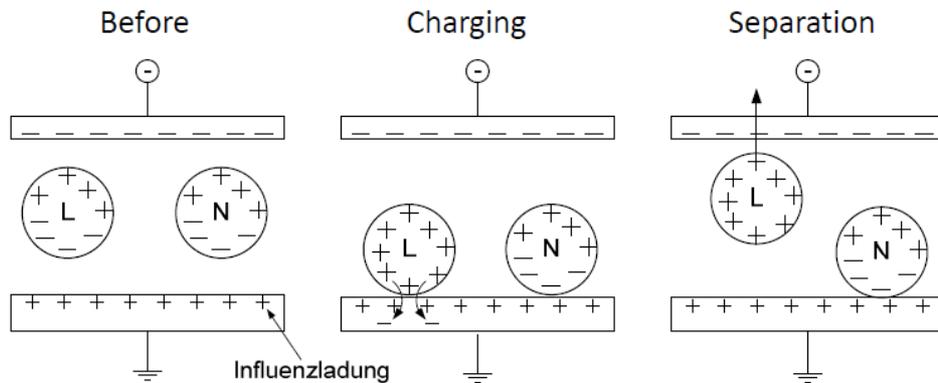


Abbildung 3: Prinzipskizze der Kontaktpolarisation [10]

Handelt es sich bei den Körnern um Leiter, nehmen sie das Potenzial der geerdeten Elektrode an und die gegensinnige Ladung fließt über das Metall ab. Durch die dadurch entstehende, selbe Polarität von Korn und Metall kommt es zu einer translatorischen Kraft, welche das Korn vom Metall abstößt. [6] [7]

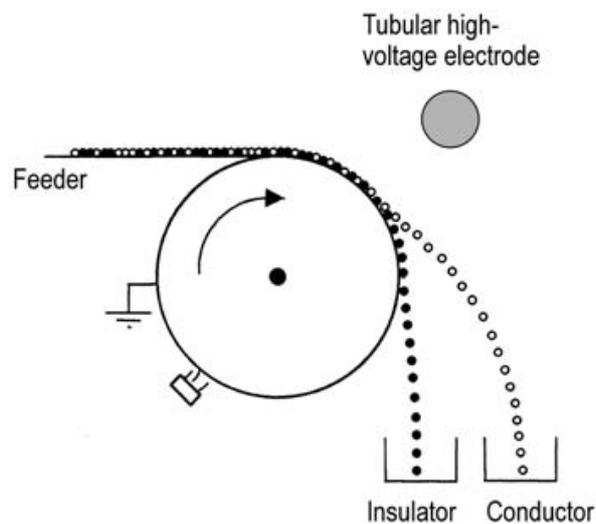


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Sortierung durch Kontakt polarisation [7]

Handelt es sich bei dem Korn um einen Nichtleiter, kommt es zu keiner Ladungstrennung und somit zu einer Aufladung. Das Korn wird vom Metall nicht abgestoßen und haftet an. [6] [7]

4.2.2. AUFLADUNG IM KORONAFELD

Durch die Aufladung im Koronafeld werden, wie bei der Kontaktpolarisation, Leiter von Nichtleitern getrennt.

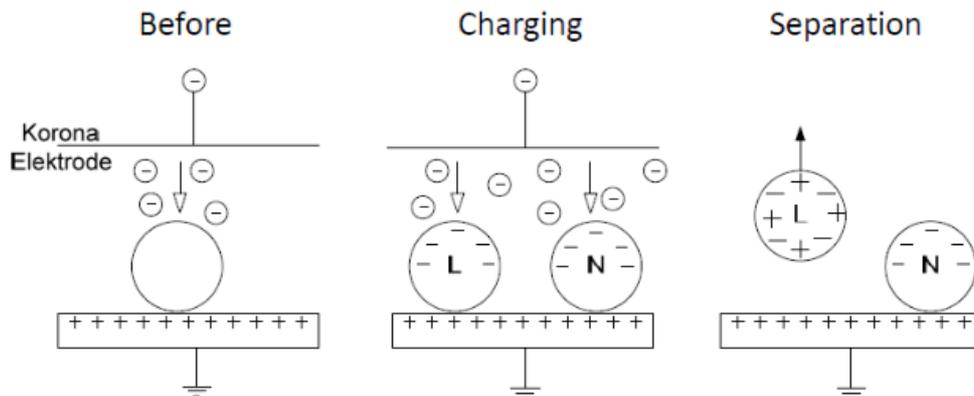


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Sortierung durch Koronaaufladung [10]

Alle Körner werden zu Beginn mit einer Ionendusche gleichsinnig positiv oder negativ aufgeladen. Beim Eintreten in das elektrostatische Feld endet die Ionendusche. Beim Auftreffen auf eine als Gegenelektrode dienende, geerdete Metallwalze geben leitende Körner ihre Ladung an die Oberfläche ab und passieren das Koronafeld ohne Beeinträchtigung in ihrer Bewegungsbahn. [6] [7]

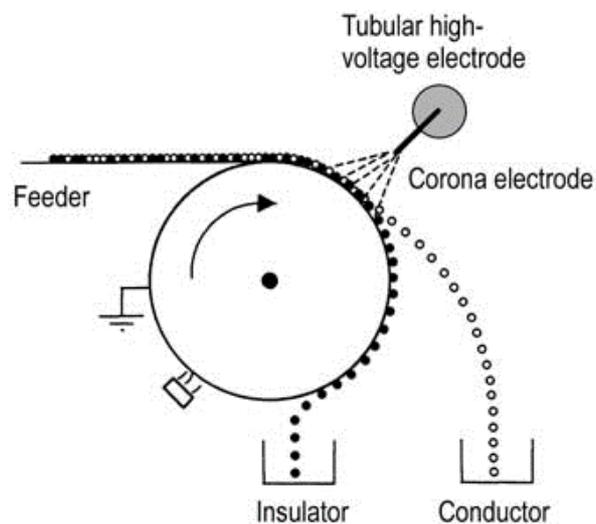


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Sortierung im Koronafeld [7]

Nichtleiter sind gegenseitig zur Metalloberfläche geladen und werden dadurch angezogen. Bei der Aufladung im Koronafeld können höhere Aufladungen erzielt werden als bei der Kontaktpolarisation. [6] [7]

4.2.3. TRIBOELEKTROSTATISCHE AUFLADUNG

Die triboelektrostatische Aufladung wird bei der Nichtleiter-/Nichtleiter-Trennung angewendet. Dabei kommt es zu einer elektrostatischen Aufladung durch kurze und intensive Berührung unterschiedlicher Oberflächen. Dieser Vorgang wird als Tribopolarisation bezeichnet. [6]

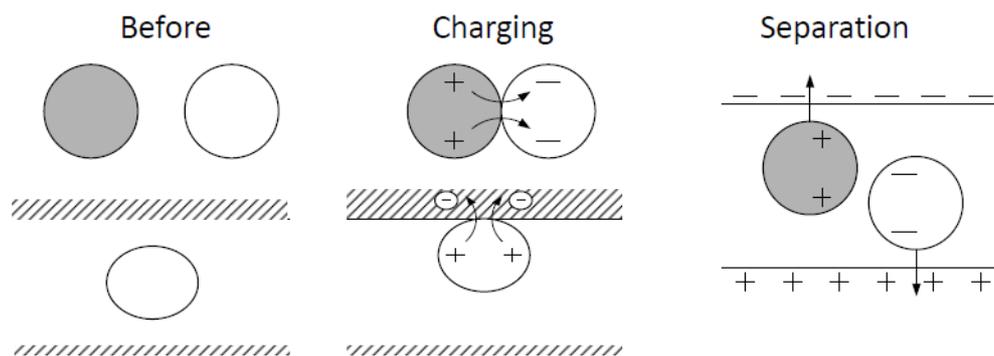


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Sortierung durch triboelektrostatische Aufladung [7]

Zwischen den in Kontakt stehenden Oberflächen kommt es zu einem Elektronenübergang, um einen Gleichgewichtszustand der Oberflächenladungen herzustellen. Dabei wandert das Elektron vom Korn mit der geringeren Elektronenaustrittsarbeit zu jenem mit der höheren Elektronenaustrittsarbeit. Unter der Elektronenaustrittsarbeit versteht man jene Energie die notwendig ist, um ein Elektron aus einem Feststoff zu entfernen. [6] [7] [11]

Bei rascher Trennung der Körner mit geladenen Oberflächen können nicht mehr alle Ladungen zurückfließen und es entsteht ein energetisches Ungleichgewicht. Bei einem Überschuss an negativen Ladungen lädt sich die Oberfläche negativ auf, bei einem positiven Überschuss kommt es zu einer positiven Aufladung. Man kann daher darauf

schließen, dass es sich bei der triboelektrostatischen Aufladung um einen Oberflächeneffekt handelt und tiefer liegende Schichten dabei keine Rolle spielen. [5]

Die Intensität der triboelektrostatischen Aufladung hängt von zahlreichen Parametern ab. Die wichtigsten sind hier kurz erwähnt:

- Relative Luftfeuchte
- Temperatur des aufzuladenden Rohgutes
- Mechanische Beanspruchung
- Chemische Behandlung der Oberfläche
- Intensität und Dauer des Korn-zu-Korn-Kontaktes
- Größe der Kontaktfläche

Die triboelektrische Aufladung erfolgt in einem Apparat, die dem Sortierapparat vorgeschaltet ist. Als Beispiele dafür können Vibrorinnen, Fließbettrockner, Wirbelschichteneinheiten und Zykclone genannt werden. [6] [12]

4.3. APPARATEBESCHREIBUNG

Die Apparatebeschreibung gibt einen kurzen Überblick über die verbreitetsten Trennmodelle für die Sortierapparate in der Elektroscheidung, welche auch im Technikum am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung zu finden sind.

4.3.1. ELEKTROSTATISCHE WALZENSCHIEDER

Der elektrostatische Walzenscheider besteht aus einer geerdeten metallischen Walze, über die das Aufgabegut in das elektrische Feld gelangt, welches zwischen Walze und Gegenelektrode ausgebildet ist. Auf Grund der unterschiedlichen Oberflächenleitfähigkeit der Körner erfolgt eine Sortierung in die darunter befindlichen Sortierkammern.

Die Aufladung der Körner erfolgt entweder durch Kontaktpolarisation oder Aufladung im Koronafeld. Der Walzenscheider ist für die Sortierung von Leitern zu Nichtleitern geeignet. [6] [7]

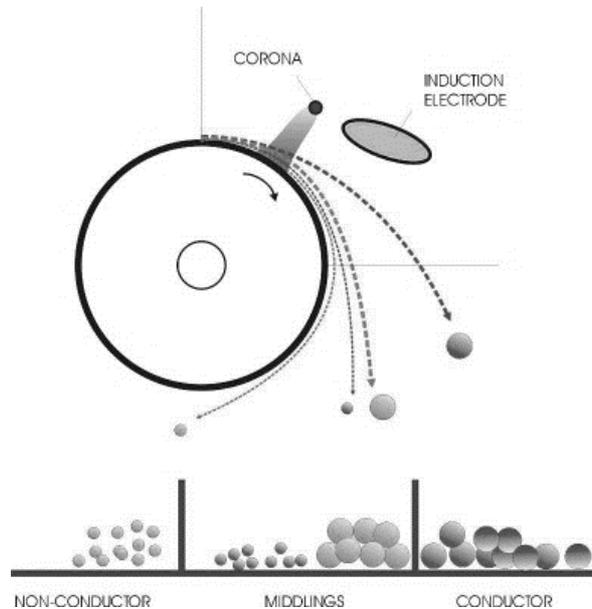


Abbildung 8: Funktionsprinzip eines elektrostatischen Walzenscheiders [13]

Die durchschnittliche Aufgaberate bei einem Walzenscheider beläuft sich auf zirka 1 Tonne pro Stunde und Meter Walzenlänge. Der Korngrößenbereich der Aufgabe liegt zwischen 1.000 [μm] und 100 [μm]. Der Walzenscheider wird sowohl in der Primäraufbereitung als auch in der Sekundäraufbereitung verwendet. [10]

4.3.2. KAMMERSCHEIDER

Im Kammer- oder Freifallscheider erfolgt nach der triboelektrostatischen Aufladung durch intensiven Korn-/Korn-Kontakt und Korn-/Wand-Kontakt die Sortierung zwischen zwei Hochspannungselektroden. Dabei durchfällt das Korn das elektrostatische Feld und wird ausgelenkt. Das Trennmodell ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt. [10]

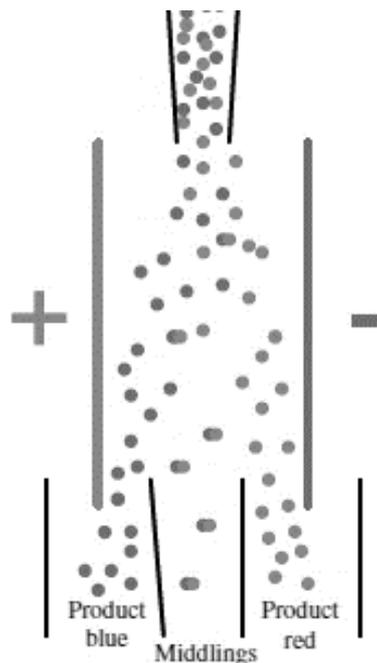


Abbildung 9: Funktionsprinzip eines Freifallscheiders [7]

Der Kammer- oder Freifallscheider eignet sich für die Sortierung von Nichtleitern. Die triboelektrostatische Aufladung der Körner erfolgt in einer vorgeschalteten Einheit. Dabei kann es sich zum Beispiel um eine Wirbelschichteinheit oder eine Vibrorinne handeln. [6] [7]

Am unteren Ende des Trennraumes befinden sich mehrere Auffangbehälter, welche die Sortierprodukte auffangen.

Die durchschnittliche Aufgaberate bei einem Kammer- oder Freifallscheider beläuft sich auf 3-8 Tonnen pro Stunde und Meter Elektrodenbreite. Der Korngrößenbereich der Aufgabe liegt zwischen 1.000 [μm] und 63 [μm]. Typische Anwendungsgebiete sind die Sortierung von Steinsalz-, Sylvinit- und Kieserit-Gemengen oder Quarz von Feldspäten. [10]

4.3.3. BANDSCHEIDER

Für die Sortierung von Nichtleitern im Feinkornbereich ($< 100 \text{ } [\mu\text{m}]$) eignet sich der triboelektrostatische Bandscheider. Im Bandscheider erfolgt die Sortierung zwischen zwei horizontal angeordneten Elektroden.

Der Trennraum eines Bandscheiders ist in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt.

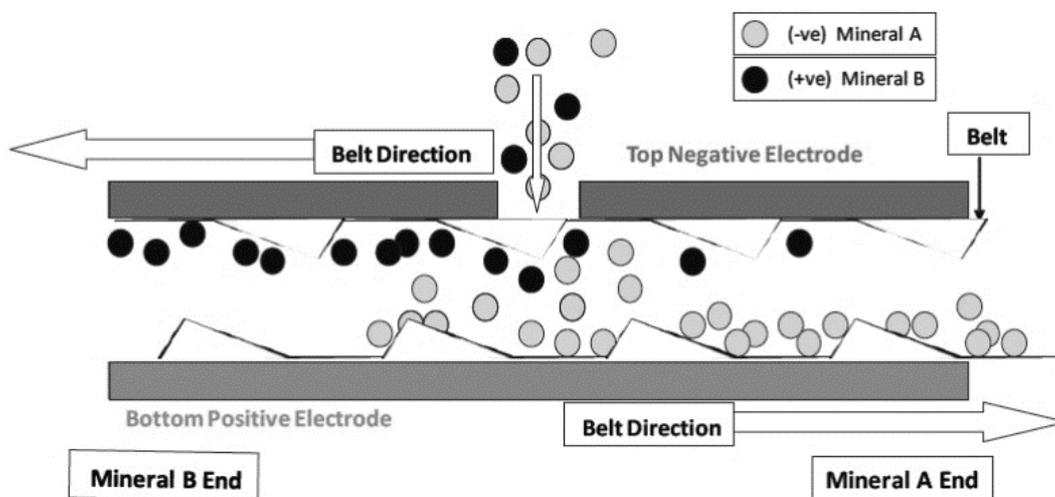


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Bandscheiders [14]

Die Rohgutaufgabe erfolgt mittels einer Vibrerinne. Im Anschluss fällt das Aufgabegut in ein rechteckiges Fallrohr, welches etwa in der Mitte des Sortierapparates durch einen Spalt in der Kopf-Elektrode in den Trennraum gelangt. Der Trennraum wird durch die Kopf- und Fuß-Elektrode begrenzt und von einem perforierten Kunststoffband mit hoher Geschwindigkeit durchlaufen. Dieses perforierte Kunststoffband lädt die Körner durch schnelles gegeneinander bewegen triboelektrostatisch auf. Die eingebrachten Körner werden dann je nach ihrer Ladung von der positiven oder negativen Elektrode angezogen. Das gegensinnig umlaufende Band nimmt die anhaftenden Körner mit und befördert sie je nach Ladung an den Austrag jeweils am linken und rechten Rand des Trennraumes. Dadurch entstehen zwei Produkte. Dies ist der große Unterschied zu anderen Elektroscheidertypen. Die triboelektrostatische Aufladung der Körner und

deren Sortierung erfolgen in einem Verfahrensschritt. Auf Grund hoher Scherkräfte wird einer Agglomeration der Körner entgegengewirkt. [10] [15]

Die Aufgaberate bei einem Bandscheider liegt mit 20 und 40 Tonnen pro Stunde deutlich über den Aufgaberaten von Walzenscheider und Kammerscheider. Die Aufgabekorngröße liegt typischerweise unter 100 [μm]. Auf Basis von Versuchskampagnen am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung konnte jedoch auch ein Sortiererfolg bis 500 [μm] beobachtet werden. [10] [15]

5. METHODIK DER VERSUCHSAUSWERTUNG

Geplante Versuchsserien sind in der Praxis oft komplex und mehrere Parameter spielen für das Versuchsergebnis eine ausschlaggebende Rolle. Es wird meist versucht, die Versuchspläne simpel und übersichtlich zu gestalten. Bei der vermeintlichen Arbeitersparnis werden die Versuchsergebnisse jedoch verfälscht und eine Interpretation der Ergebnisse wird dadurch wenig stichhaltig und repräsentativ. Mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung ist es möglich, komplexe Versuchsaufbaue und deren Auswertung stichhaltig mathematisch zu bewerten und zu analysieren. [16]

Um die Stärken eines statistischen Versuchsplanes gegenüber eines traditionellen Versuchsplanes zu erfassen, werden beide kurz beschrieben und auf die wichtigsten Begrifflichkeiten und Tests eingegangen.

5.1. GRUNDBEGRIFFE DER STATISTISCHEN VERSUCHSPLANUNG

Um die statistische Versuchsplanung als Bewertungsmöglichkeit der Versuche einsetzen zu können ist es unumgänglich, sich mit dem dafür üblichen Vokabular auseinanderzusetzen. Nur so ist es möglich, die Versuchsaufbaue und Auswertungen allgemein verständlich darzustellen.

5.1.1. SYSTEMGRENZEN

Bei der Systemgrenze handelt es sich um das zu untersuchende Objekt. Es wird zwischen den Eingangsgrößen unterschieden, welche gezielt verändert werden und jenen Eingangsgrößen, die nicht klar definiert werden können oder unbekannt sind. Die Summe dieser Größen führt zu einem Produkt mit bestimmten Qualitätsmerkmalen. Um den zu untersuchenden Gegenstand zu analysieren und eine Effektberechnung durchführen zu können, müssen die Qualitätsmerkmale konstant gehalten werden und die Systemgrenzen klar definiert sein. [16]

5.1.2. PARAMETER UND FAKTOREN

Die Eingangsgrößen werden als Parameter bezeichnet. Die Parameter, welche dann im festgelegten Versuchsplan berücksichtigt werden, bezeichnet man als Faktoren. Die Faktoren müssen für jeden Versuch nachvollziehbar, reproduzierbar und gezielt eingestellt werden können. Sie werden im Versuchsplan angeführt, welcher lückenlos abgearbeitet werden muss. Umso mehr Faktoren untersucht werden sollen, umso umfangreicher gestaltet sich eine Versuchskampagne. Alle anderen Parameter, die beobachtet aber nicht untersucht werden, müssen konstant gehalten werden. Für die Übersicht über die Faktorstufen verwendet man eine einheitliche Schreibweise, die Kodierung genannt wird. In dieser Arbeit wird die Schreibweise (+/-) bzw. (1/-1) verwendet. [16]

5.1.3. STUFEN

Faktoren werden in mindestens zwei unterschiedlichen klar definierten Einstellungen getestet. Diese Einstellung der Faktoren bezeichnet man als Stufen oder Levels. [16]

5.1.4. EFFEKT

Unterschiedliche Stufen führen zu unterschiedlichen Versuchsergebnissen. Diese Ergebnisse werden als Effekte bezeichnet. Je höher der Stufenabstand, desto unterschiedlicher das Versuchsergebnis. Die Stufenabstände müssen im Versuchsplan sinnvoll abgestimmt werden. Zu geringe Stufenabstände am Beginn der Versuche führen zu geringen Effektunterschieden und sollten vermieden werden, da kleine Stufen nur geringe Veränderungen in der Messung bewirken. Es macht Sinn, in der frühen Phase der Versuche große Stufen im Versuchsplan einzubauen, um einen sinnvollen Einstellbereich zu ermitteln. Eine gleichzeitige Veränderung von mehreren Faktoren kann darüber hinaus für das System eine drastische Änderung darstellen und sollte im Vorfeld abgeklärt werden, ob gewisse Kombinationen Sinn machen oder nicht. [16]

Den Effekt eines Faktors bezeichnet man als Haupteffekt. Beeinflussen sich die Faktoren untereinander, spricht man von einer Wechselwirkung. Diese treten in der Praxis häufig auf und werden als Nebeneffekte bezeichnet. [16]

5.2. TRADITIONELLER VERSUCHSPLAN

Beim klassischen Versuchsplan wird immer nur ein Faktor verändert, während die anderen nicht konstant gehalten werden. So garantiert man eine Zuordnung der Effekte auf die entsprechenden Faktoren. Die nachfolgende Abbildung stellt einen einfachen Versuchsplan für die Verständlichkeit grafisch dar.

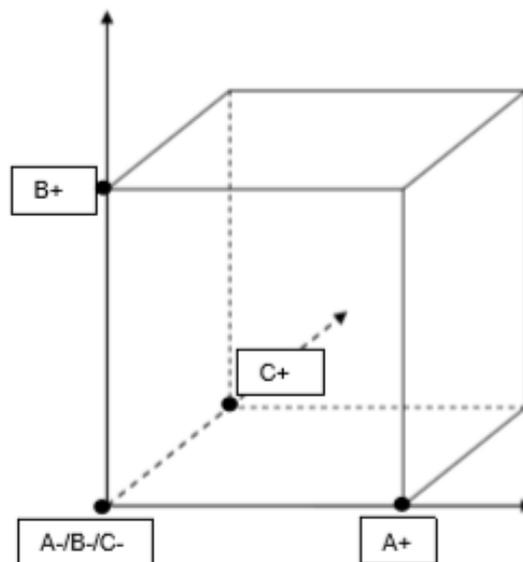


Abbildung 11: Grafische Darstellung eines traditionellen Versuchsplans für drei Faktoren auf jeweils zwei Stufen [16]

Es werden die drei Faktoren A, B und C untersucht. Für jeden Faktor ist die Einstellung (+) oder (-) möglich. Diese werden als Stufen bezeichnet. Der zu untersuchende Faktorraum wird grafisch als Würfel dargestellt, wobei die Achsen durch die Faktoren gebildet werden und die Verbindung der Achsen durch die Stufen. Beim traditionellen Versuchsplan wird bei einem gewählten Ausgangspunkt gestartet (in diesem Fall A-/B-/C-). Im ersten Schritt wird der erste Faktor von (-) auf (+) umgestellt und der Effekt

dokumentiert. Danach wird das System wieder in die Grundstufe, den Ausgangspunkt, gestellt. Die Versuche werden für die übrigen Faktoren wiederholt. Dabei bewegt man sich ausschließlich entlang der Achsen des Würfels, die restlichen möglichen Faktorkombinationen werden nicht berücksichtigt. Werden also drei Faktoren (A, B, C) und zwei Stufen (+/-) untersucht, ergeben sich acht Kombinationsmöglichkeiten (y1-y8). [16]

Die Tabelle stellt diesen einfachen Versuchsplan übersichtlich dar.

A	B	C	y
-	-	-	y1
+	-	-	y2
-	+	-	y3
+	+	-	y4
-	-	+	y5
+	-	+	y6
-	+	+	y7
+	+	+	y8

Tabelle 3: Einfacher Versuchsplan mit drei Faktoren und zwei Einstellungen [16]

Dabei wird nicht berücksichtigt, dass auch die Wahl des Ausgangspunktes bereits einen Einfluss auf das Ergebnis haben kann, was einen Fehler des traditionellen Versuchsplanes darstellt. Eine weitere Schwäche ist, dass der erzielte Effekt eines Faktors unabhängig von anderen Parametern ist. In der Realität verhalten sich die zu untersuchenden Systeme oft anders und somit ist ein traditioneller Versuchsplan nicht zielführend. [16]

Im Gegensatz dazu untersucht die statistische Versuchsplanung gleichmäßig den gesamten Faktorraum. Bei jedem Faktor werden die Stufenabstände groß gewählt und durchlaufen mehrere Umstellvorgänge, was das Versuchsergebnis und deren Analyse verifiziert. [16]

5.3. STATISTISCHER VERSUCHSPLAN

Ein statistischer Versuchsplan umgeht die Fehler des traditionellen Versuchsplanes. Zu seinen grundlegenden Stärken zählt die Möglichkeit, einen Versuchsaufwand minimal zu gestalten und trotzdem viele Faktoren und deren Wechselwirkung zueinander zu untersuchen. Der Faktorraum wird gleichmäßig untersucht und der Ausgangspunkt so gewählt, dass mit keinen Einflüssen auf das Ergebnis zu rechnen ist und die Variation der Faktoren sich auf diesen Punkt beziehen. Jeder Faktor wird mehrmals umgestellt und startet von unterschiedlichen Randbedingungen. Um dies zu gewährleisten, muss der Versuchsplan dementsprechend angelegt werden. Dabei dürfen keine Kombinationen aus jeweils zwei Spalten miteinander in Wechselbeziehung stehen, diese sind somit unabhängig voneinander. Das heißt, dass die Stufen eines Faktors und die Stufen der anderen Faktoren gleichmäßig verteilt werden. [16]

5.4. VERSUCHSPLÄNE

In der Literatur finden sich eine Vielzahl an unterschiedlichen statistischen Versuchsplänen. Beispiele dafür sind:

- Teilfaktorieller Versuchsplan
- Vollfaktorieller Versuchsplan
- Central- Composite- Design
- Box- Behnken- Design
- Monte- Carlo- Verfahren

Im Zuge dieser Masterarbeit werden teilfaktorielle bzw. vollfaktorielle Versuchspläne ausgearbeitet und durchgeführt. Daher werden diese beiden Versuchspläne nachfolgend näher erklärt. [16]

5.4.1. TEILFAKTORIELLER VERSUCHSPLAN

Ein Versuchsplan stellt normalerweise ein lineares Gleichungssystem dar, wobei jeder Versuch eine Gleichung liefert. Mittels teilfaktoriellen Versuchsplan können eine hohe Anzahl von Faktoren mit einem vertretbaren, experimentellen Aufwand und genügend statistischer Sicherheit untersucht werden. Sie stoßen jedoch bei nicht linearen Zusammenhängen an ihre Grenzen, da sie zu wenig Grundlagen für eine statistische Versuchsplanung beschreiben und der Versuchsaufwand wird groß. Für nicht lineare Zusammenhänge eignen sich die Versuchspläne für ein quadratisches Beschreibungsmodell wie Central- Composite- Design, Box- Behnken- Design oder Monte-Carlo- Verfahren. [16]

5.4.2. VOLLFAKTORIELLER VERSUCHSPLAN

Von einem vollfaktoriellen Versuchsplan spricht man, wenn alle möglichen Kombinationen von Faktoren und Stufen getestet werden. Die Faktoren werden dabei auf zwei Stufen verändert, welche als (+) und (-) bezeichnet werden. [16]

Der Versuchsaufwand n_r ergibt sich dabei aus der Zahl der Faktoren n_f und der Zahl der Stufen n_l :

$$n_r = n_l^{n_f}$$

Formel 4: Berechnung des Versuchsaufwandes [16]

Werden also drei Faktoren und zwei Stufen untersucht, ergeben sich acht Kombinationsmöglichkeiten. Dieses Versuchsmodell wird als 2^3 bezeichnet. [16]

Die nachfolgende Tabelle stellt die Wechselwirkung der Faktoren dar, die sich aus den Faktoren A, B und C ergeben und berücksichtigt werden müssen. Durch Multiplikation der Einstellungen ergeben sich die Wechselwirkungen:

Versuch	A	B	C	AC	BC	AB	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	+	-	+
3	-	+	-	-	-	-	+
4	+	+	-	+	-	+	-
5	-	-	+	+	-	+	+
6	+	-	+	-	-	-	-
7	-	+	+	-	+	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 4: Wechselwirkung bei einem Versuchsplan mit drei Faktoren [16]

Der vollfaktorielle Versuchsplan ist meist mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden. Im Gegensatz dazu ist ein teilfaktorieller Versuchsplan meist zu ungenau und der Informationsverlust dadurch zu hoch. Es gilt einen Kompromiss zwischen diesen beiden Versuchsaufbauten zu finden, um den Aufwand zu minimieren, aber den Informationsgewinn zu maximieren. Dadurch ist ein spezieller Aufbau der Versuchspläne anzustreben. [16]

5.4.3. FESTLEGUNG VON REDUZIERTEN VOLLFAKTORIELLEN VERSUCHSPLÄNEN

In realen Systemen tauchen Drei- oder Mehrfachwechselwirkungen praktisch nicht auf. Sie können jedoch theoretisch berechnet werden. Für die Festlegung der Einstellung ab dem vierten Faktor werden die vorangegangenen Faktoren miteinander multipliziert. Die Tabelle 5 auf Seite 37 soll dies verdeutlichen.

Die Spalte der Dreifachwechselwirkung ABC wird als Einstellungsmerkmal für einen neuen Faktor D verwendet. Die statistischen Gesetze werden dabei nicht verletzt. [16]

Hierbei fällt auf, dass sich mehrere Spalten gleichen. Die Ergebnisse der einzelnen Spalten können somit nicht mehr eindeutig den eingestellten Faktoren, deren Wechselwirkung und den daraus resultierenden Effekten zugeordnet werden. In realen Systemen kommen komplexe Zusammenhänge wie eine Dreifachwechselwirkung nicht vor und somit können die Haupteffekte unverwechselbar bestimmt werden. Bei der

Zweifachwechselwirkung kann jedoch nicht mehr zugeordnet werden, von welcher Wechselwirkung die Auswirkung auf das System stammt. [16]

2^{4-1} kennzeichnet hier einen Versuchsplan für vier Faktoren auf zwei Stufen und einer Reduktionsstufe. Es sind somit acht Versuchsdurchläufe nötig, um den Versuchsplan abzuarbeiten. [16]

5.4.4. TEILFAKTORIELLER VERSUCHSPLAN ZUR ÜBERPRÜFUNG VON FÜNF FAKTOREN

Nach der Berechnung der Versuchsdurchgänge ergibt sich bei fünf Faktoren, zwei Stufen und einer Reduktionsstufe eine Anzahl von 16 Versuchsdurchläufen. Dieser Versuchsplan wird als 2^{5-1} bezeichnet. Dabei werden 50 [%] von sämtlichen möglichen Kombinationen getestet. Bei einem Vollfaktorplan 2^5 wären 32 Versuche notwendig. Die jeweiligen Faktoren werden mit A-E bezeichnet. Der Versuchsplan ist in der Tabelle 6 auf der nächsten Seite dargestellt. Jeder Faktor wird achtmal auf der Stufe (+) und achtmal auf der Stufe (-) getestet. [16]

Hierbei können alle Haupteffekte und die Zweifachwechselwirkung beurteilt werden. Die statistische Sicherheit bei den Ergebnissen ist somit gegeben. Da die Haupteffekte mit den Vierfachwechselwirkungen und die Zweifachwechselwirkungen mit den Dreifachwechselwirkungen vermengt sind, kommen in der Realität nur Haupteffekte und Zweifachwechselwirkungen vor, da diese untereinander nicht vermengt sind. [16]

Die Untersuchung von fünf verschiedenen Faktoren bleibt beim Gesamtaufwand der Versuchsdurchführung in einem annehmbaren Rahmen und bietet genügend Möglichkeiten für die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse. [16]

Versuch	A	B	C	AB	AC	BC	ABC=D	AD	BD	CD	ABD	ACD	BCD
1	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-
2	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-
4	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+
5	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-
6	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+
7	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 5: Reduzierter vollfaktorieller Versuchsplan 2^{4-1} [16]

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE
	BCDE	ACDE	ABDE	ABCE	ABCD	CDE	BDE	BCE	BCD	ADE	ACE	ACD	ABE	ABD	ABC
1	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
2	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+
4	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-
5	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
6	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-
7	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-
8	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+
9	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
10	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+
11	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+
12	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-
13	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+
14	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-
15	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 6: Teilfaktorieller Versuchsplan 2^{5-1} [16]

5.5. AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE

Im Zuge dieser Arbeit erfolgte die Auswertung der Ergebnisse auf drei Arten:

- Auswertung anhand der Mittelwerte
- Auswertung mittels Varianzanalyse
- Grafische Darstellung in Effektdiagrammen

5.5.1. AUSWERTUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Zu Beginn werden aus den Versuchen mit denselben Einstellungen die Mittelwerte gebildet, um einen ersten Eindruck über das Versuchsergebnis zu bekommen. Es kann abgeschätzt werden, in welchem Ausmaß sich der Faktor auf das Trennergebnis ausgewirkt hat. Um die Höhe des Einflusses von (+) und (-) zu bestimmen, wird aus den jeweils passenden Versuchsdurchführungen die Differenz gebildet.

5.5.2. AUSWERTUNG MIT DER VARIANZANALYSE

Um den Einfluss eines Merkmals durch Faktoren festzustellen, wird eine Varianzanalyse durchgeführt. Sie ermöglicht es, den Einfluss durch Vergleichen von Mittelwerten mathematisch darzustellen. Es wird durch Stichproben die Annahme getestet, ob der betrachtete Faktor einen Einfluss auf das Ergebnis hat, also ob sich die Mittelwerte gleichen. Nachfolgend wird die Berechnung der Varianzanalyse mit einem vorgegebenen Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ Schritt für Schritt erläutert. [17]

Im ersten Schritt wird der Kontrast ermittelt. Der Kontrast errechnet sich aus der Differenz der Summe aller Ergebnisse x auf den unterschiedlich eingestellten Stufen (+) und (-):

$$\textit{Kontrast} = \sum x(+)-\sum x(-)$$

Formel 5: Kontrastberechnung [17]

x(+)... Summe aller Ergebnisse bei gleicher Versuchseinstellung auf positivem Level

x(-)... Summe aller Ergebnisse bei gleicher Versuchseinstellung auf negativem Level

Die Differenz der Mittelwerte der Ergebnisse der beiden Stufen wird als Effekt bezeichnet.

$$Effekt = \frac{\sum x(+) - \sum x(-)}{n * m} = \frac{Kontrast}{n * m}$$

Formel 6: Effektberechnung [17]

n... Anzahl der Versuchsdurchläufe derselben Einstellung

m... Anzahl der Einstellung von positiven bzw. negativen Stufen in der Versuchsreihe

Die Summe der Quadrate errechnet sich aus folgenden Formeln:

$$Summe\ der\ Quadrate\ (Faktor) = \frac{(\sum x(+) - \sum x(-))^2}{n * (m + m)}$$

Formel 7: Berechnung Summe der Quadrate (Faktor) [17]

$$Summe\ der\ Quadrate\ (total) = \sum x(1) * \dots * x_n - \frac{1}{n * m} * (\sum (x_1 \dots x_n))^2$$

Formel 8: Summe der Quadrate (total) [17]

Summe der Quadrate (Fehler)

$$= Summe\ der\ Quadrate\ (total) - Summe\ der\ Quadrate\ (Faktor)$$

Formel 9: Summe der Quadrate (Fehler) [17]

x1, x2, ..., xn... Ergebnisse der Einzelversuche

Um den quadratischen Mittelwert zu berechnen, werden die Summe der Quadrate und die Freiheitsgrade bestimmt.

$$\text{quadratischer Mittelwert} = \frac{\text{Summe der Quadrate (Fehler)}}{\text{Freiheitsgrade}}$$

Formel 10: Berechnung quadratischer Mittelwert [17]

Die Anzahl der Freiheitsgrade wird aus der Anzahl der Faktoren ermittelt.

$$\text{Freiheitsgrade (total)} = n * (m + m) - 1$$

Formel 11: Berechnung der Freiheitsgrade [17]

Die Freiheitsgrade für den zufälligen Fehler berechnet sich aus:

$$\text{Freiheitsgrade (Fehler)} = \text{Freiheitsgrade (total)} - \sum \text{Freiheitsgrade (Faktor)}$$

Formel 12: Berechnung Freiheitsgrade (Fehler) [17]

Die Zufallsvariabel F_0 berechnet sich aus dem quadratischen Mittelwert und den Freiheitsgraden:

$$F_0 = \frac{\text{quadratischer Mittelwert}}{\text{Freiheitsgrade}}$$

Formel 13: Berechnung der Zufallsvariabel F_0 [17]

Die Zufallsvariablen der Faktoren werden nun mit dem Quantil für das gewählte Signifikanzniveau verglichen. Die Werte für Quantile der F- Verteilung befinden sich im Anhang in Tabelle 26 auf Seite 107 wieder. Die Nullhypothese H_0 gilt als abgelehnt, wenn gilt:

$$F_0 > F(\alpha; \text{Dof}(\text{Faktor}); \text{Dof}(\text{Fehler}))$$

Formel 14: Vergleich der Zufallsvariable mit Nullhypothese [17]

Dof (Faktor); (Fehler)... Freiheitsgrad eines Faktors bzw. des zufälligen Fehlers

5.6. AUSWERTUNG MITTELS EFFEKTDIAGRAMM

In Effektdiagrammen können die Einflüsse der Faktoren grafisch dargestellt werden. Es handelt sich dabei um eine standardisierte Darstellung der Beschreibungsfunktionen aus den Versuchsergebnissen. Dabei wird jedes Qualitätsmerkmal in einem eigenen Effektdiagramm grafisch dargestellt und auf der Ordinate aufgetragen. Die Mittelwerte der Stufen werden dabei auf der Abszisse aufgetragen. Die Steigung der Gerade gibt Aufschluss über die Stärke des Effektes. [16]

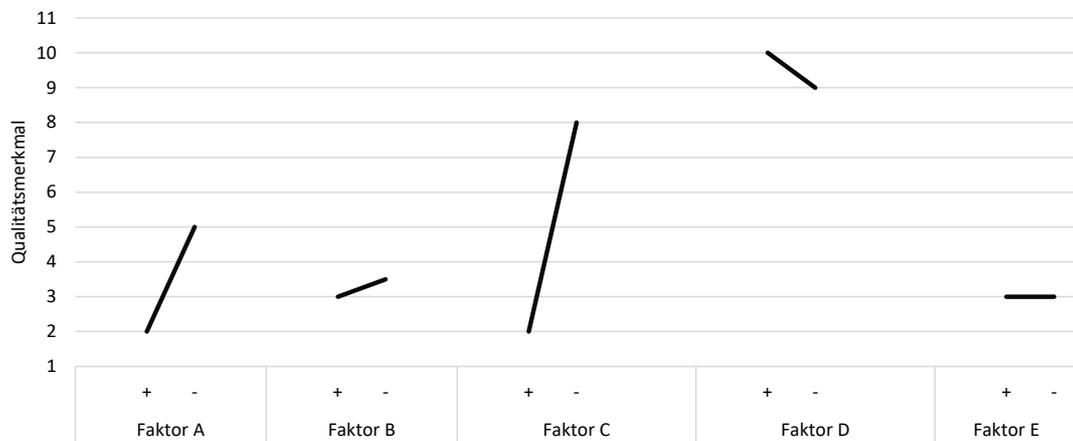


Diagramm 1: Beispiel eines Effektdiagramms

6. EINFÜHRUNG IN DIE WIRBELSCHICHTTECHNIK

Der triboelektrostatische Aufladeprozess ist ein oberflächensensitiver Prozess. Dabei ist es notwendig, sich mit den Oberflächeneigenschaften der zu sortierenden Rohstoffe auseinanderzusetzen und diese gezielt auszunutzen bzw. zu verändern.

Um den Aufladeerfolg systematisch zu beeinflussen ist es nötig, ein klar abgegrenztes System zu erschaffen, in dem der Aufladevorgang stattfindet. Durch die Entwicklung einer separaten Aufladeeinheit, ausgeführt als Wirbelschichteinheit, soll ein solches System gewährleistet werden. Ziel ist es, den Aufladeprozess besser zu verstehen und die Parameter, welche eine entscheidende Rolle für das Aufladeverhalten einnehmen, gezielt zu beeinflussen. Zu den wichtigsten Parametern zählen:

- die relative Luftfeuchte
- die Temperatur
- die Konditionierung der Kornoberfläche durch unterschiedliche Reagenzien

Der Wirbelschichteinheit wird dem Gerätepool für die Elektroscheidung in der Klimakammer des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung erweitert und zukünftig zu Erkenntnissen über die triboelektrostatischen Auflademechanismen beitragen. [18]

6.1. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Die Wirbelschichttechnik wurde in den 1920iger Jahren von Fritz Winkler entwickelt und im Bereich der Kohlevergasung erstmals eingesetzt. Heute ist diese Technik etabliert und wird in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Beispiele dafür sind unter anderem: trocknen, kühlen, klassieren, verkoken, verbrennen und gasreinigen. [19] [20]

Die Wirbelschichttechnik basiert auf einem fluidisierten Zustand einer Kornschüttung. Dabei nimmt der Feststoff fluidähnliche Eigenschaften an, was zu einem Austausch zwischen Fluid und Feststoff führt. Dabei treten folgende Ereignisse auf:

- Eine intensive Vermischung der Feststoffpartikel
- Hohe Relativgeschwindigkeiten zwischen den Fluiden und der festen Phase
- Häufiger Korn-/Kornkontakt und Korn-/Wandkontakt

Dabei wird die Feststoffschüttung von einem der Schwerkraft entgegengesetzten Fluidstrom (Flüssigkeit oder Gas) durchströmt und der ruhende Feststoff bei ausreichender Geschwindigkeit in eine Wirbelschicht überführt. [20] [21]

6.1.1. WIRBELSCHICHTARTEN

Je nach ihrem Verhalten bei der Fluidisierung können diese in

- homogene,
- inhomogene,
- stoßende und
- turbulente

Wirbelschichten eingeteilt werden.

Die folgende Abbildung stellt diese unterschiedlichen Wirbelschichten grafisch dar. [21] [22]

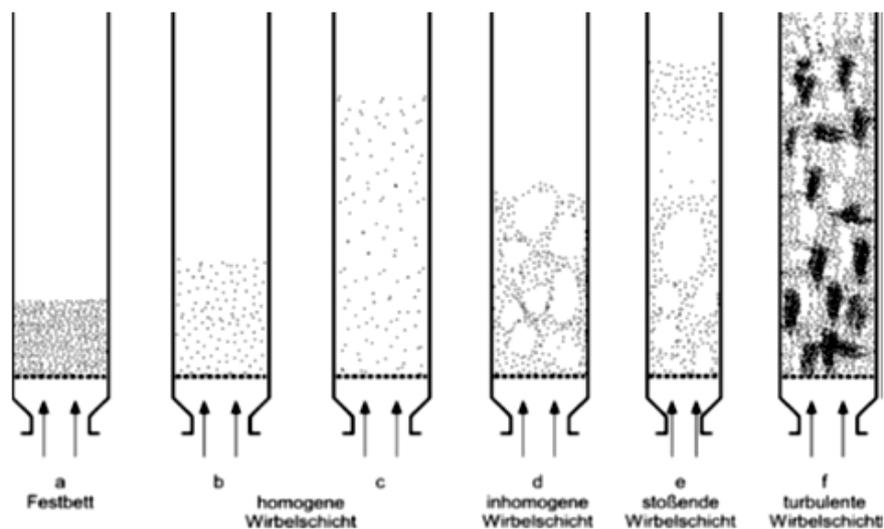


Abbildung 12: Übersicht über die unterschiedlichen Wirbelschichtarten [23]

Im Festbett befindet sich das Rohgut in Ruhe (Abb. 17a). Die Strömungsgeschwindigkeit des Fluidstromes ist in diesem Fall nicht stark genug, um die Körner in Bewegung zu setzen. [21] [22]

Eine homogene Wirbelschicht (Abb. 17b, c) tritt meist auf, wenn es sich bei dem Fluidstrom um eine Flüssigkeit handelt. Die Feststoffschüttung wird dabei gleichmäßig durchströmt, während die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zunimmt. Es kommt zu einer Expandierung des Feststoffes, wobei kein Entmischungs- oder Klassiereffekt auftritt. [21] [22]

Im Gegensatz zur homogenen Wirbelschicht treten bei der inhomogenen Wirbelschicht Klassier- und Sortiereffekte auf (Abb. 17d, e). Dabei reichern sich die schwereren Körner im unteren Bereich der Feststoffschüttung an. Inhomogene Wirbelschichten findet man häufig bei Gas-/Feststoff-Wirbelschichten. Durch eine Instabilität bei der Durchströmung des Feststoffes kommt es zu einer Blasenbildung bzw. zu feststoffarmen Hohlräumen. Die Art der Blasenbildung kann in brodelnde und stoßende Wirbelschichten unterteilt werden. [21] [22]

Bei einer brodelnden Wirbelschicht bilden sich ab einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit annähernd feststofffreie Gasblasen. (Abb. 17d).

In engen und hohen Behältern können Blasen zusammenwachsen und sich über den gesamten Querschnitt des Behälters erstrecken. Der Feststoff wird dadurch angehoben und wieder abgesenkt. Man spricht von einer stoßenden Wirbelschicht (Abb. 17e). [21] [22]

Bei der turbulenten Wirbelschicht ist die Strömungsgeschwindigkeit deutlich erhöht (Abb. 17f). Es ist keine abschließende Oberfläche der Wirbelschicht mehr ersichtlich. Die Grenze zwischen Wirbelschicht und freiem Gasraum verwischt. [21] [22]

6.1.2. ZUSTANDSBEREICHE DER WIRBELSCHICHTTECHNIK

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Zustandsbereiche der Wirbelschichttechnik ergeben sich aus der Geschwindigkeit der Fluidströmung und dem Differenzdruck Δp ober- und unterhalb der Körnerschüttung. [20] [22]

Man unterscheidet dabei zwischen den Zuständen

- Festbett
- Wirbelschicht
- Pneumatische Förderung

Die nachfolgende Abbildung stellt die drei Zustände der Wirbelschicht grafisch dar.

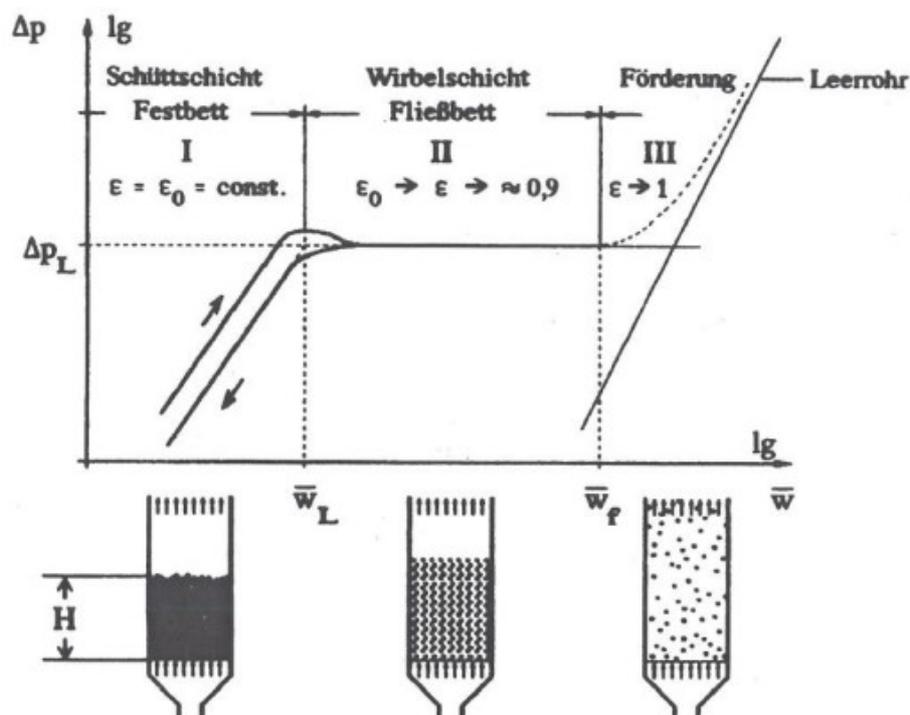


Abbildung 13: Druckverlustdiagramm homogener fluidisierter Schichten [21]

Beim Festbett befindet sich die Körnerschüttung in Ruhe. Dabei ist die Strömungsgeschwindigkeit zu gering, um die Körner in Bewegung zu versetzen.

Der Übergang von der Wirbelschicht zur pneumatischen Förderung ist im sogenannten Wirbelpunkt. Hier übersteigt die Auftriebskraft die Gewichtskraft und Reibungskraft der Körner. Es kommt zu einem Austrag der Körner. [21] [22]

Zu den wichtigsten Kenngrößen in der Wirbelschichttechnik zählen somit:

- Der Druckverlust Δp
- Der Lockerungspunkt
- Der Austragspunkt

Der Druckverlust wird bei der Durchströmung der Partikel mit einem Fluid verursacht und stellt einen Zusammenhang zwischen der charakteristischen Durchströmungsgeschwindigkeit, dem Druckunterschied, der Dichte und der Viskosität der Festkörperschicht dar. Er ist der Druckunterschied ober- und unterhalb der Feststoffschüttung in der Wirbelschichtkammer. [21] [22]

Der sogenannte Lockerungspunkt befindet sich am Übergang vom Festbett zur Wirbelschicht. Ab diesem Übergang beginnen die Partikel zu fluidisieren. Man spricht hier auch von der Minimalfluidisierungsgeschwindigkeit. [21] [22]

Der Austragungspunkt befindet sich am Übergang von der Wirbelschicht zum Feststoffaustrag, also dem Beginn der pneumatischen Förderung. Dabei werden die Körner mit dem Fluidstrom mitgerissen und mit der maximalen Durchströmungsgeschwindigkeit am Austragungspunkt ausgebracht. [21] [22]

6.1.3. FESTSTOFFVERHALTEN IN GAS- FESTSTOFF WIRBELSCHICHTEN

Die Feststoffeigenschaften des Schüttgutes spielen eine wesentliche Rolle bei inhomogenen Gas-/Feststoff-Wirbelschichten auf Grund des unterschiedlichen Fluidisierungsverhaltens. Der britische Chemiker Derek Geldart unterteilte dabei das unterschiedliche Verhalten der Schüttgüter in vier Gruppen. Dabei spielen der Partikeldurchmesser und die Dichtedifferenz zwischen dem Fluidisiergas und den Feststoffpartikeln eine wesentliche Rolle. Die nachfolgende Abbildung stellt die Einteilung grafisch dar: [20] [22]

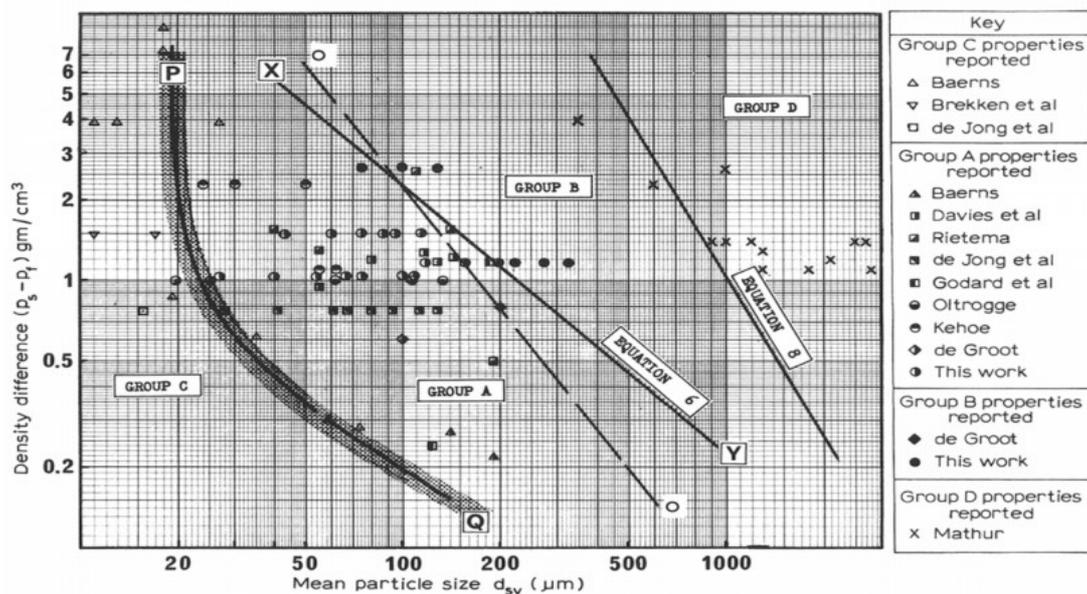


Abbildung 14: Darstellung unterschiedlicher Feststofftypen nach Geldart [24]

Gruppe A (lt. Abb. 15 Groupe A) ist meist ein pulverförmiger Katalysator. Die Korngröße liegt bei 20-100 [μm] und einer relativ geringen Dichte von 1,4 [g/cm^3]. Die Blasenbildung setzt erst nach einer Expansion der Schichtdicke um das zwei- bis drei-fache Volumen der Ausgangshöhe ein. Bei einer Reduktion des Fluidstromes kollabiert das Wirbelbett langsam. [20] [21]

Der Korngrößenbereich von Gruppe B (lt. Abb. 15 Groupe B) liegt bei 40-500 [μm]. Die Dichte liegt in etwas bei 1,4-1,5 [g/cm^3]. Wird die Minimalfluidisierung überschritten, kommt es zu einer schnellen Blasenbildung, welche zu einem Teppich

zusammenwachsen. Die Bettausdehnung ist gering und bei Reduktion des Fluidstromes fällt das Wirbelbett sofort zusammen. [20] [21]

Liegt bei einem Feststoff eine hohe Kohäsion vor, wird dieser in Gruppe C (lt. Abb. 15 Gruppe C) zusammengefasst. Durch die hohen Kohäsionskräfte wird die Fluidisierung des Schüttgutes stark beeinträchtigt und es bilden sich Strömungskanäle durch das Schüttgut aus. Der Korngrößenbereich des Feststoffes liegt bei 20-30 [μm]. [20] [21]

Gruppe D (lt. Abb. 15 Gruppe D) vereinigt Feststoffe mit hoher Dichte und einer großen Korngröße, wodurch hohe Fluidgeschwindigkeiten benötigt werden. Die Blasenbildung beginnt über dem Punkt der Minimalfluidisierung. Die Durchmischung der Körner wird erschwert und das Wirbelbett fällt schnell nach dem Strömungsabbriss in sich zusammen. [20] [21]

7. VERSUCHE AM BANDSCHEIDER

Die Versuche wurden an einem triboelektrostatischen Bandscheider im Labormaßstab durchgeführt, welcher sich in der Klimakammer des Aufbereitungstechnikums am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung an der Montanuniversität befindet.

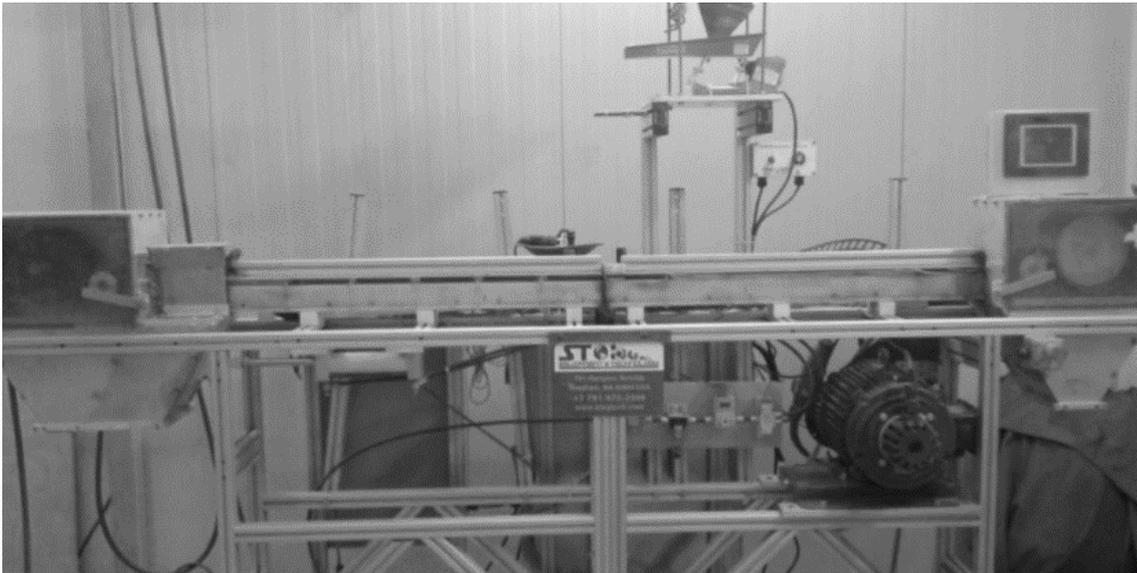


Abbildung 15: Bandscheider am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung [15]

Bei dem Bandscheider handelt es sich um den Typ „X2“ des Herstellers ST Equipment & Technology LLC (USA, Needham). Die Arbeitsweise des Bandscheiders wird im Kapitel 4.3.3 Bandscheider ab Seite 27 näher erläutert. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde mit dem triboelektrostatischen Bandscheider folgende Rohgüter sortiert:

- Rohsalz
- Magnesiumoxid
- Rohmagnesit
- Gulsenit

Je nach Erfahrung mit der Rohgutart bei der triboelektrostatischen Sortierung wurde der Versuchsplan aus vorangegangenen Projekten übernommen bzw. darauf aufgebaut. Diese Versuchspläne sind individuell für die unterschiedlichen Rohgutarten und können dem jeweiligen Kapitel entnommen werden. Das Kriterium, über das der

Trennerfolg beurteilt wird, wird ebenfalls bei jedem Rohgut anders festgelegt und ist auch in dem entsprechenden Kapiteln ersichtlich.

7.1. UNTERSUCHUNGEN AM BANDSCHEIDER MIT UNTERSCHIEDLICHEN PARAMETERN

Bei den Versuchen wurden unterschiedliche Parameter verändert. Man unterscheidet hierbei zwischen:

- Maschinenparameter
- Äußere Parameter (Klimaparameter, Rohgutbeschaffenheit)

7.1.1. MASCHINENPARAMETER

Die folgenden Einstellmöglichkeiten der Maschinenparameter sind am triboelektrostatischen Bandscheider möglich:

1. Angelegte Spannung
2. Abstand der Elektroden
3. Umlaufgeschwindigkeit des perforierten Kunststoffbandes
4. Polarität der Kopf- und Fußelektrode
5. Aufgaberate
6. Bandgeometrie

Ad 1). Die angelegte Spannung an den Elektroden kann zwischen 0 und 6 [kV] eingestellt werden.

Ad 2) Der Elektrodenabstand kann von 9 bis 14 [mm] verändert werden.

Ad 3) Die Umlaufgeschwindigkeit des perforierten Kunststoffbandes kann zwischen 0 und 36 [fps] gesteuert werden.

Ad 4) Die Polarität der Kopfelektrode kann positiv oder negativ eingestellt werden. Dies gilt auch für die Fußelektrode mit umgekehrter Polarität, um das elektrische Feld zu erzeugen.

Ad 5) Die Aufgaberate wird über die Vibroaufgaberinne per Regler festgelegt. Die Aufgaberate kann von 0 (keine Vibration) bis 10 (hohe Vibration) variiert werden.

Ad 6) Das perforierte Kunststoffband kann geometrisch verändert werden. Im Zuge dieser Masterarbeit wurden jedoch keine Veränderungen an der Bandgeometrie durchgeführt.

7.1.2. ÄUSSERE PARAMETER

Alle äußeren Parameter wurden bei sämtlichen Versuchen dokumentiert. Dabei handelt es sich um:

- Die relative Luftfeuchte
- Die Rohguttemperatur vor und nach dem Versuch
- Die Umgebungstemperatur

Die relative Luftfeuchte und die Umgebungstemperatur können durch die Steuerung der Klimakammer reguliert werden. Die Rohguttemperatur kann über das Aufheizen im Trockenschrank ebenfalls gesteuert werden.

7.2. ROHSALZ

Als Aufgabe diente eine Rohsalzprobe, welche durch die Firma Salinen Austria AG für Versuche am Lehrstuhl zur Verfügung gestellt wurde. Die untersuchte Rohsalzprobe besteht aus löslichen und unlöslichen Bestandteilen, welche auch als Beurteilungskriterium für den Sortiererfolg herangezogen wurden.

7.2.1. ROHGUTCHARAKTERISTIK

Die Dichte der Rohgutprobe wurde mittels Heliumpyknometer bestimmt. Die durchschnittliche Rohdichte des Salzes betrug $2,20 \text{ [g/cm}^3\text{]}$. Sämtliche ermittelten Werte und Analysen finden sich im Anhang ab Kapitel 15.2 Rohsalz ab Seite 108 wieder.

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung des Rohgutes wurde eine Teilprobe entnommen und einer trockenen Handsiebung bei den Maschenweiten $315 \text{ [}\mu\text{m]}$, $250 \text{ [}\mu\text{m]}$, $200 \text{ [}\mu\text{m]}$, $160 \text{ [}\mu\text{m]}$, $125 \text{ [}\mu\text{m]}$, $100 \text{ [}\mu\text{m]}$, $80 \text{ [}\mu\text{m]}$, $63 \text{ [}\mu\text{m]}$, $40 \text{ [}\mu\text{m]}$ und $25 \text{ [}\mu\text{m]}$ unterzogen. Die Korngrößenverteilung ist in Diagramm 2 dargestellt.

Das Rohgut lag zu 100 [%] in Fraktionen $< 500 \text{ [}\mu\text{m]}$ vor, $7,7 \text{ [%]}$ davon in der Fraktion $< 63 \text{ [}\mu\text{m]}$.

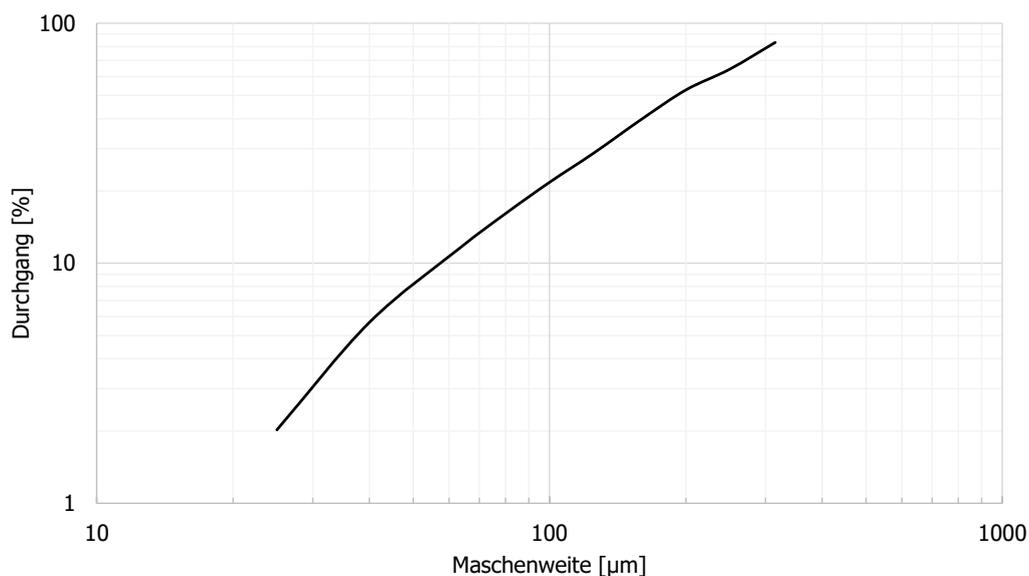


Diagramm 2: Korngrößenverteilung des untersuchten Rohsalzes im logarithmischen Netz

7.2.2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

Für die Versuche am Bandscheider wurden die Erkenntnisse vorangegangener Versuchskampagnen (im Rahmen des Dissertationsprojektes Mineralphasentrennung nach Triboaufladung) mit dem vorliegenden Rohgut verwendet. Ziel der Sortierversuche ist es, Einflüsse zahlreicher Parameter und deren Wechselwirkung auf das vorliegende Rohgut zu erlangen. Für die Durchführung der Versuche wurde ein Vollfaktorplan 2^2 ausgewählt.

Versuch	Rohguttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Tabelle 7: Versuchsplan für die Sortierung von Rohsalz

Die Beurteilung des Trennerfolges erfolgte über die Bestimmung der Gehalte an löslichen Bestandteilen und deren Inhaltsausbringen im Konzentrat. Die Rohguttemperatur der Aufgabe wurde auf der unteren Stufe (-) von zirka 25 [°C] (Umgebungstemperatur) definiert. Für die obere Stufe (+) wurde das Rohsalz im Trockenschrank bei 80 [°C] aufgeheizt und damit manipulationsbedingt eine Aufgabetemperatur von zirka 65 [°C] erreicht. Die relative Luftfeuchte wurde auf die Bereiche von 20-30 [%] und 60-80 [%] eingestellt. Die Raumtemperatur betrug während der Versuchsdurchführung 25 [°C]. Die Maschinenparameter wurden wie in der nachfolgenden Tabelle eingestellt und konstant gehalten. Der gesamte Versuchsplan ist im Anhang im Kapitel 15.2.1 Versuchsplan und Einstellungen ab Seite 108 nachzuschlagen.

Bezeichnung	Einheit	Einstellung
Elektrodenabstand	[mm]	10
Bandgeschwindigkeit	[fps]	20
angelegte Spannung	[kV]	6
Polarität der Kopfelektrode	[-]	positiv
Aufgaberrate	[-]	5 von 10

Tabelle 8: Einstellungen am Bandscheider für die Sortierung von Rohsalz

7.2.3. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die vollständigen Auswertungstabellen finden sich im Anhang in Kapitel 15.2.3 Bandscheider: Versuchsprotokolle ab Seite 111 und Kapitel 15.2.4 Auswertung und Analyse ab Seite 111 wieder. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bilanzen der durchgeführten Versuche (V1 und V2). Die Versuche V3 und V4 mussten wegen starker Agglomeration des Salzes abgebrochen werden.

	Masse [%]	Gehalt		Inhaltsausbringen	
		löslich [%]	unlöslich [%]	löslich [%]	unlöslich [%]
V1					
Konzentrat	94,1	98,53	1,47	94,2	85,5
Berge	5,9	96,03	3,97	5,8	14,5
Aufgabe	100,0	98,39	1,61	100,0	100,0
V2					
Konzentrat	96,4	98,71	1,29	96,6	82,2
Berge	3,6	92,46	7,54	3,4	17,8
Aufgabe	100,0	98,48	1,52	100,0	100,0

Tabelle 9: Bilanz zu den Versuchen mit Rohsalz

Bei Betrachtung der beiden Bilanzen können geringe An- bzw. Abreicherungs-effekte erkannt werden. Insbesondere gilt dies für Versuch zwei (V2), bei dem das Konzentrat einen Gehalt an löslichen Bestandteilen von 98,71 [%] bei einem Inhaltsausbringen von 96,6 [%] aufweist. Allerdings werden dabei auch 82,2 [%] des Inhalts an unlöslichen Bestandteilen im Konzentrat von V2 ausgebracht. Somit konnte in Versuch

zwei ein vielversprechenderes Ergebnis erzielt werden, als bei Versuch eins. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Konzentrate der beiden Versuche in Verbindung mit den eingestellten Stufen:

Versuch Nr.	relative Luftfeuchte [%]	Aufgabetemperatur [°C]	Gehalt lösl. Best. [%]	Inhaltsausbringen Konzentrat [%]
1	-1	-1	98,53	94,22
2	-1	1	98,71	96,64
3	1	-1	-	-
4	1	1	-	-

Tabelle 10: Versuchsergebnisse bei der Sortierung von Rohsalz

Anhand der Darstellung der Mittelwerte der durchgeführten Versuche lässt sich ablesen, dass Versuch zwei ein vielversprechenderes Ergebnis erzielt hat, als Versuch eins. Bei Versuch zwei wurde die Einstellung der geringeren Luftfeuchte und der erhöhten Rohguttemperatur der Aufgabe gewählt.

Die Versuche drei und vier wurden bei einer relativen Luftfeuchte von 74 [%] durchgeführt. Dies führte sowohl bei der erwärmten Aufgabe als auch bei der raumtemperierten Aufgabe zu keinem Sortierergebnis und die Versuche mussten abgebrochen werden, da es zu einer starken Agglomeration der Aufgabe kam. Das Rohsalz verlegte bzw. verklebte den Trenraum des Bandscheiders und eine Sortierung war nicht möglich, da die Körner nicht mehr der Umlaufrichtung des Bandes folgten.

Die Gründe für das Verhalten des Rohsalzes bei hoher relativer Luftfeuchte lassen sich in der Literatur finden: Die Feuchtigkeitsaufnahme von Salz ist durch die relative Luftfeuchtigkeit rHd bestimmt. Oberhalb von in etwa 75 [%] relativer Luftfeuchte, der sogenannten Deliqueszenzfeuchte, nimmt das Rohsalz sehr stark und schnell Wasser aus der Luft auf und bildet einen oberflächlichen Solefilm. Die Auswirkung der Deliqueszenzfeuchte ist in der nachfolgenden Abbildung bildlich dargestellt: [25]

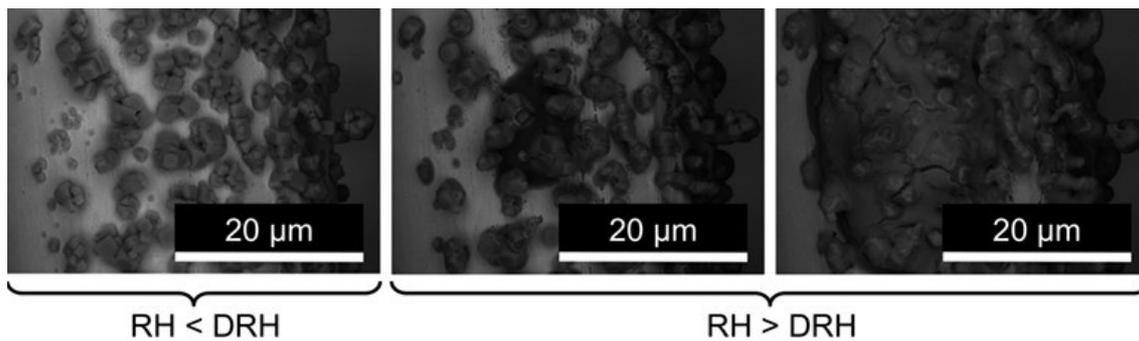


Abbildung 16: Auswirkung der relativen Luftfeuchtigkeit auf Rohsalz [25]

7.2.4. RESÜMEE

Auf Grund der unvollständigen Durchführung des Versuchplanes ist eine Auswertung mittels Varianzanalyse und Effektdiagramm nicht möglich.

Die Erkenntnis aus den durchgeführten Versuchen ist, dass eine Sortierung von Rohsalz im elektrischen Feld nur bei einer geringen relativen Luftfeuchte sinnvoll bzw. überhaupt möglich ist. Eine Erhöhung des Sortiererfolges ließ sich durch die Erwärmung des Rohgutes erzielen.

7.3. MAGNESIUMOXID

Die Versuchskampagne mit Magnesiumoxid (kurz: MgO) baut auf vorangegangene Untersuchungen zur triboelektrostatischen Sortierung dieses Rohgutes auf. Die bisherigen Erkenntnisse sind in unterschiedlichen Veröffentlichungen und Studienarbeiten des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung ersichtlich und finden sich im Anhang in Kapitel 14.1 auf Seite 106 wieder. Ziel der Versuche im Zuge dieser Arbeit war es, einen Überblick über die Einflüsse der relativen Luftfeuchte und der Temperatur des Rohgutes zu erlangen. Sämtliche Versuche fanden in der Klimakammer des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung mit dem triboelektrostatischen Bandscheider statt. Die chemische Analyse der produzierten Bergeprodukte und Konzentrate erfolgte durch die Firma „Styromag Steirische Magnesitindustrie GmbH“.

7.3.1. ROHGUTCHARAKTERISTIK

Bei dem zu untersuchenden Rohgut handelt es sich um einen kaustisch gebrannten Magnesit (chemisch: Magnesiumoxid, kurz: MgO), welcher von der Firma Styromag Steirische Magnesitindustrie GmbH zur Verfügung gestellt wurde. Eine umfassende Rohgutanalyse wurde bereits durch vorangegangene Studien am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung durchgeführt. Die Versuche mit dem Rohgut im Rahmen dieser Arbeit bauen auf diesen Erkenntnissen auf. Eine Auflistung der vorangegangenen Studien findet sich im Anhang in Kapitel 14.1 auf Seite 106 wieder.

Das Rohgut wurde in verschweißten durchsichtigen Kunststoffsäcken angeliefert. Der kaustisch gebrannte Magnesit wurde im Etagenofen der Firma Styromag produziert. Das Ziel der Sortierversuche ist, eine Trennung des Magnesiumoxids von dessen Begleitmineralen (hauptsächlich Silikate) herbeizuführen.

Die Dichte der eingegangenen Rohgutprobe wurde mittels Heliumpyknometer im Aufbereitungslabor des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung bestimmt. Die durchschnittliche Rohdichte der Rohguteingangsprobe betrug 3,44 [g/cm³].

Die Analysen der Produkte des Bandscheiders wurden von Seiten der Firma Styromag mittels Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt. Die vollständige Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse findet sich im Anhang im Kapitel 15.3.2 Bandscheider: Versuchsprotokolle ab Seite 114 wieder.

7.3.2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

Die vorliegende Rohgutprobe wurde im Dezember 2018 hergestellt und in durchsichtigen verschlossenen Probensäcken abgefüllt. Für die Versuche am Bandscheider fließen die Erkenntnisse vorangegangener Versuchskampagnen (im Rahmen des Dissertationsprojektes „Mineralphasentrennung nach Triboaufladung“) mit ein. Ziel dieser Versuche ist es, die Erkenntnisse über die Einflüsse von zusätzlichen Parametern und deren Wechselwirkung zueinander zu erweitern. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Rohguttemperatur der Aufgabe und die relative Luftfeuchte verändert. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über den durchgeführten Versuchsplan.

Versuch	Rohguttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Tabelle 11: Versuchseinstellungen für die Sortierung von MgO

Die untere Stufe (-) der Rohgutaufgabetemperatur stellt die Temperatur der Umgebung bei zirka 25 [°C] dar. Für die obere Stufe (+) wurde das Rohgut im Trockenschrank bei 80 [°C] aufgeheizt und damit manipulationsbedingt mit einer Rohguttemperatur von zirka 60 [°C] auf den Bandscheider aufgegeben. Die geringere relative Luftfeuchte wurde in einem Bereich von 20-30 [%] eingestellt. Die höhere relative Luftfeuchte wurde auf einen Bereich von 60-80 [%] eingestellt. Die

Raumtemperatur in der Klimakammer des Lehrstuhls betrug während der Versuchsdurchführung 25 [°C].

Die Maschineneinstellungen blieben während des gesamten Versuches unverändert und sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet:

Bezeichnung	Einheit	Einstellung
Elektrodenabstand	[mm]	10
Bandgeschwindigkeit	[fps]	20
angelegte Spannung	[kV]	6
Polarität der Kopfelektrode	[-]	positiv
Aufgaberate	[-]	6 von 10

Tabelle 12: Einstellungen am Bandscheider für die Sortierung von MgO

Je Versuch wurden zirka 700 Gramm der Rohgutprobe auf den Bandscheider aufgegeben. Die Versuchsdurchführung mit denselben Einstellungen wurde dreimal umgesetzt. Für die Auswertung wurde aus den jeweiligen Versuchen das arithmetische Mittel für das mittels RFA bestimmte Beurteilungskriterium (Gehalte CaO, MgO und SiO₂) gebildet. Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche am Bandscheider findet sich im Anhang ab Seite 115 wieder.

7.3.3. VERSUCHSAUSWERTUNG

Ziel der Versuche mit kaustisch gebranntem Magnesit war es, den MgO-Gehalt im Konzentrat zu erhöhen und die Nebenbestandteile (CaO und SiO₂) abzutrennen. Die Auswertung und Analyse der Bandscheiderprodukte erfolgte durch die Auswertung mittels RFA, durchgeführt von der Firma Styromag, mit anschließender Bilanzierung. Dabei wurden das Hauptaugenmerk auf die Gehalte an MgO, CaO und SiO₂ sowie deren Inhaltsausbringen in den erzeugten Bandscheiderprodukten der unterschiedlichen Stufen gelegt. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt über deren arithmetischen Mittelwerte der Versuchswiederholungen. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Bilanz dargestellt:

	Masse [%]	Gehalt			Inhaltsausbringen		
		CaO [%]	SiO ₂ [%]	MgO [%]	CaO [%]	SiO ₂ [%]	MgO [%]
V1							
Konzentrat	72,4	4,33	1,17	86,17	76,7	20,9	74,5
Berge	27,6	3,47	11,60	77,53	23,3	79,1	25,5
Aufgabe	100,0	4,09	4,04	83,79	100,0	100,0	100,0
V2							
Konzentrat	65,9	4,43	0,83	86,03	71,0	18,8	66,9
Berge	34,1	3,50	6,93	82,13	29,0	81,2	33,1
Aufgabe	100,0	4,12	2,91	84,70	100,0	100,0	100,0
V3							
Konzentrat	44,4	4,33	1,57	85,67	46,8	19,6	45,2
Berge	55,6	3,93	5,13	82,93	53,2	80,4	54,8
Aufgabe	100,0	4,11	3,55	84,15	100,0	100,0	100,0
V4							
Konzentrat	61,4	4,37	0,87	85,80	64,7	15,2	63,0
Berge	38,6	3,80	7,73	80,37	35,3	84,8	37,0
Aufgabe	100,0	4,15	3,51	83,71	100,0	100,0	100,0

Tabelle 13: Bilanzen zu den Sortierversuchen mit MgO

Die Auswertung der Versuche mit der Darstellung als Bilanz über Masseausbringen, Gehalt und Inhaltsausbringen ergab, dass bei Versuch eins das beste Ergebnis erzielt wurde. Der Gehalt an MgO im Konzentrat beträgt 86,17 [%] bei einem Inhaltsausbringen von 74,5 [%]. Der Gehalt an SiO₂ im Konzentrat beträgt 1,17 [%] bei einem Inhaltsausbringen von 20,9 [%]. Der für ein hochwertiges MgO-Konzentrat erforderliche MgO-Gehalt von 90 [%] konnte jedoch bei keinem Versuch erreicht werden.

7.3.4. BEURTEILUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Durch die Beurteilung anhand der Mittelwerte können mathematisch die vielversprechendsten Einstellungen ermittelt werden. Die arithmetischen Mittelwerte wurden aus den jeweiligen Versuchen und ihren Wiederholungen ermittelt. Sämtliche Bilanzen und Berechnungen der durchgeführten Versuche finden sich im Anhang ab Seite 116 wieder.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Mittelwerte der Ergebnisse der Gehalte von MgO, CaO und SiO₂ und dessen Inhaltsausbringen im Konzentrat zusammengefasst.

Versuch	relative Luftfeuchte [%]	Aufgabetemperatur [°C]	Gehalt			Inhaltsausbringen		
			CaO [%]	SiO ₂ [%]	MgO [%]	CaO [%]	SiO ₂ [%]	MgO [%]
1	-1	-1	4,33	1,17	86,17	76,67	20,91	74,50
2		1	4,43	0,83	86,03	70,99	18,85	66,93
3	1	-1	4,33	1,57	85,67	46,76	19,57	45,16
4		1	4,37	0,87	85,80	64,68	15,15	62,98

Tabelle 14: Arithmetische Mittelwerte der Analysierten Größen im MgO-Konzentrat

Aus den Ergebnissen der Versuche ist ersichtlich, dass der höchste Gehalt an MgO bei Versuch eins mit 86,17 [%] erreicht wurde. Die relative Luftfeuchte betrug dabei zirka 25 [%] und die Rohguttemperatur der Aufgabe lag bei Umgebungstemperatur bei in etwa 25 [°C]. Das größte Inhaltsausbringen von MgO konnte mit 74,50 [%] ebenfalls bei Versuch eins verzeichnet werden. SiO₂ sollten in das Bergeprodukt überführt werden und somit ein geringer Gehalt und Inhaltsausbringen im Konzentrat angestrebt werden.

7.3.5. VARIANZANALYSE

Die Berechnungen und Versuchsergebnisse für die Wechselwirkungen und die Varianzanalyse finden sich im Anhang im Kapitel 15.3.5 Varianzanalyse ab Seite 117 wieder.

Bei der Auswertung der Ergebnisse mittels Varianzanalyse ergab sich, dass die Hypothese auf Gleichheit der Mittelwerte für die relative Luftfeuchte des Rohgutes MgO abgelehnt wird, was bedeutet, dass die relative Luftfeuchte einen wesentlichen Einfluss auf das Sortierergebnis darstellt.

7.3.6. EFFEKTDIAGRAMME

Das Effektdiagramm des Ergebnisses über das Inhaltsausbringen von MgO im Konzentrat ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt. Die Effektdiagramme der anderen Merkmale finden sich im Anhang ab Seite 122 wieder.

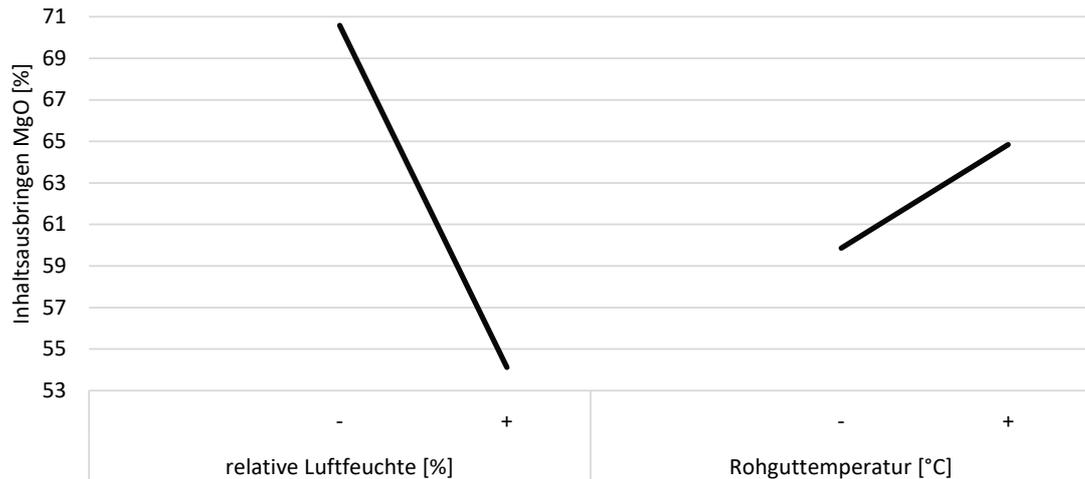


Diagramm 3: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im MgO-Konzentrat

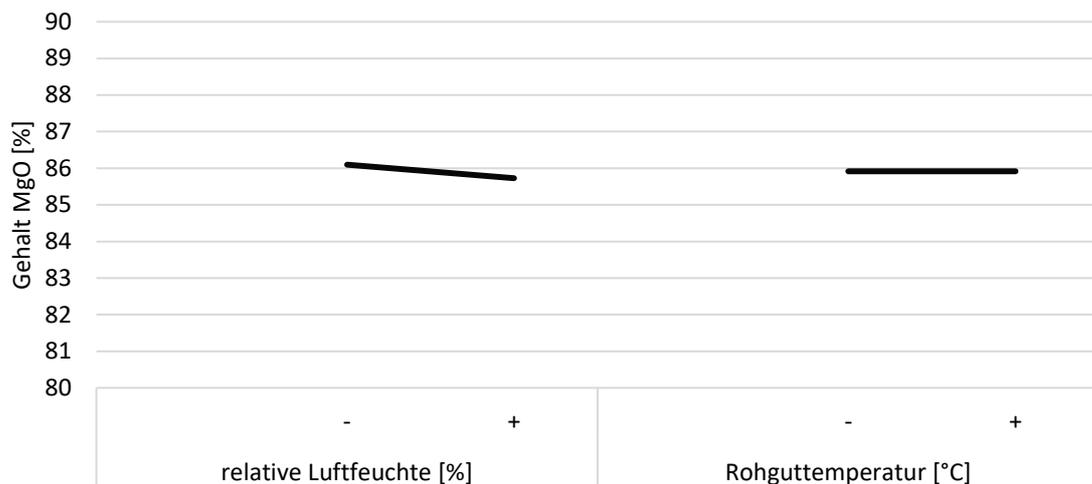


Diagramm 4: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an MgO im MgO-Konzentrat

Aus dem Effektdiagramm lässt sich ablesen, dass die relative Luftfeuchte einen höheren Einfluss auf das Versuchsergebnis hat als die Aufgabetemperatur.

Als am vielversprechendsten stellte sich die Kombination aus geringer relativer Luftfeuchte und erhöhter Aufgabetemperatur heraus.

7.3.7. RESÜMEE

Anhand der durchgeführten Versuche ergab sich, dass der vielversprechendste Versuch bei einer relativen Luftfeuchte von 25 [%] und einer Rohguttemperatur der Aufgabe von 80 [°C] erzielt werden konnte.

Dabei spielt der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit eine größere Rolle als die Aufgabetemperatur des Rohgutes.

7.4. ROHMAGNESIT

Bei dem Rohmagnesit der Firma Styromag handelt es sich um den selektiv, nach Kundenanforderungen gezielt gewonnenen Rohstoff. Rohmagnesit ist chemisch ein Magnesiumcarbonat, dessen Haupteinsatzgebiet in der Eisen- und Stahlindustrie liegt. [26]

7.4.1. ROHGUTCHARAKTERISTIK

Das Rohgut wurde in verschweißten durchsichtigen Kunststoffsäcken angeliefert. Dieser Magnesit ist das Ausgangsprodukt für die Herstellung des kaustisch gebrannten Magnesits der Firma Styromag. Ziel ist eine Trennung des Magnesits von seinen Begleitmineralen (Hauptsächlich Silikate).

Die Korngrößenverteilung der eingegangenen Probe wurde mittels Sedigraph am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung ermittelt und ist im nachfolgenden Diagramm ersichtlich:

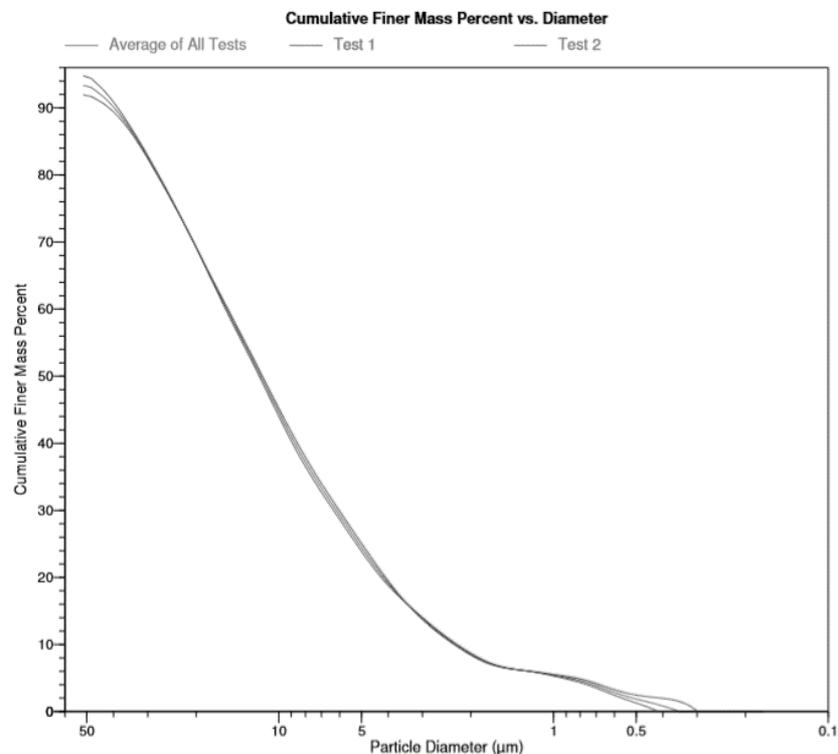


Diagramm 5: Korngrößenverteilung des Rohmagnesits

Die Analysen der Produkte des Bandscheiders wurden von der Firma Styromag mittels Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt. Die vollständige Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse findet sich im Anhang im Kapitel 15.4.2 ab Seite 126 wieder.

7.4.2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

Die vorliegende Rohgutprobe wurde in durchsichtigen verschlossenen Probensäcken abgefüllt und an den Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung geliefert. Für die Versuche am Bandscheider fließen die Erkenntnisse vorangegangener Versuchskampagnen zur elektrostatischen Sortierung von Karbonaten und Silikaten (im Rahmen des Dissertationsprojektes „Mineralphasentrennung nach Triboaufladung“) mit ein. Ziel ist es, die Erkenntnisse über die Einflüsse der Parameter und deren Wechselwirkung zueinander zu erweitern. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden bei den Versuchen mit Rohmagnesit die Maschinenparameter

- angelegte Spannung
- Bandgeschwindigkeit
- Polarität der Kopfelektrode
- Elektrodenabstand
- Aufgaberate

gezielt verändert und dokumentiert. Eine Übersicht über die oberen und unteren Stufen der zu verändernden Maschinenparameter für den Versuchsplan liefert die nachfolgende Tabelle:

Stufe	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
-	17	9	3	negativ	5
+	32,5	14	6	positiv	10

Tabelle 15: Maschinenparameter am Bandscheider

Pro Versuch wurden zirka 600 Gramm Rohgutprobe auf den Bandscheider aufgegeben. Jeder Versuch wurde mit denselben Einstellungen zweimal durchgeführt. Für die Auswertung wurde aus den jeweiligen Versuchen das arithmetische Mittel gebildet. Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche am Bandscheider findet sich im Anhang in Kapitel 15.3.2 ab Seite 114 wieder.

Als Versuchsplan wurde ein teilfaktorieller Versuchsplan 2^{5-1} gewählt. Die folgende Tabelle soll den Überblick über den festgelegten Versuchsplan geben:

Versuch Nr.	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
1	-	-	-	+	-
2	-	-	+	+	+
3	+	-	-	+	+
4	+	-	+	+	-
5	-	+	-	+	+
6	-	+	+	+	-
7	+	+	-	+	-
8	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+
10	-	-	+	-	-
11	+	-	-	-	-
12	+	-	+	-	+
13	-	+	-	-	-
14	-	+	+	-	+
15	+	+	-	-	+
16	+	+	+	-	-

Tabelle 16: Versuchseinstellungen für die Sortierung von Rohmagnesit

Jeder Versuch wurde zweimal durchgeführt und daraus einen Mittelwert gebildet. Die äußeren Parameter wurden während der Versuche mit dem Rohmagnesit nicht verändert. Dazu zählen

- Relative Luftfeuchte
- Temperatur des Rohgutes
- Umgebungstemperatur
- Feuchte des Rohgutes

7.4.3. VERSUCHSAUSWERTUNG

Ziel der Versuche mit dem Rohmagnesit war es, den MgO-Gehalt im Konzentrat zu steigern und dabei die Nebenbestandteile abtrennen. Die Auswertung und Analyse der Bandscheiderprodukte erfolgte durch die Bestimmung der säureunlöslichen Bestandteile in Kombination mit der von der Firma Styromag durchgeführten RFA mit anschließender Bilanzierung. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die Gehalte an MgO, CaO und HCl unl., sowie deren Inhaltsausbringen in den Bandscheiderprodukten bei den unterschiedlichen Stufen gelegt. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt über deren arithmetische Mittelwerte der jeweiligen Versuchswiederholungen. Der vielversprechendste und der schlechteste Versuch sind nachfolgend dargestellt. Die Bilanzen über sämtliche Versuche findet sich im Anhang ab Seite 130 wieder:

	Masse [%]	Gehalt			Inhaltsausbringen		
		CaO [%]	HCl unl. [%]	MgO [%]	CaO [%]	HCl unl. [%]	MgO [%]
V1							
Konzentrat	78,6	4,35	9,90	37,90	89,8	33,8	93,1
Berge	21,4	1,82	71,23	10,38	10,2	66,2	6,9
Aufgabe	100,0	3,81	23,04	32,01	100,0	100,0	100,0
V9							
Konzentrat	31,4	2,80	10,24	38,81	37,2	13,6	37,3
Berge	68,6	2,17	29,88	29,84	62,8	86,4	62,7
Aufgabe	100,0	2,37	23,71	32,66	100,0	100,0	100,0

Tabelle 17: Auszug aus den Bilanzen zu den Versuchen mit Rohmagnesit

Versuch eins stellte sich als der vielversprechendste Versuch heraus. Es konnte ein Inhaltsausbringen von 93,1 [%] an MgO im Konzentrat bei einem MgO-Gehalt von 37,90 [%] erzielt werden.

Versuch neun konnte nur ein Inhaltsausbringen an MgO von 37,3 [%] erreichen. Der Großteil des vorhandenen MgO in der Aufgabe ging in den Bergen mit 62,7 [%] verloren.

7.4.4. BEURTEILUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Durch die Beurteilung anhand der Mittelwerte kann mathematisch die vielversprechendste Stufenkonstellation ermittelt werden. Die arithmetischen Mittelwerte wurden aus den jeweiligen Versuchen und ihren Wiederholungen ermittelt. Sämtliche Bilanzen und Berechnungen der durchgeführten Versuche finden sich im Anhang ab Seite 132 wieder

Aus den Ergebnissen der Versuche ist ersichtlich, dass der höchste MgO-Gehalt bei Versuch acht mit 42,84 [%] erreicht wurde. Das größte Inhaltsausbringen von MgO konnte mit 93,05 [%] bei Versuch eins verzeichnet werden.

Der geringste MgO-Gehalt wurde bei Versuch zwei mit 37,70 [%] gemessen. Das geringste Inhaltsausbringen von MgO im Konzentrat trat bei Versuch Nummer neun mit 37,34 [%] auf.

Versuch	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]	Gehalt			Inhaltsausbringen		
						CaO [%]	HCl unl. [%]	MgO [%]	CaO [%]	HCl unl. [%]	MgO [%]
1	-1	-1	-1	1	-1	4,35	9,90	37,90	89,76	33,77	93,05
2	-1	-1	1	1	1	3,15	13,05	37,70	85,72	48,09	90,44
3	1	-1	-1	1	1	3,30	8,03	40,27	82,56	24,85	87,85
4	1	-1	1	1	-1	3,15	6,69	40,12	81,52	21,47	89,21
5	-1	1	-1	1	1	2,66	8,12	39,92	76,89	30,13	80,38
6	-1	1	1	1	-1	2,66	6,49	40,98	73,83	22,99	80,54
7	1	1	-1	1	-1	2,52	4,15	42,14	62,86	11,58	71,20
8	1	1	1	1	1	2,52	3,84	42,84	59,52	9,49	68,13
9	-1	-1	-1	-1	1	2,80	10,24	38,81	37,16	13,57	37,34
10	-1	-1	1	-1	-1	3,15	9,98	39,01	74,54	28,21	76,05
11	1	-1	-1	-1	-1	3,93	8,44	38,56	76,98	24,13	81,53
12	1	-1	1	-1	1	3,44	6,53	41,18	71,12	17,61	75,20
13	-1	1	-1	-1	-1	3,22	6,30	41,93	70,70	20,31	76,38
14	-1	1	1	-1	1	2,24	6,49	41,13	42,79	14,70	53,73
15	1	1	-1	-1	1	2,66	4,92	42,04	79,29	19,74	87,40
16	1	1	1	-1	-1	2,17	5,46	42,19	73,96	23,23	89,91

Tabelle 18: Arithmetische Mittelwerte der analysierten Größen im Magnesit-Konzentrat

7.4.5. VARIANZANALYSE

Die Berechnungen für die Varianzanalyse von Rohmagnesit finden sich im Anhang in Kapitel 15.4.5 Varianzanalyse ab Seite 134 wieder. Dabei wurden die Einflüsse der unterschiedlichen Faktoren und deren Wechselwirkung zueinander untersucht. Der Vertrauensbereich (Signifikanzniveau) wurde mit 95 [%] ausgewählt.

Die Varianzanalyse zeigt, dass die Faktoren „Bandgeschwindigkeit“, „Elektrodenabstand“ und „Polarität der Kopfelektrode“ einen hohen Einfluss auf das Sortierergebnis haben. Ebenso spielen die Wechselwirkung aus „Bandgeschwindigkeit“ zu „Polarität der Kopfelektrode“ und „Bandgeschwindigkeit“ zu „Aufgaberate“ eine wichtige Rolle.

7.4.6. EFFEKTDIAGRAMME

Die Effektdiagramm der Ergebnisse über die Gehalte von MgO, CaO und HCl unl. finden sich im Anhang ab Seite 140 wieder.

Das Effektdiagramm des Ergebnisses über das Inhaltsausbringen von MgO im Konzentrat ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt.

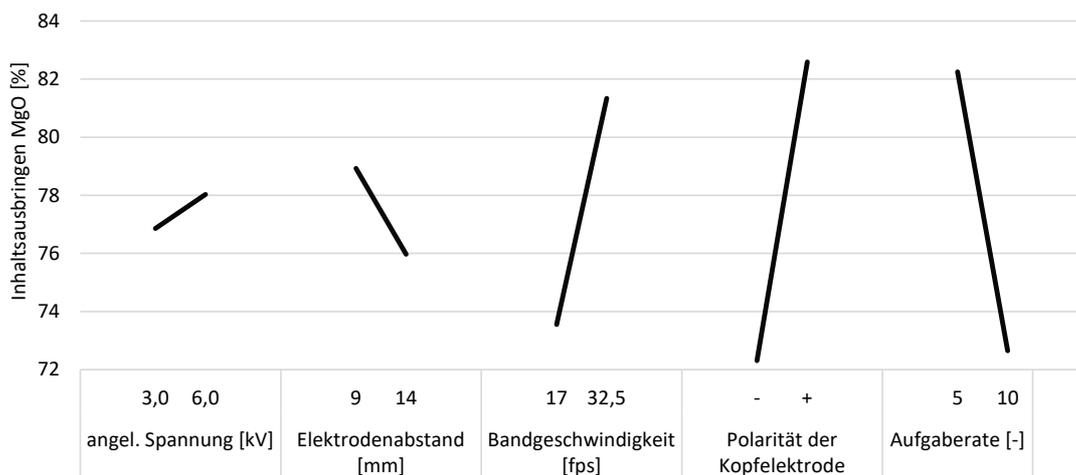


Diagramm 6: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im Magnesit-Konzentrat

Anhand der Steigung der Geraden im Effektdiagramm lässt sich ablesen, dass die Bandgeschwindigkeit, die Polarität der Kopfelektrode und die Aufgaberate eine größere Rolle spielen als die angelegte Spannung und der Elektrodenabstand. Für das vielversprechendste Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat wäre die Einstellung hohe Spannung, geringer Elektrodenabstand, hohe Bandgeschwindigkeit, positive Polarität der Kopfelektrode und eine geringe Aufgaberate einzustellen.

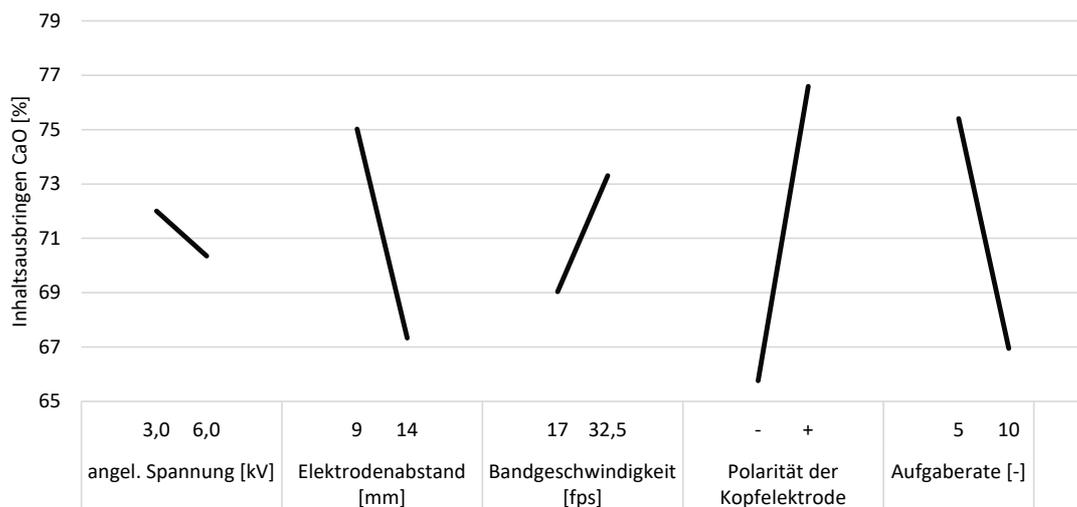


Diagramm 7: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an CaO im Magnesit-Konzentrat

Im Effektdiagramm für das Inhaltsausbringen an CaO lässt sich ablesen, dass der Elektrodenabstand, die Polarität der Kopfelektrode und die Aufgaberate eine größere Rolle spielen als die angelegte Spannung und die Bandgeschwindigkeit. Für das vielversprechendste Inhaltsausbringen an CaO wäre somit die Einstellung geringe Spannung, geringer Elektrodenabstand, hohe Bandgeschwindigkeit, positive Polarität der Kopfelektrode und geringe Aufgaberate einzustellen.

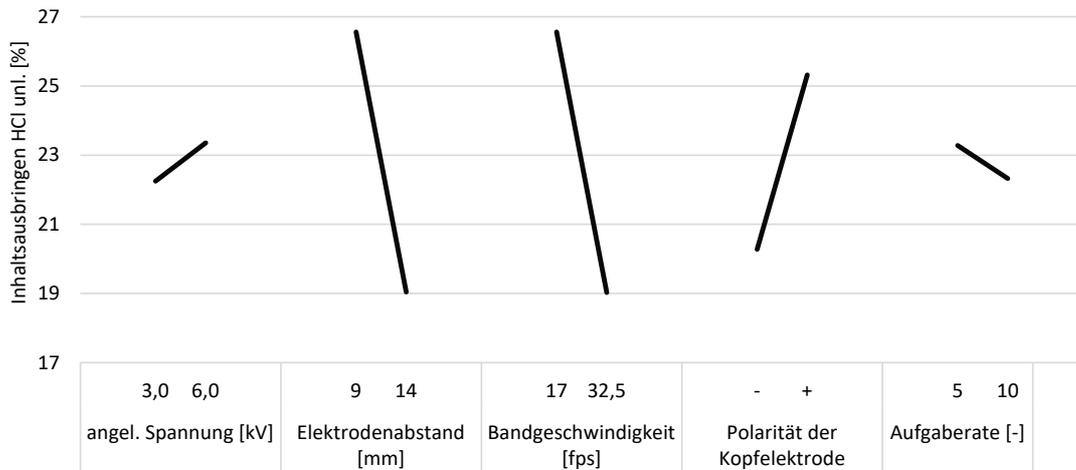


Diagramm 8: Effektendiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an HCl unl. Bestandteilen im Magnesit-Konzentrat

Für die erwünschte Konzentratqualität mit hohem Inhaltsausbringen an MgO sollte der HCl unlösliche Anteil (HCL unl.) so gering wie möglich sein. Im Effektendiagramm für das Inhaltsausbringen an HCl unl. lässt sich ablesen, dass der Elektrodenabstand, die Bandgeschwindigkeit und die Polarität der Kopfelektrode einen größeren Einfluss haben als die angelegte Spannung und die Aufgaberate. Für ein vielversprechendes Inhaltsausbringen von HCl unl. für das Konzentrat mit hohem Inhaltsausbringen an MgO sollte eine geringe angelegte Spannung, ein hoher Elektrodenabstand, eine hohe Bandgeschwindigkeit, eine negative Kopfelektrode und eine hohe Aufgaberate ausgewählt werden.

7.4.7. RESÜMEE

Setzt man die Effekte der Parameter in Beziehung zueinander, ergeben sich daraus folgende Einstellungen am Bandscheider für das vielversprechendste Ergebnis:

Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
32,5	9	6	positiv	5

Tabelle 19: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Rohmagnesit

Die in Tabelle 19 zusammengefassten Ergebnisse sind die vielversprechendsten für ein hohes Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat. Dabei muss jedoch in Kauf genommen werden, dass keine optimale Abreicherung von CaO und den HCl unl. Bestandteilen erfolgt.

Durch die Bewertung über die Varianzanalyse und die Effektdiagramme lässt sich ablesen, dass die Bandgeschwindigkeit, der Elektrodenabstand und die Polarität der Elektroden einen hohen Einfluss auf das Sortierergebnis haben. Den geringsten Einfluss für den Sortiererfolg stellt die angelegte Spannung dar.

Die Varianzanalyse zeigt, dass die Faktoren „Bandgeschwindigkeit“, „Elektrodenabstand“ und „Polarität der Kopfelektrode“ einen hohen Einfluss auf das Sortierergebnis haben. Ebenso spielen die Wechselwirkung „Bandgeschwindigkeit“ zu „Polarität der Kopfelektrode“ und „Bandgeschwindigkeit“ zu „Aufgaberate“ eine wichtige Rolle.

7.5. GULSENIT

Bei Gulsenit der Firma Styromag GmbH handelt es sich um eine hoch aktive, natürliche Kiesel Erde mit hoher spezifischer Oberfläche. Zu den Hauptanwendungsgebieten zählen die Eiweißstabilisierung in der Getränkeindustrie, die Feuerfestindustrie und der Einsatz in Magnesiafußböden zur Erhöhung der Feuchtigkeitsbeständigkeit. [26]

7.5.1. ROHGUTCHARAKTERISTIK

Das Rohgut wurde in verschweißten durchsichtigen Säcken angeliefert, die im Werk der Firma Styromag befüllt wurden. Ziel ist eine Trennung der Kiesel Erde von den Begleitmineralen, was einer Anreicherung von Silikaten im Konzentrat entspricht.

Die Korngrößenverteilung der eingegangenen Probe wurde mittels Handsiebung und Sedigraphmessung am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung ermittelt und ist in den nachfolgenden Diagrammen ersichtlich:

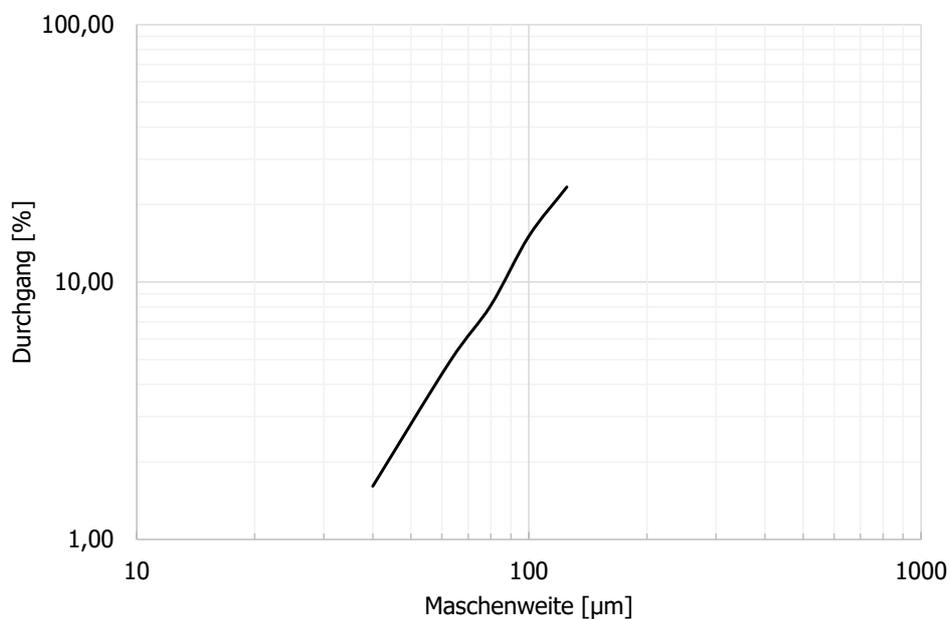


Diagramm 9: Korngrößenverteilung von Gulsenit aus der Handsiebung im logarithmischen Netz

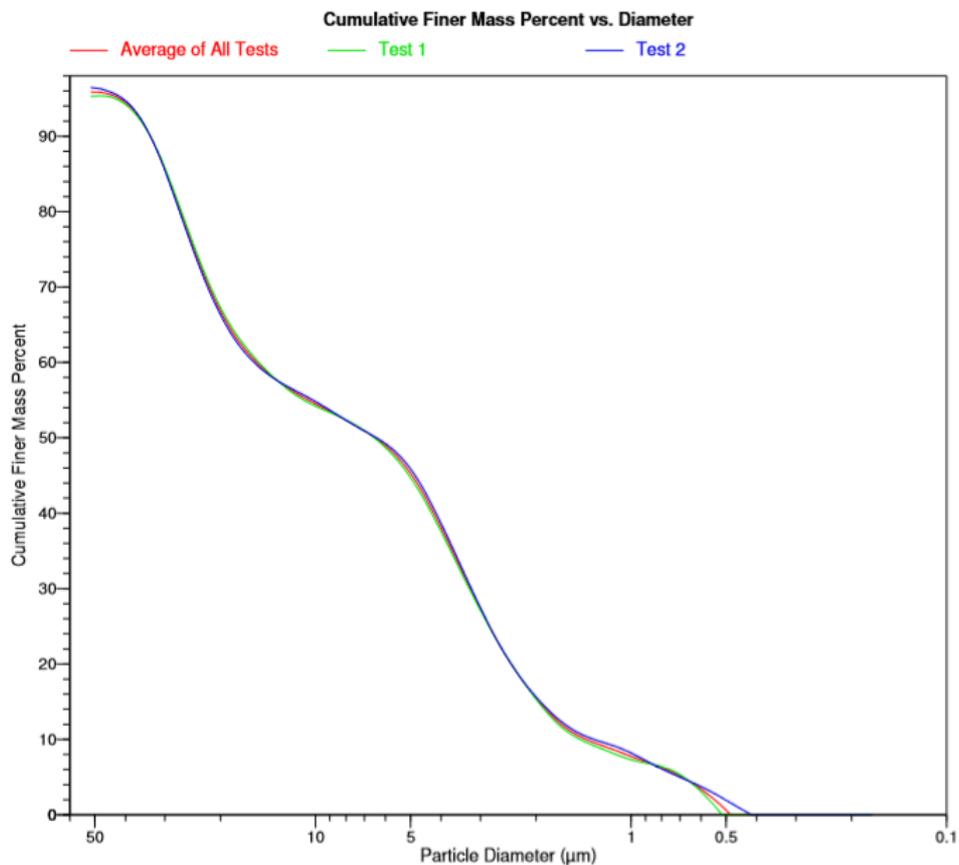


Diagramm 10: Korngrößenverteilung der Sedigraphmessung von Gulsenit

Die Analysen der Produkte des Bandscheiders wurden von Seiten der Firma Styromag mittels RFA in Kombination mit der Bestimmung an säureunlöslichen Bestandteilen durchgeführt. Die vollständige Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse findet sich im Anhang im Kapitel 15.5 Gulsenit ab Seite 142 wieder.

7.5.2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

Die vorliegende Rohgutprobe wurde in durchsichtigen, verschlossenen Probensäcken abgefüllt und an den Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung geliefert. Für die Versuche am Bandscheider fließen die Erkenntnisse vorangegangener Versuchskampagnen (im Zuge des Projektes „Mineralphasentrennung nach Triboaufladung“) mit ein. Ziel ist es, die Erkenntnisse über die Einflüsse der Parameter und deren Wechselwirkung zueinander zu erweitern. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden bei den Versuchen mit Gulsenit die Maschinenparameter

- angelegte Spannung
- Bandgeschwindigkeit
- Polarität der Kopfelektrode
- Elektrodenabstand
- Aufgaberate

gezielt verändert und dokumentiert. Eine Übersicht über die oberen (+) und unteren (-) Stufen der zu verändernden Maschinenparameter für den Versuchsplan liefert die nachfolgende Tabelle:

Stufe	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
-	17	9	3	negativ	5
+	32,5	14	6	positiv	10

Tabelle 20: Maschinenparameter am Bandscheider

Pro Versuch wurden zirka 600 Gramm Rohgutprobe auf den Bandscheider aufgegeben. Jeder Versuch wurde mit denselben Einstellungen zweimal durchgeführt. Für die Auswertung wurde aus den jeweiligen Versuchen das arithmetische Mittel gebildet. Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche am Bandscheider findet sich im Anhang ab Seite 143 wieder.

Als Versuchsplan wurde ein teilfaktorieller Versuchsplan vom Typ 2^{5-1} gewählt. Die folgende Tabelle soll den Überblick über den festgelegten Versuchsplan geben:

Versuch Nr.	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
1	-	-	-	+	-
2	-	-	+	+	+
3	+	-	-	+	+
4	+	-	+	+	-
5	-	+	-	+	+
6	-	+	+	+	-
7	+	+	-	+	-
8	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+
10	-	-	+	-	-
11	+	-	-	-	-
12	+	-	+	-	+
13	-	+	-	-	-
14	-	+	+	-	+
15	+	+	-	-	+
16	+	+	+	-	-

Tabelle 21: Versuchseinstellungen für die Sortierung von Gulsenit

Jeder Versuch wurde zweimal durchgeführt und daraus der Mittelwert gebildet. Die äußeren Parameter wurden während der Versuche mit dem Gulsenit nicht verändert.

Dazu zählen

- Relative Luftfeuchte
- Temperatur des Rohgutes
- Umgebungstemperatur
- Feuchte des Rohgutes

7.5.3. VERSUCHSAUSWERTUNG

Ziel der Versuche mit Gulsenit war es, die hoch aktive Kieselerde von den Nebenbestandteilen abzutrennen. Die Auswertung und Analyse der Bandscheiderprodukte erfolgte durch die Bestimmung der säureunlöslichen Bestandteile in Kombination mit der RFA von Firmenseite und anschließend durchgeführter Bilanzierung. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die Gehalte an MgO, CaO und HF unl., sowie deren Inhaltsausbringen in den Bandscheiderprodukten bei den unterschiedlichen Stufen gelegt. In Absprache mit der Firma Styromag wurde das Konzentrat als das Produkt mit dem höchsten Gehalt bzw. Inhaltsausbringen an

MgO definiert. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt über deren arithmetischen Mittelwerte der jeweiligen Versuchswiederholungen. Der vielversprechendste und der schlechteste Versuch sind nachfolgend dargestellt. Die Bilanzen über sämtliche Versuche findet sich im Anhang ab Seite 147 wieder:

	Masse [%]	Gehalt			Inhaltsausbringen		
		CaO [%]	HF unl. [%]	MgO [%]	CaO [%]	HF unl. [%]	MgO [%]
V5							
Konzentrat	93,1	0,42	2,78	5,45	92,0	88,1	93,7
Berge	6,9	0,49	5,02	4,94	8,0	11,9	6,3
Aufgabe	100,0	0,42	2,94	5,41	100,0	100,0	100,0
V14							
Konzentrat	33,5	0,84	3,07	2,67	35,5	21,1	22,1
Berge	66,5	0,77	5,79	4,74	64,5	78,9	77,9
Aufgabe	100,0	0,79	4,87	4,04	100,0	100,0	100,0

Tabelle 22: Auszug aus den Bilanzen zu den Versuchen mit Gulsenit

Versuch fünf (V5) stellte sich als der vielversprechendste Versuch heraus. Es konnte ein Inhaltsausbringen von 93,7 [%] an MgO im Konzentrat bei einem Gehalt von 5,45 [%] erzielt werden.

Versuch vierzehn (V14) konnte ein Inhaltsausbringen an MgO von lediglich 22,1 [%] erreichen. Der Großteil des vorhandenen MgO in der Aufgabe ging in den Bergen mit 77,9 [%] verloren.

7.5.4. BEURTEILUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Durch die Beurteilung anhand der Mittelwerte kann mathematisch die vielversprechendste Stufenkonstellation ermittelt werden. Die arithmetischen Mittelwerte wurden aus den jeweiligen Versuchen und ihren Wiederholungen ermittelt. Sämtliche Bilanzen und Berechnungen der durchgeführten Versuche finden sich im Anhang in Kapitel 15.5.5 ab Seite 149 wieder:

Versuch	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]	Gehalt			Inhaltsausbringen		
						CaO [%]	HF unl. [%]	MgO [%]	CaO [%]	HF unl. [%]	MgO [%]
1	-1	-1	-1	1	-1	0,70	3,53	3,78	86,25	74,10	80,87
2	-1	-1	1	1	1	0,56	3,55	4,99	93,11	83,93	93,77
3	1	-1	-1	1	1	0,49	2,92	4,49	75,10	71,65	63,54
4	1	-1	1	1	-1	0,49	2,25	4,39	83,02	56,00	75,72
5	-1	1	-1	1	1	0,42	2,78	5,45	92,00	88,14	93,67
6	-1	1	1	1	-1	0,56	3,18	4,54	78,83	86,41	71,13
7	1	1	-1	1	-1	0,56	5,80	4,49	34,18	64,39	33,25
8	1	1	1	1	1	0,56	4,82	3,53	84,95	73,26	79,79
9	-1	-1	-1	-1	1	0,63	2,43	4,34	33,31	14,29	24,77
10	-1	-1	1	-1	-1	0,56	4,50	5,30	89,01	77,09	92,56
11	1	-1	-1	-1	-1	0,56	2,17	3,02	80,37	29,48	74,06
12	1	-1	1	-1	1	0,56	2,80	3,63	50,72	43,18	45,00
13	-1	1	-1	-1	-1	0,77	2,27	3,68	83,11	32,35	75,12
14	-1	1	1	-1	1	0,84	3,07	2,67	35,47	21,07	22,12
15	1	1	-1	-1	1	0,63	2,50	3,88	37,29	17,59	29,52
16	1	1	1	-1	-1	0,49	3,58	5,04	89,37	64,13	88,57

Tabelle 23: Arithmetische Mittelwerte der analysierten Größen im Gulsenit-Konzentrat

Aus den Ergebnissen der Versuche ist ersichtlich, dass der höchste MgO-Gehalt bei Versuch fünf mit 5,45 [%] erreicht worden ist. Das größte Inhaltsausbringen an MgO konnte mit 93,77 [%] bei Versuch zwei verzeichnet werden.

Der geringste MgO-Gehalt wurde bei Versuch vierzehn mit 2,67 [%] gemessen. Das geringste Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat trat ebenfalls bei Versuch Nummer vierzehn mit 22,12 [%] auf.

7.5.5. VARIANZANALYSE

Die Berechnungen für die Varianzanalyse von den Versuchen mit Gulsenit finden sich im Anhang in Kapitel 15.5.6 ab Seite 151 wieder. Dabei wurden die Einflüsse der unterschiedlichen Faktoren und deren Wechselwirkung zueinander untersucht. Der Vertrauensbereich wurde mit 95 [%] ausgewählt.

Die Varianzanalyse zeigt, dass die Faktoren „Bandgeschwindigkeit“ und „Polarität der Kopfelektrode“ einen hohen Einfluss auf das Sortierergebnis haben. Ebenso spielt die Wechselwirkung „Polarität der Kopfelektrode“ zu „Aufgaberate“ wesentliche Rolle.

7.5.6. EFFEKTDIAGRAMME

Die Effektdiagramme der Ergebnisse über die Gehalte von MgO, CaO und HF unl. finden sich im Anhang ab Seite 157 wieder.

Das Effektdiagramm des Ergebnisses über das Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt:

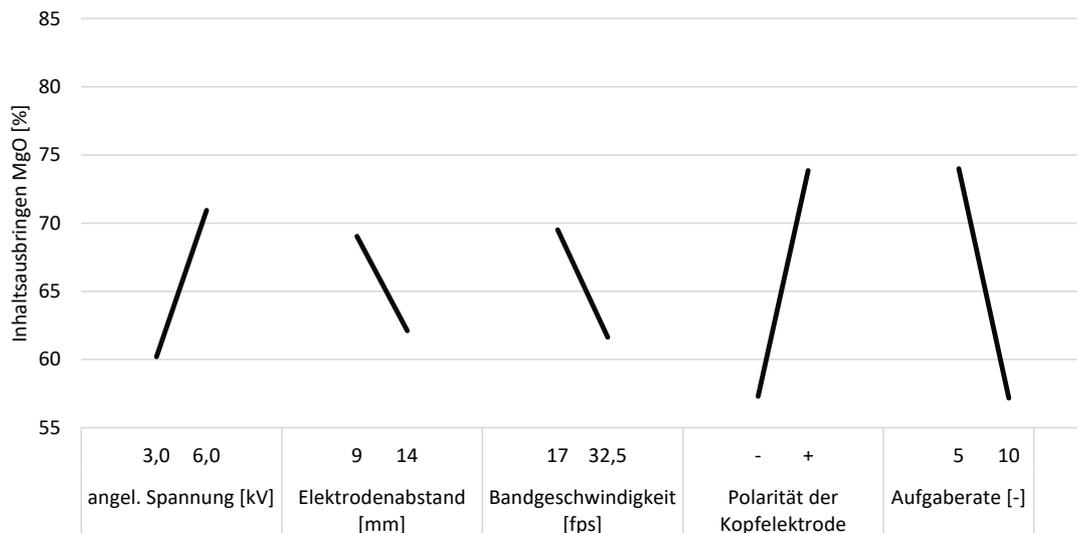


Diagramm 11: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im Gulsenit-Konzentrat

Anhand der Steigung der Geraden im Effektdiagramm lässt sich ablesen, dass die Polarität der Kopfelektrode und die Aufgaberate eine größere Rolle spielen als der Elektrodenabstand, die Bandgeschwindigkeit und die angelegte Spannung. Für das vielversprechendste Inhaltsausbringen an MgO wäre die Einstellung hohe Spannung, geringer Elektrodenabstand, niedrige Bandgeschwindigkeit, positive Polarität der Kopfelektrode und niedrige Aufgaberate einzustellen.

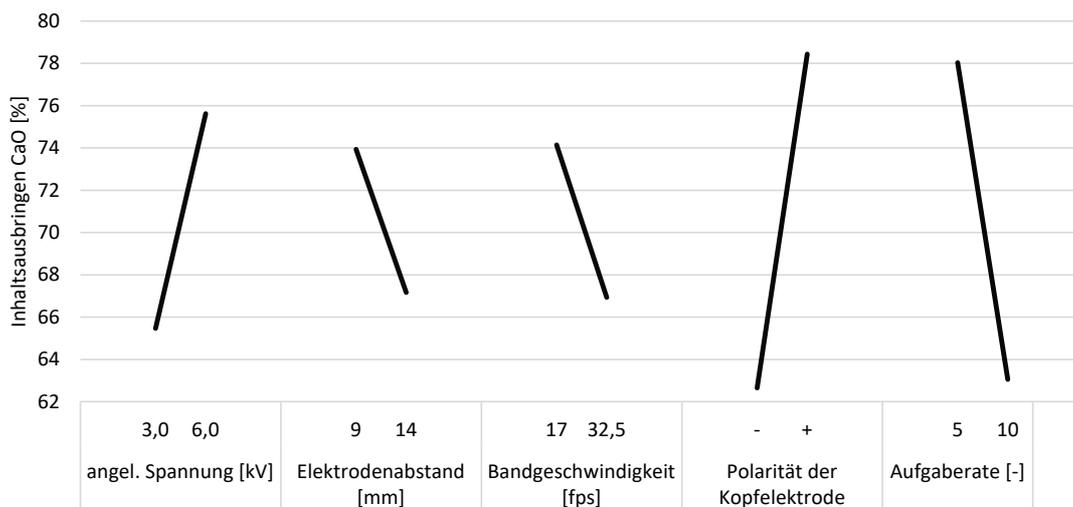


Diagramm 12: Effektendiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an CaO im Gulsenit-Konzentrat

Im Effektendiagramm für das Inhaltsausbringen an CaO lässt sich ablesen, dass die Polarität der Kopfelektrode und die Aufgaberate eine größere Rolle spielen als die angelegte Spannung, der Elektrodenabstand und die Bandgeschwindigkeit. Für das vielversprechendste Inhaltsausbringen an CaO wäre somit die Einstellung hohe Spannung, niedriger Elektrodenabstand, langsame Bandgeschwindigkeit, positive Kopfelektrode und niedrige Aufgaberate einzustellen.

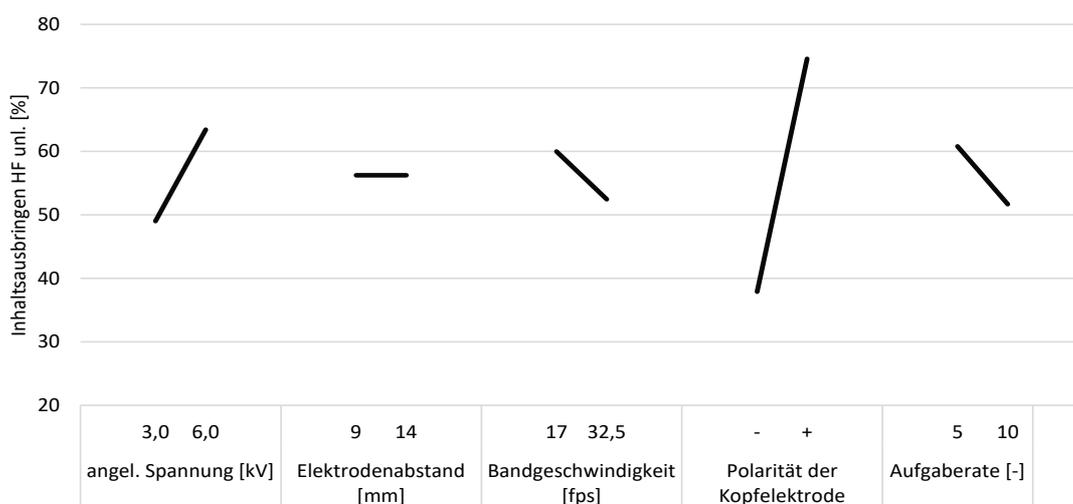


Diagramm 13: Effektendiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an HF unl. im Gulsenit-Konzentrat

Für die gewünschte Qualität des Konzentrates mit hohem Inhaltsausbringen an MgO sollte der HF unlösliche Anteil (HF unl.) möglichst gering sein. Im Effektdiagramm für das Inhaltsausbringen an HF unl. lässt sich ablesen, dass vor allem die Polarität der Kopfelektrode einen großen Einfluss hat. Der Elektrodenabstand ist nahezu vernachlässigbar.

Für ein vielversprechendes Inhaltsausbringen von HF unl. im Konzentrat – reich an MgO mit geringem Inhaltsausbringen an HF unl. – sollte eine niedrige Spannung, ein geringer oder hoher Elektrodenabstand, eine hohe Bandgeschwindigkeit, eine negative Kopfelektrode und eine hohe Aufgaberate ausgewählt werden.

7.5.7. RESÜMEE

Setzt man die Effekte der Parameter in Beziehung zueinander, ergeben sich daraus folgende Einstellungen am Bandscheider für das vielversprechendste Ergebnis:

Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
17	9	6	positiv	5

Tabelle 24: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Gulsenit

Den stärksten Einfluss auf das Trennergebnis von Gulsenit stellt die Polarität der Kopfelektrode dar. Ebenso spielen die Wechselwirkung von „Bandgeschwindigkeit“ zu „Polarität der Kopfelektrode“ und „Bandgeschwindigkeit“ zu „Aufgaberate“ eine wichtige Rolle.

8. AUSBLICK: INBETRIEBNAHME EINER TRIBOELEKTROSTATISCHEN AUFLADEEINHEIT, AUSGEFÜHRT ALS WIRBELSCHICHTEINHEIT

Um die Ergebnisse der im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Sortiersversuche mit den unterschiedlichen Rohgutarten zu verbessern, wurde eine eigens entwickelte triboelektrostatische Aufladeeinheit in Betrieb genommen. Durch diese Aufladeeinheit soll eine Möglichkeit geschaffen werden, die Aufladung bereits vor der Sortierung am triboelektrostatischen Bandscheider effizienter durchzuführen, zu verbessern bzw. zu kontrollieren. Die erarbeiteten Ergebnisse sollen die Basis für die Wiederholung der vielversprechendsten und schlechtesten Versuchsergebnisse, in Kombination mit der vorgeschalteten Aufladung in der Wirbelschichteinheit, bilden.

Die eigens entwickelte triboelektrostatische Aufladeeinheit wurde von der Firma M.A.L. Metallbau Anlagenservice- Leitungsbau Gesellschaft m.b.H. mit Firmenstandort in Hönigsberg gefertigt. Im Zuge der Masterarbeit wurde deren Fertigungshalle aufgesucht, um einen Eindruck über die Fertigung des Wirbelschichtreaktors zu erlangen. Dabei erfolgte vor Ort eine Erstinbetriebnahme. Ziel war es, einen Überblick über die wichtigsten Einstellungen und Arbeitsschritte zu erlangen. Hauptaugenmerk lag dabei auf dem Arbeiten mit dem Aggregat und dem Einbringen von Verbesserungsvorschlägen in der Ausführung.

8.1. FUNKTIONSBESCHREIBUNG DER WIRBELSCHICHTEINHEIT

Im Rahmen des Impulsprogrammes 2018 wurde eine triboelektrostatische Aufladeeinheit, ausgeführt als Wirbelschichteinheit, für spezielle Anwendungen konzipiert. Die Planung und Umsetzung erfolgte im Rahmen des Dissertationsprojektes von Frau DI Sabrina Gehring. Die Fertigung wurde in Kooperation mit der Firma M.A.L. Metallbau Anlagenservice – Leitungsbau Gesellschaft m.b.H. mit Sitz in Hönigsberg durchgeführt. Die Pläne finden sich im Anhang in Kapitel 15.6 ab Seite 159 wieder.

Die konzipierte Wirbelschichteinheit besteht aus einer Gasversorgungseinheit, einer Regelstrecke, einem Wirbelschichtreaktor mit Probenahmeverrichtung, einem

Filtersystem und einem Regelungssystem mit Bedienfeld. In der Wirbelschichteinheit sollen Rohgutarten mit einer Korngröße $< 500 \text{ } [\mu\text{m}]$ gleichmäßig fluidisiert und triboelektrostatisch aufgeladen werden können. Im Anschluss daran soll das aufgeladene Rohgut dem Bandscheider zugeführt und im elektrostatischen Feld sortiert werden. Ziel ist es, den triboelektrostatischen Aufladeprozess gezielt zu beeinflussen und diesen quantitativ zu erfassen bzw. qualitativ zu bewerten. [27] [28]

In der nachfolgenden Tabelle sind die technischen Kenndaten der Wirbelschichteinheit tabellarisch zusammengefasst:

Nennspannung	400	V
Luftdruck	6	bar
Luftvolumenstrom	1 - 160	Nm ³ /h
Luftvolumenstrom hauseigenes Netz	10	Nm ³ /h
Lufteerwärmung	150	°C
Abmessungen Wirbelschichtboden	16	cm
Abmessungen Wirbelkammer	16 x 87	cm
max. Aufgabemenge	1,5	kg

Tabelle 25: Übersicht über die Wirbelschichtkenndaten [27]

8.2. AUFBAU DER TRIBOELEKTROSTATISCHEN AUFLADEEINHEIT

Die nachfolgende Abbildung stellt die triboelektrostatische Aufladeeinheit dar.



Abbildung 17: Triboelektrostatische Aufladeeinheit [27]

Bereich (1): Über den Kugelhahn wird die Gaszufuhrmenge reguliert, welche im Durchflusssensor messtechnisch erfasst wird. Das Absperrventil und das Regelventil können die Durchflussmenge beeinflussen. Im Elektro- Rohrdruckluftheritzer kann der Gastrom auf eine selbst zu wählende Temperatur eingestellt werden.

Bereich (2): Auf dem Wirbelschichtboden wird die Rohgutprobe aufgeschüttet. Dieser Boden kann ausgetauscht werden, um für die jeweilige Korngröße und -form passend zu sein. Aus der Wirbelschichtkammer kann mittels Probenahmevorrichtung eine Rohgutprobe entnommen werden. Die Einspritzung der Reagenzien für die Oberflächenbehandlung erfolgt ebenfalls direkt in die Wirbelschichtkammer. Ein dort

angebrachter Temperatursensor überwacht die anliegende Temperatur innerhalb der Wirbelschicht.

Den Abschluss der Wirbelschichteinheit bildet eine Sicherheitsabdeckung, die zum einen den Austritt der Feinstkornfraktionen verhindert und zum anderen als Druckentlastungsklappe fungiert.

Die Systemsteuerung erfolgt über den Schaltkasten, welcher sich im rechten Teil der obigen Abbildung befindet. Die wichtigsten Bedienelemente dabei sind:

- Touch Panel
- Hauptschalter
- Start-/und Stopp-Knopf (grün bzw. rot)
- Reset-Knopf
- Not- Aus Schalter
- Signalleuchte

Die Datenspeicherung der Versuche erfolgt mittels Datenaufzeichnung im Programm Excel auf einen USB-Stick, welcher sich im Inneren des Schaltkastens befindet.

8.3. BEDIENUNG UND BETRIEB DER TRIBOELEKTRISCHEN AUFLADEEINHEIT

Die Bedienung der Wirbelschichteinheit erfolgt über das Touchpanel. Die Versuchsabläufe werden hier gesteuert und kontrolliert. Als wichtige Einflussparameter zählen die Temperatur des Fluids und dessen Durchflussmenge. Diese kann mittels „Rezepte“ festgelegt werden und für mehrere Versuchsabläufe im Programmpunkt „Rezeptur“ gespeichert werden. Für die Dokumentation der Versuche können die Einflussparameter im Button „Logfile-Aktiv“ aufgezeichnet werden. Zu den wichtigsten Programmpunkten zählen:

- Status
- Alarm
- Schema
- Rezeptur
- Trend
- Logfile aktiv
- Plus-/Minus-Knopf

Der Status gibt Auskunft über die aktuell aktivierten bzw. deaktivierten Einstellungen. Unter Alarm kann man die dokumentierten Fehlermeldungen ablesen. Das Schema gibt den Schaltplan der Aufladeeinheit wieder. Unter Rezeptur können die wiederkehrenden Versuchsparameter fixiert werden und bei Bedarf abgerufen werden. Der Trend gibt einen grafischen Überblick über die Versuchskennwerte. Logfile aktiv startet oder beendet die Versuchsaufzeichnungen. Über den Plusknopf bzw. den Minusknopf können die gewünschten Punkte angesteuert werden.

Im Zuge dieser Masterarbeit erfolgte ausschließlich die Inbetriebnahme der Wirbelschicht, die Versuche zur quantitativen Erfassung und zur gezielten Beeinflussung des Aufladeerfolgs werden im Zuge des Dissertationsprojektes „Mineralphasentrennung nach Triboaufladung“ umgesetzt.

8.3.1. INBETRIEBNAHME UND ARBEITSWEISE

Vor dem Arbeiten mit der Aufladeeinheit ist darauf zu achten, dass sowohl Strom als auch eine geeignete Druckluftzufuhr angeschlossen sind.

Die Inbetriebnahme erfolgt über das Betätigen des Hauptschalters (roter Drehschalter). Dabei startet das Bearbeitungsprogramm automatisch während des Einschaltvorganges.

Vor Beginn des Versuches müssen mittels blauen Reset-Knopfs alle Fehler quittiert werden, welche in den Datenaufzeichnungen vorangegangener Versuche gespeichert sind.

Um eine gespeicherte Rezeptur zu wählen, wird der Programmpunkt „Rezeptur“ ausgewählt und mittels Eingabetaste bestätigt. Darin können neue Parameter festgelegt werden, welche automatisch abgespeichert werden.

Eine regelkonforme Abschaltung der Wirbelschichteinheit erfolgt über den roten Hauptschalter (roter Drehschalter). Sollte noch ein Versuch laufen, ist dieser mittels Stoptaste (rot) abubrechen, bevor der Hauptschalter betätigt wird.

Nach Beendigung eines Versuches sind die Kammer und der Wirbelschichtboden zu reinigen. Dies erfolgt mittels Absaugung bzw. durch Einblasen von Druckluft. Sollte die Filterplatte in der Sicherheitsabdeckung verunreinigt sein, muss die Reinigung nass erfolgen, um eine Beschädigung des Filters zu vermeiden.

Ein Austauschen des temporären Wirbelschichtbodens erfolgt über die Entfernung der Wirbelschichtkammer und der Probeentnahmevorrichtung. Dabei ist darauf zu achten, dass der standardmäßig eingebaute Wirbelschichtboden nicht entfernt wird und der temporäre Boden auf dem eingebauten zum Liegen kommt. Die Fixierung erfolgt über zwei Dichtungsringe. Danach wird die Wirbelschichtkammer und die Probeentnahmevorrichtung wieder eingebaut und damit ist der Austauschvorgang abgeschlossen.

8.3.2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Vor der Durchführung der Fluidisierung des Aufgabegutes muss die Fluidgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Danach erfolgt eine umfassende Überprüfung, ob

- der gewünschte Wirbelschichtboden eingelegt ist,
- der Wirbelschichtreaktor fachgerecht verschlossen ist,
- sowohl Druckluft als auch Strom angeschlossen sind
- und der Kugelhahn geöffnet ist.

Danach erfolgt das Einschalten der Aufladeeinheit über den Hauptschalter. Nach Hochfahren des Betriebssystems kann die gewünschte Rezeptur über die Plus- und Minus-Anzeige am Touchpanel gewählt werden. Um die Rezeptur zu verändern bzw. neu anzulegen, ist der Menüpunkt „Rezeptur ändern“ auszuwählen.

Für jede Versuchsreihe ist eine neue Datei anzulegen, um darin die aufgezeichneten Messdaten aufzuzeichnen. Dabei erfolgt die Eingabe des Dateinamens unter „Dateiname Logfile“, wo auch die Speicherintervalle unter „Schreibe alle“ festgelegt werden können. Das Starten der Versuchs-Aufzeichnung erfolgt durch das Drücken von „Logfile Aktiv“ am Touchpanel.

Danach wird die Probeentnahmevorrichtung aus der Wirbelschichtkammer bis zum Anschlag herausgezogen, um diesen in Ausgangsstellung zu bringen.

Es erfolgt das Starten der Aufladeeinheit über den grünen Startknopf. Ist die Rezepttemperatur erreicht, leuchtet die grüne Signallampe „Aufladeeinheit testbereit“ auf. Es erfolgt durch Betätigen des roten Knopfes ein Stopp des Aufheizvorganges, um die Wirbelschichtkammer öffnen zu können und das Rohgut am Wirbelschichtboden einzubringen. Nach Schließen der Kammer kann der Aufladevorgang mit dem „grünen Knopf“ gestartet werden. Dabei ist eine Probeentnahme mittels Probenehmer während des gesamten Versuches möglich. Die Beendigung des Versuches erfolgt über das Betätigen der Stopp-Taste.

8.3.3. HÄUFIG AUFTRETENDE FEHLER

Beim Arbeiten mit der Wirbelschichteinheit konnten bis zum jetzigen Zeitpunkt folgende Fehler in der Handhabung festgestellt werden:

1. Keine Gaszufuhr
2. Gaszufuhr kann nicht erreicht werden
3. Zu hohe Temperatur zu Beginn des Versuches
4. Es kann keine Datei angelegt werden
5. Probenehmer steckt
6. Starke Staubentwicklung

Ad 1) Sollte keine Gaszufuhr möglich sein, sollte der Gasanschluss und das manuelle Regelventil kontrolliert werden, ob diese geöffnet sind.

Ad 2) Eine Kontrolle des Kugelhahns und des Absperrventils ist zu empfehlen, ob diese geöffnet sind. Die gewünschte Druckluftzufuhr kann nicht über dem Eingangsparameter liegen. Die hauseigene Druckluftleitung erzeugt maximal 9 [m³/h].

Ad 3) Zu Beginn der Temperaturregelung kommt es zu einem starken Überschwingen. Nach zirka 30 Minuten regelt sich diese auf die gewünschte Temperatur ein.

Ad 4) Sollte eine Datenaufzeichnung nicht möglich sein, sollte der angebrachte USB-Stick im Inneren des Schaltkastens kontrolliert werden.

Ad 5) Bei einer längeren Hitzebeanspruchung dehnt sich der Probeentnehmer aus. Dadurch kann es zu einer behinderten Bewegungsfreiheit des Probeentnehmers kommen. Es wird empfohlen, die Aufladeeinheit abkühlen zu lassen und die Ringdichtungen in der Probeentnahmeverrichtung auszubauen, um den Probeentnehmer wieder beweglich zu machen.

Ad 6) Eine erhöhte Staubentwicklung lässt sich auf eine zu hohe Leerrohrgeschwindigkeit oder eine zu feine Aufgabekorngröße zurückführen.

9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Sonderfälle des Coulombschen Gesetzes	17
Abbildung 2: Relative Lage der Valenz- und Leitungsbänder bei Nichtleitern, Halbleitern und Leitern.....	19
Abbildung 3: Prinzipskizze der Kontaktpolarisation.....	21
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Sortierung durch Kontaktpolarisation...	21
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Sortierung durch Koronaaufladung	22
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Sortierung im Koronafeld.....	22
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Sortierung durch triboelektrostatischen Aufladung.....	23
Abbildung 8: Funktionsprinzip eines elektrostatischen Walzenscheiders	25
Abbildung 9: Funktionsprinzip eines Freifallscheiders	26
Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Bandscheiders.....	27
Abbildung 11: Grafische Darstellung eines traditionellen Versuchsplans für drei Faktoren auf jeweils zwei Stufen	31
Abbildung 12: Übersicht über die unterschiedlichen Wirbelschichtarten	43
Abbildung 13: Druckverlustdiagramm homogener fluidisierter Schichten.....	45
Abbildung 14: Darstellung unterschiedlicher Feststofftypen nach Geldart	47
Abbildung 15: Bandscheider am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung	49
Abbildung 16: Auswirkung der relativen Luftfeuchtigkeit auf Rohsalz	56
Abbildung 17: Triboelektrostatische Aufladeeinheit.....	86
Abbildung 18: Übersichtsplan Wirbelschichteinheit	159
Abbildung 19: Übersichtsplan Wirbelschichteinheit 2.....	160

10. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Rohmagnesit..	14
Tabelle 2: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Gulsenit	14
Tabelle 3: Einfacher Versuchsplan mit drei Faktoren und zwei Einstellungen	32
Tabelle 4: Wechselwirkung bei einem Versuchsplan mit drei Faktoren	35
Tabelle 5: Reduzierter vollfaktorieller Versuchsplan 2^{4-1}	37
Tabelle 6: Teilfaktorieller Versuchsplan 2^{5-1}	37
Tabelle 7: Versuchsplan für die Sortierung von Rohsalz	53
Tabelle 8: Einstellungen am Bandscheider für die Sortierung von Rohsalz.....	54
Tabelle 9: Bilanz zu den Versuchen mit Rohsalz	54
Tabelle 10: Versuchsergebnisse bei der Sortierung von Rohsalz	55
Tabelle 11: Versuchseinstellungen für die Sortierung von MgO.....	58
Tabelle 12: Einstellungen am Bandscheider für die Sortierung von MgO	59
Tabelle 13: Bilanzen zu den Sortiersuchen mit MgO	60
Tabelle 14: Arithmetische Mittelwerte der Analysierten Größen im MgO- Konzentrat	61
Tabelle 15: Maschinenparameter am Bandscheider.....	65
Tabelle 16: Versuchseinstellungen für die Sortierung von Rohmagnesit	66
Tabelle 17: Auszug aus den Bilanzen zu den Versuchen mit Rohmagnesit.....	67
Tabelle 18: Arithmetische Mittelwerte der analysierten Größen im Magnesit- Konzentrat	69
Tabelle 19: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Rohmagnesit	73
Tabelle 20: Maschinenparameter am Bandscheider.....	76
Tabelle 21: Versuchseinstellungen für die Sortierung von Gulsenit.....	77

Tabelle 22: Auszug aus den Bilanzen zu den Versuchen mit Gulsenit	78
Tabelle 23: Arithmetische Mittelwerte der analysierten Größen im Gulsenit- Konzentrat	79
Tabelle 24: Vielversprechendste Einstellungen für die Sortierung von Gulsenit	83
Tabelle 25: Übersicht über die Wirbelschichtkenndaten	85
Tabelle 26: 0,95%- Quantile der F- Verteilung zu verschiedenen Freiheitsgraden	107
Tabelle 27: Versuchsplan 2 ² Rohsalz	108
Tabelle 28: Stufenübersicht Rohsalz	108
Tabelle 29: Maschinenparameter Rohsalz	108
Tabelle 30: Masseverteilung der Aufgabe Rohsalz	109
Tabelle 31: Bilanz der Aufgabe nach der Korngröße.....	109
Tabelle 32: Bandscheiderdatenblatt Rohsalz.....	110
Tabelle 33: Bilanzen der Rohsalzversuche	111
Tabelle 34: Mittelwerte der Versuche.....	112
Tabelle 35: Versuchsplan 2 ² MgO.....	113
Tabelle 36: Stufenübersicht MgO.....	113
Tabelle 37: Maschinenparameter MgO.....	113
Tabelle 38: Bandscheiderdatenblatt MgO	114
Tabelle 39: Bilanz MgO	115
Tabelle 40: arithmetische Mittelwerte der Versuche mit MgO	115
Tabelle 41: Stufenübersicht Inhaltsausbringen Versuch MgO.....	116
Tabelle 42: Stufenübersicht Gehalte Versuch MgO.....	117
Tabelle 43: Faktorzuteilung bei Varianzanalyse	117
Tabelle 44: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen HCl unl. im Konzentrat.....	118

Tabelle 45: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt HCl unl. im Konzentrat	118
Tabelle 46: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen SiO ₂ im Konzentrat	118
Tabelle 47: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt SiO ₂ im Konzentrat.....	118
Tabelle 48: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat	119
Tabelle 49: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat.....	119
Tabelle 50: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen MgO im Konzentrat	119
Tabelle 51: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt MgO im Konzentrat.....	119
Tabelle 52: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen HCl unl. im Konzentrat	120
Tabelle 53: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt HCl unl. im Konzentrat.....	120
Tabelle 54: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat.....	120
Tabelle 55: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat	120
Tabelle 56: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen an SiO ₂ im Konzentrat	121
Tabelle 57: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt an SiO ₂ im Konzentrat.....	121
Tabelle 58: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat.....	121

Tabelle 59: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt an MgO im Konzentrat	121
Tabelle 60: Übersicht Effekte Versuch MgO.....	125
Tabelle 61: Versuchsplan 2^{5-1} Rohmagnesit.....	125
Tabelle 62: Stufenübersicht Rohmagnesit	125
Tabelle 63: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 1	126
Tabelle 64: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 2.....	127
Tabelle 65: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 3.....	128
Tabelle 66: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 4.....	129
Tabelle 67: Bilanz Rohmagnesit 1	130
Tabelle 68: Bilanz Rohmagnesit 2.....	131
Tabelle 69: Stufenübersicht Rohmagnesit Gehalt und Inhaltsausbringen im Konzentrat	132
Tabelle 70: Stufenübersicht Rohmagnesit Gehalt und Inhaltsausbringen in den Bergen.....	133
Tabelle 71: Ermittlung vielversprechendste Einstellungen Rohmagnesit	134
Tabelle 72: Faktorzuteilung bei Varianzanalyse	134
Tabelle 73: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf Inhaltsausbringen und Gehalt HCl unl. im Konzentrat.....	135
Tabelle 74: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf Inhaltsausbringen und Gehalt CaO im Konzentrat	135
Tabelle 75: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen und den Gehalt MgO im Konzentrat.....	136
Tabelle 76: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen HCL unl. im Konzentrat.....	137

Tabelle 77: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt HCl unl. im Konzentrat.....	137
Tabelle 78: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat.....	138
Tabelle 79: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat	138
Tabelle 80: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen MgO im Konzentrat	139
Tabelle 81: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt MgO im Konzentrat.....	139
Tabelle 82: Masseverteilung der Korngrößenanteile Aufgabe Gulsenit	142
Tabelle 83: Versuchsplan 2^{5-1} Gulsenit.....	142
Tabelle 84: Stufenübersicht Gulsenit.....	142
Tabelle 85: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 1	143
Tabelle 86: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 2	144
Tabelle 87: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 3	145
Tabelle 88: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 4	146
Tabelle 89: Bilanz Gulsenit 1	147
Tabelle 90: Bilanz Gulsenit 2	148
Tabelle 91: Stufenübersicht Gulsenit Gehalt und Inhaltsausbringen im Konzentrat	149
Tabelle 92: Stufenübersicht Gulsenit Gehalt und Inhaltsausbringen in den Bergen	150
Tabelle 93: Ermittlung vielversprechendste Einstellungen Gulsenit.....	151
Tabelle 94: Faktorzuteilung bei Varianzanalyse	151
Tabelle 95: Wechselwirkungen und Einzelversuche HF unl. im Konzentrat.....	152
Tabelle 96: Wechselwirkungen und Einzelversuche auf CaO im Konzentrat	152

Tabelle 97: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf MgO im Konzentrat	153
Tabelle 98: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen HCL unl. im Konzentrat.....	154
Tabelle 99: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt HCL unl. im Konzentrat	154
Tabelle 100: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat	155
Tabelle 101: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat	155
Tabelle 102: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen MgO im Konzentrat	156
Tabelle 103: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt MgO im Konzentrat.....	156

11. DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 1: Beispiel eines Effektdiagramms	41
Diagramm 2: Korngrößenverteilung des untersuchten Rohsalzes im logarithmischen Netz	52
Diagramm 3: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im MgO-Konzentrat	62
Diagramm 4: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an MgO im MgO- Konzentrat	62
Diagramm 5: Korngrößenverteilung des Rohmagnesits	64
Diagramm 6: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im Magnesit-Konzentrat.....	70
Diagramm 7: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an CaO im Magnesit-Konzentrat.....	71
Diagramm 8: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an HCl unl. Bestandteilen im Magnesit-Konzentrat	72
Diagramm 9: Korngrößenverteilung von Gulsenit aus der Handsiebung im logarithmischen Netz	74
Diagramm 10: Korngrößenverteilung der Sedigraphmessung von Gulsenit	75
Diagramm 11: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im Gulsenit-Konzentrat	81
Diagramm 12: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an CaO im Gulsenit-Konzentrat	82
Diagramm 13: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an HF unl. im Gulsenit-Konzentrat	82
Diagramm 14: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an CaO im MgO-Konzentrat	122

Diagramm 15: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an CaO im MgO-Konzentrat	122
Diagramm 16: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an SiO ₂ im MgO-Konzentrat	123
Diagramm 17: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an SiO ₂ im MgO-Konzentrat	123
Diagramm 18: Effektdiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an HCl unl. im MgO-Konzentrat.....	124
Diagramm 19: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an HCl unl. im MgO-Konzentrat	124
Diagramm 20: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an CaO im Magnesit-Konzentrat	140
Diagramm 21: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an MgO im Magnesit-Konzentrat	140
Diagramm 22: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an HCl unl. im Magnesit-Konzentrat	141
Diagramm 23: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an MgO im Gulsenit-Konzentrat	157
Diagramm 24: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an CaO im Gulsenit-Konzentrat	157
Diagramm 25: Effektdiagramm bezogen auf den Gehalt an HF unl. im Gulsenit-Konzentrat	158

12. FORMELVERZEICHNIS

Formel 1: Coulombsches Gesetz.....	17
Formel 2: Sonderfall 1 des Coulombschen Gesetzes	18
Formel 3: Sonderfall 2 des Coulombschen Gesetzes	18
Formel 4: Berechnung des Versuchsaufwandes	34
Formel 5: Kontrastberechnung	38
Formel 6: Effektberechnung.....	39
Formel 7: Berechnung Summe der Quadrate (Faktor).....	39
Formel 8: Summe der Quadrate (total).....	39
Formel 9: Summe der Quadrate (Fehler)	39
Formel 10: Berechnung quadratischer Mittelwert.....	40
Formel 11: Berechnung der Freiheitsgrade.....	40
Formel 12: Berechnung Freiheitsgrade (Fehler).....	40
Formel 13: Berechnung der Zufallsvariabel F_0	40
Formel 14: Vergleich der Zufallsvariable mit Nullhypothese.....	40

13. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
Bzw.	Beziehungsweise
Temp.	Temperatur
Rel.	Relativ
Lösl. Best.	lösliche Bestandteile
Unl. Best.	unlösliche Bestandteile
Nr.	Nummer
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
DI	Diplomingenieur

14. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bundesminister für Wissenschaft, F. u. (2017). *Österreichisches Montanhandbuch 2017*. Wien: Bundesminister für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft.
- [2] Nachhaltigkeit, B. f. (2012). *Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech- Standort Deutschland*. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit.
- [3] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, U. u. (2019). *World Mining Data*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- [4] Flachberger, H., Böhm, A. (10 2015). *Entwicklungstendenzen im Fachgebiet Aufbereitung und Veredlung*. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte.
- [5] Tipler Paul A., G. M. (2004). *Physik*. München: Elsevier GmbH.
- [6] Schubert, H. (1967). *Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- [7] Dötterl, M., Wachsmuth, U., Waldmann, L., Flachberger, H., Mirkowska, M., Brands, L., Stahl, I. (2016). *Ullmann's*. Weinheim: Wiley- VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [8] Oberrauner, A. D. (2012). *Nutzung der Elektroscheidung zur trockenen Aufbereitung von fein- und feinstdispersen Körnerschwärmen* . Leoben: Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung der Montanuniversität Leoben.
- [9] Laube, P. (15. 09 2019). *Halbleiter*. Von <https://www.halbleiter.org/grundlagen/leiter-nichtleiter-halbleiter/> abgerufen
- [10] Luckeneder, C. (2019). *Fundamentals of Mineral Processing, Electrostatic separation*. Leoben: Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung.
- [11] Chang, J. K. (1995). *Handbook of Electrostatic Processes*. Taylor & Francis.
- [12] Manouchehri, H. R. (2000). *Triboelectric Charge Characteristics and Electrical Separation of Industrial Minerals*. Lulea: Department of Chemical and Metallurgical Engineering.

- [13] Elder, J. Y. (2003). *eForce.- Newest generation of electrostatic separator for the minerals sands industry*. Heavy Mineraly Conference. Johannesburg: South African Institute of Mining and Metallurgy.
- [14] Steqtech. (10. 06 2019). *steqtech*.
Von <https://steqtech.com/stet-belt-separator/?lang=de> abgerufen
- [15] Gehringer, S. (2017). *Systematische Untersuchungen zur trockenenebenen Aufbereitung an zwei Rohtalken mittels Elektroscheidung*. Leoben: Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung.
- [16] Siebertz, K. V. (2010). *Statistische Versuchsplanung- Design of Experiments (DoE)*. Heidelberg: Springer- Verlag Berlin- Heidelberg.
- [17] Lehrstuhl für Mathematik und Statistik. *Statistik*. Montanuniversität Leoben s.n., 2011.
- [18] Elektroscheidung, L. f. (2018). *Antrag auf Anschaffung einer triboelektrischen Aufladeeinheit im Rahmen des Impulsprogrammes 2018 des Rektorates*. Leoben, Steiermark, Österreich: Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung.
- [19] Heinrich, P.-I. S. (2013). *Neue Entwicklungen in der Partikel und Wirbelschichttechnik*. Chemie Ingenieur Technik, 215
- [20] Kraume, M. (2012). *Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik- Grundlagen und apparative Umsetzungen, 2. Auflage*. Berlin, Heidelberg: Springer- Verlag
- [21] Stieß, M. (1997). *Mechanische Verfahrenstechnik 2*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer- Verlag.
- [22] Wirth, K.-E. (1990). *Zirkulierende Wirbelschichten- Strömungsmechanische Grundlagen, Anwendungen in der Feuerungstechnik*. Berlin: Springer- Verlag.
- [23] Schubert, H. (2003). *Handbuch der mechanischen Verfahrenstechnik, Band 1*. Weinheim: WILEYVCH.
- [24] Geldart, D. (22. Mai 1972). *Types of Gas Fluidization. Powder Technology 7, S. 285-292*.

- [25] David Horst, Q. Z. (06 2019). *Deliqueszenz und Effloreszenz hygroskopischer Salzpartikeln in Partikel-Wand- und Partikel-Partikel-Kontakten*. Chemie Ingenieur Technik, S. 46-54.
- [26] Styromag. (20. 07 2020). *Styromagnesit Steirische Magnesitindustrie GmbH*.
Von Styromagnesit Steirische Magnesitindustrie GmbH:
<https://www.styromag.at/de/produktion/anwendungsgebiete/> abgerufen
- [27] Gehringer, S., & Flachberger, H. (2020). *Controlled charging of mineral surfaces for a successful separation in the electrostatic field*. TU Wien: 16th Minisymposium Verfahrenstechnik and 7th Partikelforum.
- [28] Gehringer, S., & Flachberger, H. (2019). *Herausforderungen der Elektroscheidung im Dispersitätsbereich <100µm- Status quo der Leobner Forschungsaktivitäten*. Freiberg: Tagung Aufbereitung und Recycling 2019.
- [29] Dortmund, T. (15. 07 2020). *Tu Dortmund*. Von Tu Dortmund:
https://www.statistik.tu-dortmund.de/fileadmin/user_upload/Lehrstuehle/Oekonometrie/Lehre/Vorkurs_SS18/tabelleF.pdf abgerufen

14.1. WEITERFÜHRENDES LITERATURVERZEICHNIS

- Gehring, S., Luckeneder, C., Flachberger, H. (08/2019). *Processing of Caustic Calcined Magnesite (Magnesium Oxide) by the Use of Triboelectrostatic Belt Separation*. Berg- und hüttenmännische Monatshefte: BHM, S. 303-309.
- Gehring, S., Luckeneder, C., Flachberger, H. (04/2019). *Triboelectrostatic belt-separation of caustic calcined magnesite*. Leoben: 15th Minisymposium Verfahrenstechnik and 6th Partikelforum
- Gull, R., Gehring, S., Flachberger, H. (2019). *Bachelorarbeit*. Leoben: Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung
- Hangsubcharoen, M. (1999). *A Study of Triboelectrification for Coal, Quartz and Pyrite*. Blackburg, Virginia: Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Knoll F.S., T. J. (1985). *Advances in Electrostatic Separation. Minerals and Metallurgical Processing*.
- Reuter, Silke. (Oktober 2011). *Partikeldynamik in Wirbelschichtsystemen - Geschwindigkeit und Zirkulation granularer Medien untersucht mit bildgebender und geschwindigkeitskodierender NMR*. Aachen, Deutschland: Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der RWTH Aachen.

15. ANHANG

15.1. VARIANZANALYSE

$n \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	50	60	100	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	252	253	254
2	18,5	19,0	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,62	8,59	8,58	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,75	5,72	5,70	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,50	4,46	4,44	4,43	4,41	4,37
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,81	3,77	3,75	3,74	3,71	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,58	3,51	3,44	3,38	3,34	3,32	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,08	3,04	3,02	3,00	2,98	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,86	2,83	2,80	2,79	2,76	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,13	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,70	2,66	2,64	2,62	2,59	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,10	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,57	2,53	2,51	2,49	2,46	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,47	2,43	2,40	2,38	2,35	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,02	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,38	2,34	2,31	2,30	2,26	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,31	2,27	2,24	2,22	2,19	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,25	2,20	2,18	2,16	2,12	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,19	2,15	2,12	2,11	2,07	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,15	2,10	2,08	2,06	2,02	1,96
18	4,41	3,56	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,11	2,06	2,04	2,02	1,98	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,15	2,07	2,03	2,00	1,98	1,94	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,04	1,99	1,97	1,95	1,91	1,84
21	4,33	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,01	1,97	1,94	1,92	1,88	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	1,98	1,94	1,91	1,89	1,85	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,38	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	1,96	1,91	1,88	1,86	1,82	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,35	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,94	1,89	1,86	1,84	1,80	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,92	1,87	1,84	1,82	1,78	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,90	1,85	1,82	1,80	1,76	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,88	1,84	1,81	1,78	1,74	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,87	1,82	1,79	1,77	1,73	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,95	1,85	1,81	1,77	1,75	1,71	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,02	1,93	1,84	1,79	1,76	1,74	1,70	1,62
35	4,12	3,27	2,87	2,64	2,48	2,37	2,29	2,22	2,16	2,11	2,04	1,96	1,88	1,79	1,74	1,70	1,68	1,64	1,56
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,74	1,69	1,66	1,64	1,59	1,51
45	4,06	3,20	2,81	2,58	2,42	2,31	2,22	2,15	2,10	2,05	1,97	1,90	1,81	1,71	1,66	1,63	1,60	1,55	1,47
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03	1,95	1,87	1,78	1,69	1,63	1,60	1,58	1,52	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,65	1,59	1,56	1,53	1,48	1,39
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,14	2,07	2,02	1,97	1,89	1,81	1,72	1,62	1,57	1,53	1,50	1,45	1,35
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2,00	1,95	1,88	1,79	1,70	1,60	1,54	1,51	1,48	1,43	1,32
90	3,95	3,10	2,71	2,47	2,32	2,20	2,11	2,04	1,99	1,94	1,86	1,78	1,69	1,59	1,53	1,49	1,47	1,41	1,30
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,98	1,93	1,85	1,77	1,68	1,57	1,51	1,48	1,45	1,39	1,28
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,46	1,39	1,35	1,32	1,24	1,01

Tabelle 26: 0,95%- Quantile der F- Verteilung zu verschiedenen Freiheitsgraden [29]

15.2. ROHSALZ

15.2.1. VERSUCHSPLAN UND EINSTELLUNGEN

Versuch	Rohguttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Tabelle 27: Versuchsplan 2² Rohsalz

Stufe	Rohguttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
-	25	25
+	80	80

Tabelle 28: Stufenübersicht Rohsalz

Bezeichnung	Einheit	Einstellung
Elektrodenabstand	[mm]	10
Bandgeschwindigkeit	[fps]	20
angelegte Spannung	[kV]	6
Polarität der Kopfelektrode	[-]	positiv
Aufgaberate	[-]	5 von 10

Tabelle 29: Maschinenparameter Rohsalz

15.2.2. ROHSALZAUFGABE

Maschen- weite [μm]	Masse [%]	Durchgang [%]
500	0,0	100,0
315	16,8	83,2
250	18,8	64,4
200	11,6	52,7
160	12,8	39,9
125	11,2	28,7
100	7,0	21,8
80	5,6	16,1
63	4,7	11,5
40	5,8	5,7
25	3,6	2,0
0	2,0	0,0
Σ	100,0	

Tabelle 30: Masseverteilung der Aufgabe Rohsalz

Maschen- weite [μm]	Masse [%]	lösliche Bestandteile		unlösliche Bestandteile	
		g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
315	16,8	97,84	16,8	2,16	15,0
250	18,8	97,96	18,9	2,04	15,9
200	11,6	97,74	11,7	2,26	10,8
160	12,8	97,88	12,9	2,12	11,2
125	11,2	97,00	11,1	3,00	13,9
100	7,0	97,39	7,0	2,61	7,5
80	5,6	97,07	5,6	2,93	6,8
63	4,7	97,55	4,6	2,45	4,7
40	5,8	97,43	5,8	2,57	6,2
25	3,6	96,97	3,6	3,03	4,6
0	2,0	95,83	2,0	4,17	3,5
Aufgabe	100,0	97,58	100,0	2,42	100,0

Tabelle 31: Bilanz der Aufgabe nach der Korngröße

15.2.3. BANDSCHEIDER: VERSUCHSPROTOKOLLE

Run Time	03:32		03:30		03:25		03:20		04:58	
Run	1		2		3		4		5	
Feed Material	Salz									
Type										
Feed Temp °C & RH %	25,0	36,2	25,0	36,2	64,0	2,8	62,6	2,5	23,3	61,3
Ambient Air Temp, °C &RH%	25,4	31,2	25,6	32,3	24,9	21,1	25,0	21,2	25,2	74,0
Gap (mm)	10		10		10		10		10	
Power Supplies		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Current during feed (mA)	0,86	0,89	0,87	0,91	0,71	0,65	0,20	0,10	2,19	2,36
PSI	12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E1									
Polarity Top Electrode (+/-)	+		+		+		+		+	
Feed Port	1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	20		20		20		20		20	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	5		5		5		5		5	
Weight: Feed (g)	500		500		500		500		500	
End 1 (g)	12,3		27,4		8,1		15,4		-	
End 2(g)	325,8		306,2		322,5		310,5		-	
Mass Balance										
E1/ProductTemp, °C, RH %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E2/ProductTemp, °C, RH %	26,4	34,3	27,0	34,2	27,7	21,2	37,4	14,7	-	-

Tabelle 32: Bandscheiderdatenblatt Rohsalz

15.2.4. AUSWERTUNG UND ANALYSE

Versuch Nr.	Masse	lösliche Bestandteile		unlösliche Bestandteile	
	[%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V1/1 E1	3,65	95,88	3,55	4,12	9,68
V1/1 E2	96,35	98,54	96,45	1,46	90,32
Aufgabe V1/1	100,00	98,45	100,00	1,55	100,00
V1/2 E1	8,20	96,17	8,02	3,83	18,74
V1/2 E2	91,80	98,52	91,98	1,48	81,26
Aufgabe V1/2	100,00	98,33	100,00	1,67	100,00
V2/1 E1	2,44	92,91	2,30	7,09	11,31
V2/1 E2	97,56	98,69	97,70	1,31	88,69
Aufgabe V2/1	100,00	98,55	100,00	1,45	100,00
V2/2 E1	4,73	92,02	4,42	7,98	23,80
V2/2 E2	95,27	98,73	95,58	1,27	76,20
Aufgabe V2	100,00	98,41	100,00	1,59	100,00
V3/1 E1	-	-	-	-	-
V3/1 E2	-	-	-	-	-
Aufgabe V3	-	-	-	-	-
V3/2 E1	-	-	-	-	-
V3/2 E2	-	-	-	-	-
Aufgabe V3/2	-	-	-	-	-
V4/1 E1	-	-	-	-	-
V4/1 E2	-	-	-	-	-
Aufgabe V4/1	-	-	-	-	-
V4/2 E1	-	-	-	-	-
V4/2 E2	-	-	-	-	-
Aufgabe V4/2	-	-	-	-	-

Tabelle 33: Bilanzen der Rohsalzversuche

Versuch Nr.	Masse	lösliche Bestandteile		unlösliche Bestandteile	
	[%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V1 E1	5,92	96,03	5,78	3,97	14,55
V1 E2	94,08	98,53	94,22	1,47	85,45
Aufgabe V1	100,00	98,38	100,00	1,62	100,00
V2 E1	3,58	92,46	3,36	7,54	17,86
V2 E2	96,42	98,71	96,64	1,29	82,14
Aufgabe V2	100,00	98,49	100,00	1,51	100,00
V3 E1	-	-	-	-	-
V3 E2	-	-	-	-	-
Aufgabe V3	-	-	-	-	-
V4 E1	-	-	-	-	-
V4 E2	-	-	-	-	-
Aufgabe V4	-	-	-	-	-

Tabelle 34: Mittelwerte der Versuche

15.3. MAGNESIUMOXID

15.3.1. VERSUCHSPLAN UND EINSTELLUNGEN

Versuch	Rohguttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Tabelle 35: Versuchsplan 2² MgO

Stufe	Rohguttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
-	25	25
+	80	80

Tabelle 36: Stufenübersicht MgO

Bezeichnung	Einheit	Einstellung
Elektrodenabstand	[mm]	10
Bandgeschwindigkeit	[fps]	20
angelegte Spannung	[kV]	6
Polarität der Kopfelektrode	[-]	positiv
Aufgaberate	[-]	6 von 10

Tabelle 37: Maschinenparameter MgO

15.3.2. BANDSCHEIDER: VERSUCHSPROTOKOLLE

Run Time	09:59		11:32		16:18		14:58		16:32		13:27		08:00		16:36		08:44		16:55		16:19		21:23	
Run	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
Feed Material	MgO																							
Type																								
Feed Temp °C & RH %	21,7	14,0	23,0	5,6	24,4	5,9	55,5	6,2	55,9	4,3	55,1	5,9	23,5	15,6	22,9	34,6	23,1	17,4	68,3	9,2	65,4	8,3	68,8	9,2
Ambient Air Temp, °C &RH%	24,0	22,1	24,4	22,6	24,9	22,3	25,5	22,7	25,5	22,7	25,5	22,7	24,8	81,3	25,1	82,1	25,4	78,2	25,5	80,1	25,7	80,8	25,4	81,6
Gap (mm)+	10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10	
Power Supplies		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Current during feed (mA)	0,14	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	1,07	2,06	1,00	1,34	0,73	1,69	0,44	1,12	0,76	1,12	0,30	0,80
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E1																							
Polarity Top Electrode (+/-)	+		+		+		+		+		+		+		+		+		+		+		+	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	20		20		20		20		20		20		20		20		20		20		20		20	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
Weight: Feed (g)	700		733		714		700		700		700		700		707		701		700		700		700	
End 1 (g)	144,68		188,02		185,47		163,88		220,71		192,69		293,97		408,36		373,12		222,04		262,18		264,06	
End 2(g)	349,48		519,79		492,96		307,44		374,78		433,29		264,66		293,75		298,92		330,98		435,7		425,93	
Mass Balance																								
E1/ProductTemp,°C, RH %	25,5	22,0	26,4	13,1	26,8	13,2	28,7	12,7	29,9	11,7	29,4	10,4	25,9	79,5	25,6	80,7	26,8	80,3	26,7	85,0	28,9	31,4	27,4	50,3
E2/ProductTemp,°C, RH %	24,9	21,8	25,8	12,2	27,2	12,6	28,7	10,2	29,8	10,4	30,6	6,3	26,7	79,7	25,3	80,1	26,4	80,7	26,7	84,8	28,3	39,7	26,1	47,8

Tabelle 38: Bandscheiderdatenblatt MgO

15.3.3. AUSWERTUNG UND ANALYSE

Versuch Nr.	Masse [%]	Glühverlust 1050°C [%]	HCl Unl. _(NCH)		SiO ₂ (rechn.)		CaO (RFA)		MgO (rechn.)	
			g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V1/1 E1	29,27	4,30	19,80	85,40	13,20	84,52	3,50	25,19	75,60	26,60
V1/1 E2	70,73	4,70	1,40	14,60	1,00	15,48	4,30	74,81	86,30	73,40
Aufgabe V1/1	100,00		6,78	100,00	4,57	100,00	4,07	100,00	83,17	100,00
V1/2 E1	26,56	3,80	15,70	73,96	10,50	74,50	3,40	21,85	78,90	24,92
V1/2 E2	73,44	4,60	2,00	26,04	1,30	25,50	4,40	78,15	86,00	75,08
Aufgabe V1/2	100,00		5,64	100,00	3,74	100,00	4,13	100,00	84,11	100,00
V1/3 E1	27,34	3,80	16,70	77,73	11,10	97,00	3,50	23,44	78,10	25,42
V1/3 E2	72,66	4,50	1,80	22,27	1,20	3,00	4,30	76,56	86,20	74,58
Aufgabe V1/3	100,00		5,87	100,00	8,90	100,00	4,08	100,00	83,99	100,00
V2/1 E1	34,77	3,80	3,80	64,81	2,60	66,44	3,40	28,71	86,80	35,01
V2/1 E2	65,23	5,10	1,10	35,19	0,70	33,56	4,50	71,29	85,90	64,99
Aufgabe V2/1	100,00		2,04	100,00	1,36	100,00	4,12	100,00	86,21	100,00
V2/2 E1	37,06	4,10	13,10	84,64	8,80	85,20	3,60	32,52	79,90	35,36
V2/2 E2	62,94	4,90	1,40	15,36	0,90	14,80	4,40	67,48	86,00	64,64
Aufgabe V2/2	100,00		5,74	100,00	3,83	100,00	4,10	100,00	83,74	100,00
V2/3 E1	30,78	3,90	14,00	82,73	9,40	98,04	3,50	26,13	79,70	29,14
V2/3 E2	69,22	4,80	1,30	17,27	0,90	1,96	4,40	73,87	86,20	70,86
Aufgabe V2/3	100,00		5,21	100,00	7,93	100,00	4,12	100,00	84,20	100,00
V3/1 E1	52,62	4,40	7,70	76,01	5,10	75,89	3,90	50,18	82,90	51,85
V3/1 E2	47,38	4,70	2,70	23,99	1,80	24,11	4,30	49,82	85,50	48,15
Aufgabe V3/1	100,00		5,33	100,00	3,54	100,00	4,09	100,00	84,13	100,00
V3/2 E1	58,16	4,20	7,50	81,93	5,00	82,25	3,90	55,20	83,30	57,53
V3/2 E2	41,84	4,80	2,30	17,06	1,50	17,75	4,40	44,80	85,50	42,47
Aufgabe V3/2	100,00		5,32	94,42	3,54	100,00	4,11	100,00	84,22	100,00
V3/3 E1	55,52	4,50	7,90	82,44	5,30	94,67	4,00	53,73	82,60	54,52
V3/3 E2	44,48	4,70	2,10	17,56	1,40	5,33	4,30	46,27	86,00	45,48
Aufgabe V3/3	100,00		5,32	100,00	4,62	100,00	4,13	100,00	84,11	100,00
V4/1 E1	40,15	4,60	11,40	83,60	7,60	83,60	3,80	37,22	80,50	38,66
V4/1 E2	59,85	5,30	1,50	16,40	1,00	16,40	4,30	62,78	85,70	61,34
Aufgabe V4/1	100,00		5,47	100,00	3,65	100,00	4,10	100,00	83,61	100,00
V4/2 E1	37,57	4,40	10,80	82,28	7,20	82,80	3,80	34,20	81,00	36,20
V4/2 E2	62,43	5,10	1,40	17,72	0,90	17,20	4,40	65,80	85,90	63,80
Aufgabe V4/2	100,00		4,93	100,00	3,27	100,00	4,17	100,00	84,06	100,00
V4/3 E1	38,27	4,70	12,60	87,66	8,40	98,84	3,80	34,87	79,60	36,51
V4/3 E2	61,73	5,40	1,10	12,34	0,70	1,16	4,40	65,13	85,80	63,49
Aufgabe V4/3	100,00		5,50	100,00	7,45	100,00	4,17	100,00	83,43	100,00

Tabelle 39: Bilanz MgO

Versuch Nr.	Masse [%]	Glühverlust 1050°C [%]	HCl Unl. _(NCH)		SiO ₂ (rechn.)		CaO (RFA)		MgO (rechn.)	
			g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V1 E1	27,55	3,97	17,40	79,24	11,60	79,09	3,47	23,33	77,53	25,50
V1 E2	72,45	4,60	1,73	20,76	1,17	20,91	4,33	76,67	86,17	74,50
Aufgabe V1	100,00		6,10	100,00	4,04	100,00	4,09	100,00	83,76	100,00
V2 E1	34,21	3,93	10,30	80,87	6,93	81,22	3,50	29,10	82,13	33,17
V2 E2	65,79	4,93	1,27	19,13	0,83	18,78	4,43	70,90	86,03	66,83
Aufgabe V2	100,00		4,33	100,00	4,37	100,00	4,11	100,00	84,72	100,00
V3 E1	55,44	4,37	7,70	80,19	5,13	92,99	3,93	53,03	82,93	54,63
V3 E2	44,56	4,73	2,37	19,81	1,57	7,01	4,33	46,97	85,67	45,37
Aufgabe V3	100,00		5,33	100,00	3,90	100,00	4,11	100,00	84,15	100,00
V4 E1	38,66	4,57	11,60	84,58	7,73	84,90	3,80	35,42	80,37	37,12
V4 E2	61,34	5,27	1,33	15,42	0,87	15,10	4,37	64,58	85,80	62,88
Aufgabe V4	100,00		5,30	100,00	4,79	100,00	4,15	100,00	83,70	100,00

Tabelle 40: arithmetische Mittelwerte der Versuche mit MgO

15.3.4. BEURTEILUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Inhaltsausbringen - Berge

	rel. Luftfeuchte	Rohguttemperatur
Faktor	A	B
-1	78,21	79,58
1	82,32	80,95
MW	80,26	80,26
Delta -1 / 1	4,11	1,37

Faktor	A	B
-1	26,31	38,27
1	44,23	32,27
MW	35,27	35,27
Delta -1 / 1	17,93	-5,99

Faktor	A	B
-1	29,41	40,14
1	45,88	35,15
MW	37,64	37,64
Delta -1 / 1	16,47	-4,99

Faktor	A	B
-1	84,28	84,81
1	86,34	85,82
MW	85,31	85,31
Delta -1 / 1	2,06	1,02

Inhaltsausbringen - Konzentrat

	rel. Luftfeuchte	Rohguttemperatur
Faktor	A	B
-1	21,79	20,25
1	17,51	19,05
MW	19,65	19,65
Delta -1 / 1	-4,28	-1,21

Faktor	A	B
-1	73,69	64,49
1	58,52	67,73
MW	66,11	66,11
Delta -1 / 1	-15,18	3,24

Faktor	A	B
-1	70,59	59,86
1	54,12	64,85
MW	62,36	62,36
Delta -1 / 1	-16,47	4,99

Faktor	A	B
-1	15,72	15,19
1	13,66	14,18
MW	14,69	14,69
Delta -1 / 1	-2,06	-1,02

Tabelle 41: Stufenübersicht Inhaltsausbringen Versuch MgO

Gehalt - Berge

	rel. Luftfeuchte	Rohguttemperatur
Faktor	A	B
-1	13,85	12,55
1	9,65	10,95
MW	11,75	11,75
Delta -1 / 1	-4,2	-1,6

Faktor	A	B
-1	3,48	3,70
1	3,87	3,65
MW	3,68	3,68
Delta -1 / 1	0,39	-0,05

Faktor	A	B
-1	79,83	80,23
1	81,65	81,25
MW	80,74	80,74
Delta -1 / 1	1,82	1,02

Faktor	A	B
-1	1	1,37
1	1,22	0,85
MW	1,11	1,11
Delta -1 / 1	0,22	-0,52

Gehalt - Konzentrat

	rel. Luftfeuchte	Rohguttemperatur
Faktor	A	B
-1	1,50	2,05
1	1,85	1,3
MW	1,68	1,68
Delta -1 / 1	0,35	-0,75

Faktor	A	B
-1	4,38	4,33
1	4,35	4,4
MW	4,37	4,37
Delta -1 / 1	-0,03	0,07

Faktor	A	B
-1	86,1	85,92
1	85,73	85,92
MW	85,92	85,92
Delta -1 / 1	-0,37	0

Faktor	A	B
-1	9,27	8,37
1	6,43	7,33
MW	7,85	7,85
Delta -1 / 1	-2,84	-1,04

Tabelle 42: Stufenübersicht Gehalte Versuch MgO

15.3.5. VARIANZANALYSE

Faktor	Maschinenparameter	Klimaparameter	Rohgutbeschaffenheit
A	Bandgeschwindigkeit	relative Luftfeuchtigkeit	Rohgutfeuchte
B	Elektrodenabstand	Aufgabetemperatur	Rohguttemperatur
C	Spannung		
D	Polarität		
E	Aufgaberate		

Tabelle 43: Faktorzuteilung bei Varianzanalyse

Versuch	A	B	AB	Inhaltsausbringen HCl unl.			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	14,60	26,04	22,27	62,91
2	-1	1	-1	35,19	15,36	17,27	67,83
3	1	-1	-1	23,99	17,06	17,56	58,62
4	1	1	1	16,40	17,72	12,34	46,47

Tabelle 44: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen HCl unl. im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Gehalt HCl unl.			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	1,40	2,00	1,80	5,20
2	-1	1	-1	1,10	1,40	1,30	3,80
3	1	-1	-1	2,70	2,30	2,10	7,10
4	1	1	1	1,50	1,40	1,10	4,00

Tabelle 45: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt HCl unl. im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Inhaltsausbringen SiO ₂			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	15,48	25,50	3,00	43,98
2	-1	1	-1	33,56	14,80	1,96	50,32
3	1	-1	-1	24,11	17,75	5,33	47,19
4	1	1	1	16,40	17,20	1,16	34,76

Tabelle 46: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen SiO₂ im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Gehalt SiO ₂			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	1,00	1,30	1,20	3,50
2	-1	1	-1	0,70	0,90	0,90	2,50
3	1	-1	-1	1,80	1,50	1,40	4,70
4	1	1	1	1,00	0,90	0,70	2,60

Tabelle 47: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt SiO₂ im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Inhaltsausbringen CaO			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	74,81	78,15	76,56	229,52
2	-1	1	-1	71,29	67,48	73,87	212,64
3	1	-1	-1	49,82	44,80	62,78	157,39
4	1	1	1	62,78	65,80	65,13	193,71

Tabelle 48: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Gehalt CaO			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	4,30	4,40	4,30	13,00
2	-1	1	-1	4,50	4,40	4,40	13,30
3	1	-1	-1	4,30	4,40	4,30	13,00
4	1	1	1	4,30	4,40	4,40	13,10

Tabelle 49: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Inhaltsausbringen MgO			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	73,40	75,08	74,58	223,06
2	-1	1	-1	64,99	64,64	70,86	200,49
3	1	-1	-1	48,15	42,47	45,48	136,10
4	1	1	1	61,34	63,80	63,49	188,63

Tabelle 50: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen MgO im Konzentrat

Versuch	A	B	AB	Gehalt MgO			
				1. [%]	2. [%]	3. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	1	86,30	86,00	86,20	258,50
2	-1	1	-1	85,90	86,00	86,20	258,10
3	1	-1	-1	85,50	85,50	86,00	257,00
4	1	1	1	85,70	85,90	85,80	257,40

Tabelle 51: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf den Gehalt MgO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	-25,65	-4,28	54,85	1	54,85	1,24	H0 angenommen
B	-7,23	-1,21	4,36	1	4,36	0,10	H0 angenommen
AB	-17,07	-2,84	24,28	1	24,28	0,55	H0 angenommen
Error			353,08	8	44,14		
Total			436,57	11			

Tabelle 52: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen HCl unl. im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	2,10	0,35	0,37	1	0,37	5,80	H0 abgelehnt
B	-4,50	-0,75	1,69	1	1,69	26,64	H0 abgelehnt
AB	-1,70	-0,28	0,24	1	0,24	3,80	H0 angenommen
Error			0,51	8	0,06		
Total			2,80	11			

Tabelle 53: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt HCl unl. im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	-91,05	-15,18	690,87	1	690,87	27,16	H0 abgelehnt
B	19,44	3,24	31,50	1	31,50	1,24	H0 angenommen
AB	53,19	8,87	235,79	1	235,79	9,27	H0 abgelehnt
Error			203,47	8	25,43		
Total			1161,64	11			

Tabelle 54: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	-0,20	-0,03	0,00	1	0,00	1,00	H0 angenommen
B	0,40	0,07	0,01	1	0,01	4,00	H0 angenommen
AB	-0,20	-0,03	0,00	1	0,00	1,00	H0 angenommen
Error			0,03	8	0,00		
Total			0,05	11			

Tabelle 55: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	-12,35	-2,06	12,71	1	12,71	0,09	H0 angenommen
B	-6,10	-1,02	3,10	1	3,10	0,02	H0 angenommen
AB	-18,77	-3,13	29,35	1	29,35	0,21	H0 angenommen
Error			1105,08	8	138,14		
Total			1150,23	11			

Tabelle 56: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen an SiO₂ im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	1,30	0,22	0,14	1	0,14	5,45	H0 abgelehnt
B	-3,10	-0,52	0,80	1	0,80	31,00	H0 abgelehnt
AB	-1,10	-0,18	0,10	1	0,10	3,90	H0 angenommen
Error			0,21	8	0,03		
Total			1,25	11			

Tabelle 57: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt an SiO₂ im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	-98,82	-16,47	813,81	1	813,81	142,67	H0 abgelehnt
B	29,96	4,99	74,82	1	74,82	13,12	H0 abgelehnt
AB	75,10	12,52	469,96	1	469,96	82,39	H0 abgelehnt
Error			45,63	8	5,70		
Total			1404,22	11			

Tabelle 58: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen an MgO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀	
A	-2,20	-0,37	0,40	1	0,40	11,52	H0 abgelehnt
B	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	H0 angenommen
AB	0,80	0,13	0,05	1	0,05	1,52	H0 angenommen
Error			0,28	8	0,04		
Total			0,74	11			

Tabelle 59: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt an MgO im Konzentrat

15.3.6. EFFEKTDIAGRAMME

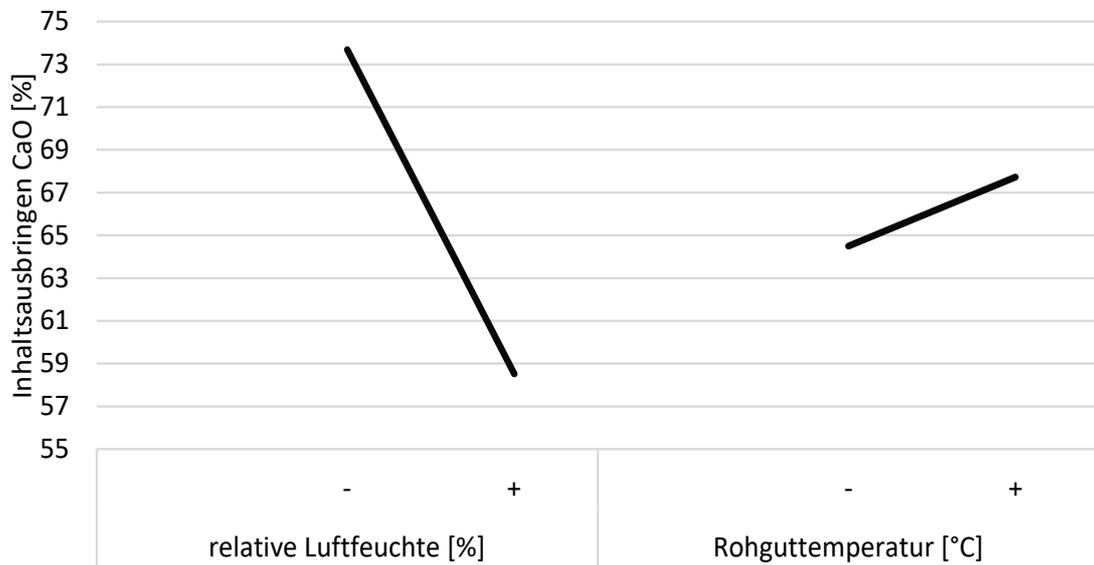


Diagramm 14: Effektendiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an CaO im MgO-Konzentrat

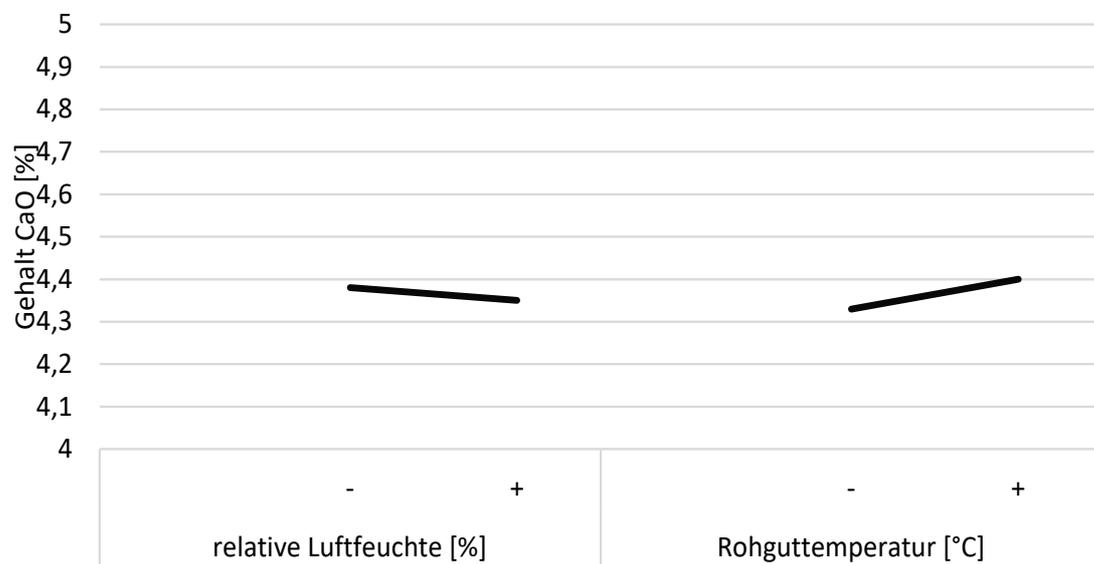


Diagramm 15: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an CaO im MgO-Konzentrat

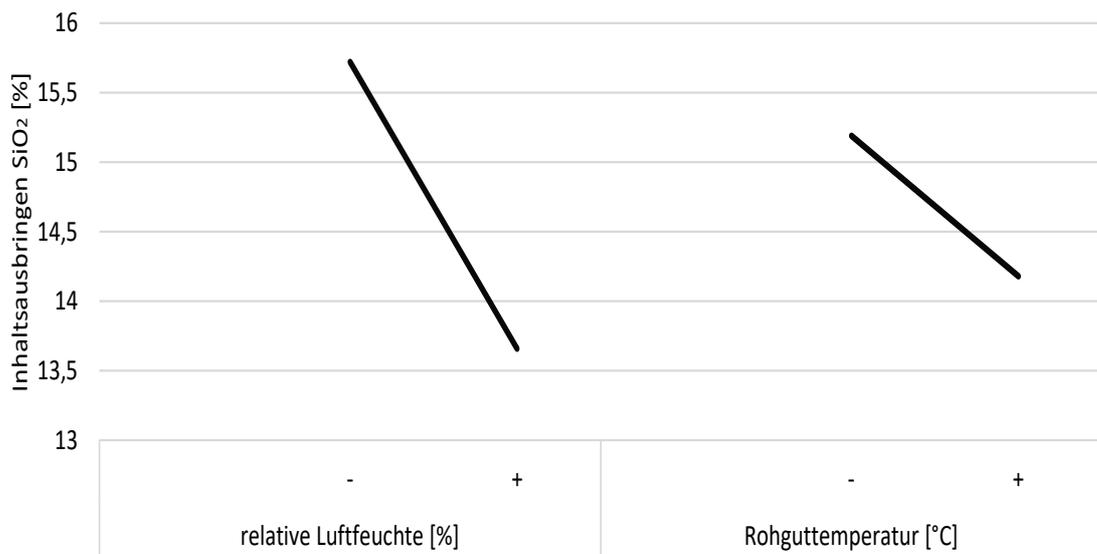


Diagramm 16: Effektendiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an SiO₂ im MgO-Konzentrat

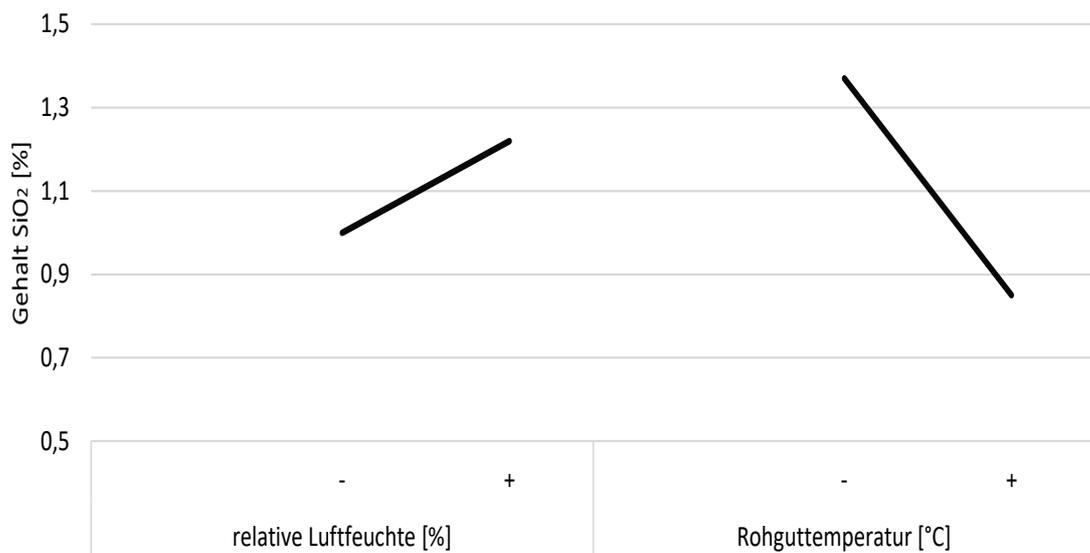


Diagramm 17: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an SiO₂ im MgO-Konzentrat

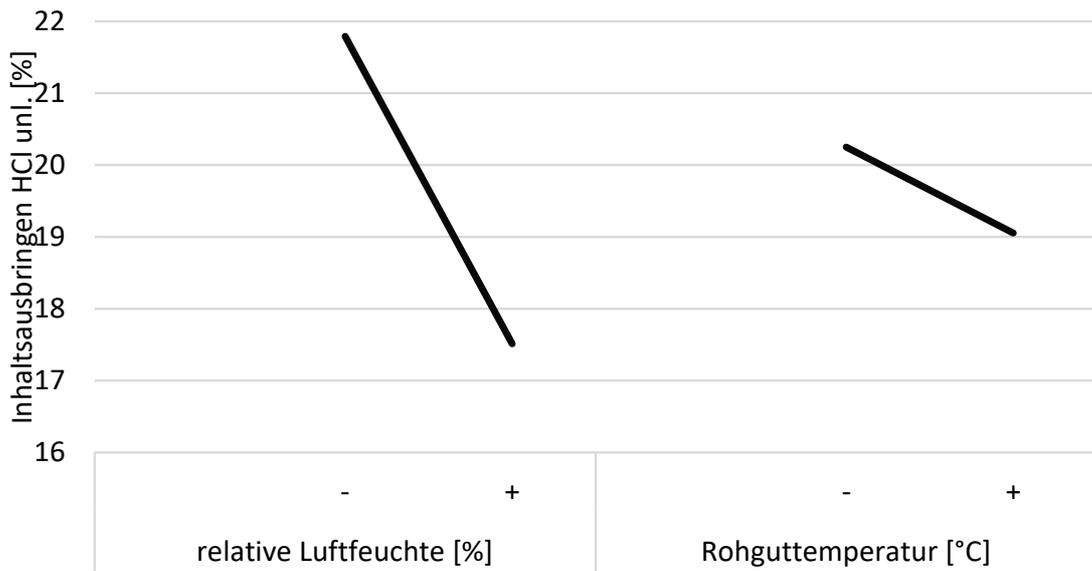


Diagramm 18: Effektendiagramm bezogen auf das Inhaltsausbringen an HCl unl. im MgO-Konzentrat

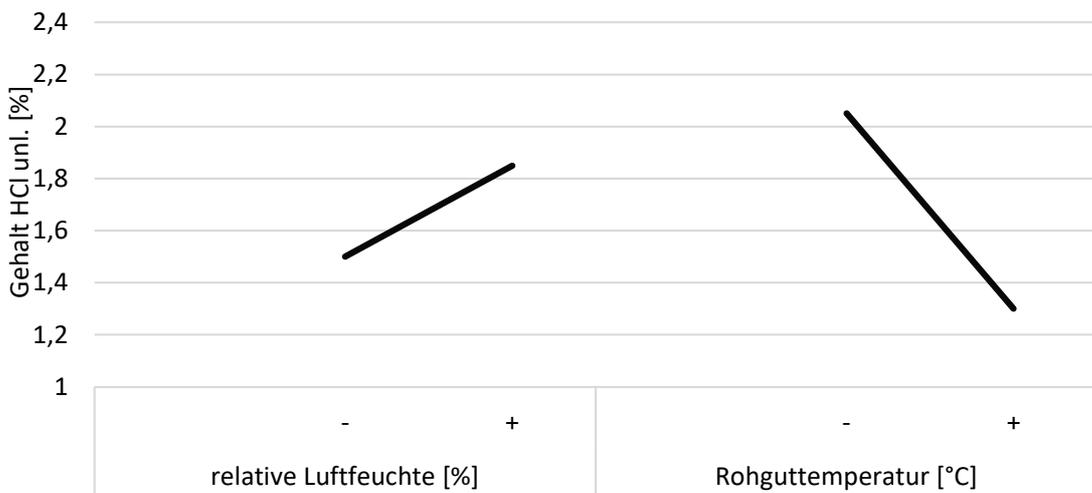


Diagramm 19: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an HCl unl. im MgO-Konzentrat

Inhaltsausbringen	rel. Luftfeuchte	Rohguttemperatur
HCL unlösl. Ausbringen:	1	1
CaO Ausbringen:	-1	1
MgO - Ausbringen	-1	1
SiO ₂ - Ausbringen	1	1
Gesamteinstellungen	-1	1

Tabelle 60: Übersicht Effekte Versuch MgO

15.4. ROHMAGNESIT

15.4.1. VERSUCHSPLAN UND EINSTELLUNGEN

Versuch Nr.	Bandgeschwindigkeit [fps]	Elektrodenabstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
1	-	-	-	+	-
2	-	-	+	+	+
3	+	-	-	+	+
4	+	-	+	+	-
5	-	+	-	+	+
6	-	+	+	+	-
7	+	+	-	+	-
8	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+
10	-	-	+	-	-
11	+	-	-	-	-
12	+	-	+	-	+
13	-	+	-	-	-
14	-	+	+	-	+
15	+	+	-	-	+
16	+	+	+	-	-

Tabelle 61: Versuchsplan 2⁵⁻¹ Rohmagnesit

Stufe	Bandgeschwindigkeit [fps]	Elektrodenabstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
-	17	9	3	negativ	5
+	32,5	14	6	positiv	10

Tabelle 62: Stufenübersicht Rohmagnesit

15.4.2. BANDSCHEIDER: VERSUCHSPROTOKOLLE

Run Time:	07:25		07:30		00:59		00:55		01:23		01:10		08:37		08:38	
Run:	1		2		3		4		5		6		7		8	
Feed Material:	Rohmagnesit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	26,8	25,9	26,8	26,0	27,0	23,9	26,1	25,7	26,4	24,9	26,4	25,0	25,2	25,4	25,1	25,5
Ambient Air Temp, °C &RH%	28,4	17,0	27,1	18,6	27,3	19,2	26,7	20,3	27,7	20,2	26,2	22,1	25,4	23,6	25,3	23,9
Gap (mm):	9		9		9		9		9		9		9		9	
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0,02	0,04	0,03	0,06	0,13	0,22	0,16	0,31	0,07	0,11	0,05	0,08	0,23	0,14	0,12	0,11
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E1		E1													
Polarity Top Electrode (+/-)	+		+		+		+		+		+		+		+	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		35,2		32,5		32,5		32,5	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	5		5		10		10		10		10		5		5	
Weight: Feed (g)	600		600		600		600		600		600		600		600	
End 1 (g)	84,54		129,81		78,36		114,66		128,93		160,04		133,17		151,95	
End 2(g)	338,12		448,22		344		454,17		323,97		431,86		336,08		418,48	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E2/ProductTemp,°C, RH %	27,2	20,6	27,5	20,5	27,2	20,8	26,7	20,8	26,6	22,8	25,9	23,5	25,5	23,4	25,9	23,3

Tabelle 63: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 1

Run Time:	01:43		02:01		13:31		14:54		17:24		10:42		02:00		02:02	
Run:	9		10		11		12		13		14		15		16	
Feed Material:	Rohmagnesit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	24,8	25,5	25,1	26,3	25,1	25,2	24,7	25,1	25,5	24,4	24,4	25,6	24,4	26,1	24,3	26,7
Ambient Air Temp, °C &RH%	24,5	23,8	24,9	25,2	24,9	25,1	24,6	24,6	24,4	25,5	24,2	25,8	26,7	24,4	27,1	24,2
Gap (mm):	14		14		14		14		14		14		14		14	
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,05	0,01	0,03	0,09	0,12	0,09	0,11
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E1		E1													
Polarity Top Electrode (+/-)	+		+		+		+		+		+		+		+	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		35,2		35,2		35,2		35,2	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	10		10		5		5		5		5		10		10	
Weight: Feed (g)	600		600		600		600		600		600		600		600	
End 1 (g)	164,68		154,6		142,29		184,75		173,49		229,57		182,41		272,89	
End 2(g)	319,81		434,92		315,55		388,47		243,08		306,53		235,67		303,7	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E2/ProductTemp,°C, RH %	25,0	24,2	25,1	24,6	24,7	24,7	24,6	25,2	24,7	25,3	24,4	25,1	24,3	25,2	24,3	25,2

Tabelle 64: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 2

Run Time:	03:35		03:30		10:14		10:36		10:18		11:05		03:49		03:40	
Run:	17		18		19		20		21		22		23		24	
Feed Material:	Rohmagnesit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	21,4	27,1	21,3	27,7	21,3	26,5	22,8	29,1	22,4	26,1	22,5	29,7	23,9	28,5	23,9	28,5
Ambient Air Temp, °C &RH%	21,8	29,1	21,6	29,0	23,0	28,2	22,7	29,0	22,8	29,1	22,8	29,1	23,7	29,5	23,8	29,8
Gap (mm):	9															
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0,13	0,09	0,15	0,12	0,01	0,02	0,26	0,24	0,04	0,04	0,07	0,08	0,26	0,35	0,04	0,06
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E2		E2													
Polarity Top Electrode (+/-)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		35,2		35,2		35,2		35,2	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	10		10		5		5		5		5		10		10	
Weight: Feed (g)	600		600		600		600		600		600		600		600	
End 1 (g)	269		401		132		215		172		184		163		260	
End 2(g)	139		168		263		369		326		395		267		391	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	22,5	28,9	22,5	29,0	22,4	29,0	22,4	29,0	22,3	29,4	22,3	29,2	22,3	22,4	29,1	22,4
E2/ProductTemp,°C, RH %	22,5	29,0	22,5	29,1	23,0	28,8	23,2	29,4	23,0	29,4	23,1	29,2	23,2	23,2	29,2	29,2

Tabelle 65: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 3

Run Time:	12:33		12:04		02:05		02:10		03:30		03:24		09:13		09:22	
Run:	25		26		27		28		29		30		31		32	
Feed Material:	Rohmagnesit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	23,3	28,8	23,2	28,6	23,2	28,7	23,4	29,5	23,4	29,5	23,5	29,6	23,6	29,7	23,6	29,9
Ambient Air Temp, °C &RH%	30,9	23,5	30,9	23,5	30,8	23,4	31,1	23,6	31,2	23,6	31,5	23,6	32,3	23,6	32,3	23,6
Gap (mm):																
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,06	0,07	0,03	0,04	0,04	0,05	0,11	0,06	0,04	0,06	0,04
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E2		E2													
Polarity Top Electrode (+/-)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		35,2		35,2		35,2		35,2	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	5		5		10		10		10		10		5		5	
Weight: Feed (g)	600		600		600		600		600		600		600		600	
End 1 (g)	172		188		233		339		124		143		96		128	
End 2(g)	283		359		214		254		329		424		360		379	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	22,4	29,1	22,5	29,2	22,5	29,0	22,5	29,1	22,7	27,3	22,7	27,3	22,6	27,8	22,6	27,7
E2/ProductTemp,°C, RH %	23,2	29,2	23,1	29,2	23,1	29,1	23,0	29,0	23,3	29,4	23,4	29,3	23,4	29,3	23,3	29,2

Tabelle 66: Bandscheiderdatenblatt Rohmagnesit 4

15.4.3. AUSWERTUNG UND ANALYSE

Proben- bezeichnung	Masse [%]	HCl Unl. _(NCH)		CaO _(NCH)		MgO _(NCH)	
		g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
Aufgabe		19,45		2,52		36,09	
V1/1 E1	20,00	71,68	67,27	1,68	9,66	10,28	6,29
V1/1 E2	80,00	8,72	32,73	3,93	90,34	38,30	93,71
	100,00	21,31	100,00	3,48	100,00	32,70	100,00
V1/2 E1	22,46	70,77	64,91	1,96	10,63	10,48	7,49
V1/2 E2	77,54	11,08	35,09	4,77	89,37	37,50	92,51
	100,00	24,48	100,00	4,14	100,00	31,43	100,00
V2/1 E1	18,55	60,37	53,90	2,10	13,44	15,62	8,42
V2/1 E2	81,45	11,76	46,10	3,08	86,56	38,71	91,58
	100,00	20,78	100,00	2,90	100,00	34,43	100,00
V2/2 E1	20,16	56,10	49,71	2,24	14,94	17,34	10,66
V2/2 E2	79,84	14,33	50,29	3,22	85,06	36,69	89,34
	100,00	22,75	100,00	3,02	100,00	32,79	100,00
V3/1 E1	28,47	64,63	76,53	1,82	19,04	13,41	11,64
V3/1 E2	71,53	7,89	23,47	3,08	80,96	40,52	88,36
	100,00	24,04	100,00	2,72	100,00	32,80	100,00
V3/2 E1	27,04	62,33	73,90	1,82	16,12	15,72	12,71
V3/2 E2	72,96	8,16	26,10	3,51	83,88	40,02	87,29
	100,00	22,81	100,00	3,05	100,00	33,45	100,00
V4/1 E1	28,38	65,53	80,18	1,68	17,77	12,90	11,23
V4/1 E2	71,62	6,42	19,82	3,08	82,23	40,42	88,77
	100,00	23,20	100,00	2,68	100,00	32,61	100,00
V4/2 E1	26,64	63,91	76,95	2,10	19,15	12,80	10,45
V4/2 E2	73,36	6,95	23,05	3,22	80,85	39,82	89,55
	100,00	22,12	100,00	2,92	100,00	32,62	100,00
V5/1 E1	33,99	42,01	72,22	1,82	26,05	23,89	23,60
V5/1 E2	66,01	8,32	27,78	2,66	73,95	39,82	76,40
	100,00	19,77	100,00	2,37	100,00	34,41	100,00
V5/2 E1	26,22	46,94	67,84	1,96	20,76	22,18	16,46
V5/2 E2	73,78	7,91	32,16	2,66	79,24	40,02	83,54
	100,00	18,15	100,00	2,48	100,00	35,34	100,00
V6/1 E1	31,08	48,17	76,94	2,24	27,52	20,76	18,58
V6/1 E2	68,92	6,51	23,06	2,66	72,48	41,03	81,42
	100,00	19,46	100,00	2,53	100,00	34,73	100,00
V6/2 E1	32,23	45,41	76,95	1,82	24,55	21,87	20,27
V6/2 E2	67,77	6,47	23,05	2,66	75,45	40,92	79,73
	100,00	19,02	100,00	2,39	100,00	34,78	100,00
V7/1 E1	41,65	45,96	88,01	1,96	35,70	21,77	26,99
V7/1 E2	58,35	4,47	11,99	2,52	64,30	42,03	73,01
	100,00	21,75	100,00	2,29	100,00	33,59	100,00
V7/2 E1	42,82	40,42	88,77	2,10	38,43	24,70	30,46
V7/2 E2	57,18	3,83	11,23	2,52	61,57	42,24	69,54
	100,00	19,50	100,00	2,34	100,00	34,73	100,00
V8/1 E1	43,63	46,77	89,89	1,82	40,15	22,48	28,74
V8/1 E2	56,37	4,07	10,11	2,10	59,85	43,14	71,26
	100,00	22,70	100,00	1,98	100,00	34,13	100,00
V8/2 E1	47,33	39,93	90,88	2,24	40,64	25,00	34,56
V8/2 E2	52,67	3,60	9,12	2,94	59,36	42,54	65,44
	100,00	20,79	100,00	2,61	100,00	34,24	100,00

Tabelle 67: Bilanz Rohmagnesit 1

Proben- bezeichnung	Masse [%]	HCl Unl. _(NCH)		CaO _(NCH)		MgO _(NCH)	
		g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V9/1 E1	65,93	32,57	86,43	2,10	59,21	28,63	58,81
V9/1 E2	34,07	9,90	13,57	2,80	40,79	38,81	41,19
	100,00	24,85	100,00	2,34	100,00	32,10	100,00
V9/2 E1	70,47	27,19	85,99	2,24	65,63	31,05	65,63
V9/2 E2	29,53	10,57	14,01	2,80	34,37	38,81	34,37
	100,00	22,28	100,00	2,41	100,00	33,34	100,00
V10/1 E1	33,42	49,62	70,70	1,82	22,87	20,87	21,21
V10/1 E2	66,58	10,32	29,30	3,08	77,13	38,91	78,79
	100,00	23,45	100,00	2,66	100,00	32,88	100,00
V10/2 E1	36,82	42,85	72,17	2,10	27,54	23,89	26,25
V10/2 E2	63,18	9,63	27,83	3,22	72,46	39,11	73,75
	100,00	21,86	100,00	2,81	100,00	33,51	100,00
V11/1 E1	34,54	51,96	76,06	2,24	24,46	18,85	20,52
V11/1 E2	65,46	8,63	23,94	3,65	75,54	38,51	79,48
	100,00	23,60	100,00	3,16	100,00	31,72	100,00
V11/2 E1	31,78	55,49	75,83	2,52	21,80	16,53	16,63
V11/2 E2	68,22	8,24	24,17	4,21	78,20	38,61	83,37
	100,00	23,26	100,00	3,67	100,00	31,59	100,00
V12/1 E1	37,91	51,66	81,60	2,38	27,71	18,45	22,14
V12/1 E2	62,09	7,11	18,40	3,79	72,29	39,61	77,86
	100,00	24,00	100,00	3,26	100,00	31,59	100,00
V12/2 E1	39,94	43,33	82,91	1,96	29,73	23,79	27,01
V12/2 E2	60,06	5,94	17,09	3,08	70,27	42,74	72,99
	100,00	20,87	100,00	2,63	100,00	35,17	100,00
V13/1 E1	37,80	41,46	82,00	2,52	32,23	24,29	26,18
V13/1 E2	62,20	5,53	18,00	3,22	67,77	41,63	73,82
	100,00	19,11	100,00	2,96	100,00	35,08	100,00
V13/2 E1	34,37	46,72	77,58	2,24	26,70	21,97	21,41
V13/2 E2	65,63	7,07	22,42	3,22	73,30	42,23	78,59
	100,00	20,70	100,00	2,88	100,00	35,27	100,00
V14/1 E1	52,13	32,99	86,80	2,52	55,05	28,12	42,20
V14/1 E2	47,87	5,46	13,20	2,24	44,95	41,93	57,80
	100,00	19,81	100,00	2,39	100,00	34,73	100,00
V14/2 E1	57,17	28,64	83,56	2,38	58,64	29,84	49,69
V14/2 E2	42,83	7,52	16,44	2,24	41,36	40,32	50,31
	100,00	19,59	100,00	2,32	100,00	34,33	100,00
V15/1 E1	27,37	54,69	81,85	1,96	21,74	17,84	13,73
V15/1 E2	72,63	4,57	18,15	2,66	78,26	42,24	86,27
	100,00	18,29	100,00	2,47	100,00	35,56	100,00
V15/2 E1	25,22	58,01	78,81	1,96	19,90	16,33	11,63
V15/2 E2	74,78	5,26	21,19	2,66	80,10	41,83	88,37
	100,00	18,56	100,00	2,48	100,00	35,40	100,00
V16/1 E1	21,05	59,87	76,08	1,96	16,42	16,13	9,28
V16/1 E2	78,95	5,0	23,92	2,7	83,58	42,0	90,72
	100,00	16,6	100,00	2,5	100,00	36,6	100,00
V16/2 E1	25,25	59,2	77,2	3,1	38,2	15,1	10,8
V16/2 E2	74,75	5,9	22,8	1,7	61,8	42,3	89,2
	100,00	19,3	100,0	2,0	100,0	35,5	100,0

Tabelle 68: Bilanz Rohmagnesit 2

15.4.4. BEURTEILUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Inhaltsausbringen - Konzentrat

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HCL unlösl.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	22,25	26,56	23,28	26,56	20,28
	1	23,35	19,03	22,32	19,04	25,32
	MW	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
	Delta -1 / 1	1,1	-7,53	-0,96	-7,52	5,04

	Faktor	A	B	C	D	E
CaO	-1	72	69,04	75,4	75,02	65,76
	1	70,35	73,31	66,95	67,33	76,59
	MW	71,18	71,18	71,18	71,18	71,18
	Delta -1 / 1	-1,65	4,27	-8,45	-7,69	10,83

	Faktor	A	B	C	D	E
MgO	-1	76,86	73,55	82,25	78,93	72,31
	1	78,03	81,34	72,65	75,97	82,59
	MW	77,45	77,45	77,45	77,45	77,45
	Delta -1 / 1	1,17	7,79	-9,60	-2,96	10,28

Gehalt - Konzentrat

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HCL unlösl.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	7,53	7,51	7,17	8,82	5,72
	1	7,29	7,31	7,65	6,00	9,10
	MW	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41
	Delta -1 / 1	-0,24	-0,20	0,48	-2,82	3,38

	Faktor	A	B	C	D	E
CaO	-1	3,20	3,00	3,10	3,40	3,00
	1	2,80	3,00	2,80	2,60	3,00
	MW	3,00	3,00	2,95	3,00	3,00
	Delta -1 / 1	-0,40	0,00	-0,30	-0,80	0,00

	Faktor	A	B	C	D	E
MgO	-1	40,23	40,20	40,35	39,67	41,64
	1	40,60	40,64	40,48	41,17	39,19
	MW	40,42	40,42	40,42	40,42	40,42
	Delta -1 / 1	0,37	0,44	0,13	1,50	-2,45

Tabelle 69: Stufenübersicht Rohmagnesit Gehalt und Inhaltsausbringen im Konzentrat

Inhaltsausbringen - Berge

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HCL unlösl.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	77,75	73,44	76,72	73,44	79,72
	1	76,65	80,97	77,68	80,96	74,68
	MW	77,20	77,21	77,20	77,20	77,20
	Delta -1 / 1	-1,10	7,53	0,96	7,52	-5,04

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
CaO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	28,00	30,96	24,60	24,98	34,24
	1	29,65	26,69	33,05	32,67	23,41
	MW	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83
	Delta -1 / 1	1,65	-4,27	8,45	7,69	-10,83

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
MgO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	23,14	26,45	17,75	21,07	27,69
	1	21,97	18,66	27,35	24,03	17,41
	MW	22,56	22,56	22,55	22,55	22,55
	Delta -1 / 1	-1,17	-7,79	9,60	2,96	-10,28

Gehalt - Berge

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HCL unlösl.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	50,80	46,47	53,69	54,37	46,01
	1	49,64	53,98	46,76	46,07	54,43
	MW	50,22	50,23	50,23	50,22	50,22
	Delta -1 / 1	-1,16	7,51	-6,93	-8,30	8,42

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
CaO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	2,10	2,10	2,10	2,00	2,20
	1	2,10	2,10	2,10	2,20	2,00
	MW	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
	Delta -1 / 1	0,00	0,00	0,00	0,20	-0,20

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
MgO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	19,87	21,94	18,33	18,16	21,98
	1	20,31	18,24	21,86	22,02	18,20
	MW	20,09	20,09	20,10	20,09	20,09
	Delta -1 / 1	0,44	-3,70	3,53	3,86	-3,78

Tabelle 70: Stufenübersicht Rohmagnesit Gehalt und Inhaltsausbringen in den Bergen

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität
HCL unlös. Ausbringen:	-1	1	1	1	-1
CaO Ausbringen:	-1	1	-1	-1	1
MgO - Ausbringen	1	1	-1	-1	1
Gesamteinstellungen	1	1	-1	-1	1

Tabelle 71: Ermittlung vielversprechendste Einstellungen Rohmagnesit

15.4.5. VARIANZANALYSE

Faktor	Maschinenparameter	Klimaparameter	Rohgutbeschaffenheit
A	Bandgeschwindigkeit	relative Luftfeuchtigkeit	Rohgutfeuchte
B	Elektrodenabstand	Aufgabetemperatur	Rohguttemperatur
C	Spannung		
D	Polarität		
E	Aufgaberate		

Tabelle 72: Faktorzuweisung bei Varianzanalyse

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE	Inhaltsausbringen HCl unl.			Gehalt HCl unl.		
																1. [%]	2. [%]	Σ [%]	1. [%]	2. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	32,73	35,09	67,82	8,72	11,08	19,80
2	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	46,10	50,29	96,39	11,76	14,33	26,09
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	23,47	26,10	49,58	7,89	8,16	16,05
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	19,82	23,05	42,87	6,42	6,95	13,37
5	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	27,78	32,16	59,94	8,32	7,91	16,23
6	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	23,06	23,05	46,11	6,51	6,47	12,98
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	11,99	11,23	23,22	4,47	3,83	8,30
8	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	10,11	9,12	19,23	4,07	3,60	7,67
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	13,57	14,01	27,58	9,90	10,57	20,47
10	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	29,30	27,83	57,13	10,32	9,63	19,95
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	23,94	24,17	48,12	8,63	8,24	16,87
12	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	18,40	17,09	35,49	7,11	5,94	13,05
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	18,00	22,42	40,42	5,53	7,07	12,60
14	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	13,20	16,44	29,63	5,46	7,52	12,98
15	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	18,15	21,19	39,34	4,57	5,26	9,83
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23,92	22,80	46,72	5,02	5,90	10,92

Tabelle 73: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf Inhaltsausbringen und Gehalt HCl unl. im Konzentrat

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE	Inhaltsausbringen CaO			Gehalt CaO		
																1. [%]	2. [%]	Σ [%]	1. [%]	2. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	90,34	89,37	179,71	3,93	4,77	8,70
2	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	86,56	85,06	171,62	3,08	3,22	6,30
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	80,96	83,88	164,84	3,08	3,51	6,59
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	82,23	80,85	163,08	3,08	3,22	6,30
5	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	73,95	79,24	153,19	2,66	2,66	5,32
6	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	72,48	75,45	147,93	2,66	2,66	5,32
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	64,30	61,57	125,88	2,52	2,52	5,04
8	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	59,85	59,36	119,21	2,10	2,94	5,04
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	40,79	34,37	75,16	2,80	2,80	5,60
10	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	77,13	72,46	149,59	3,08	3,22	6,30
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	75,54	78,20	153,74	3,65	4,21	7,86
12	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	72,29	70,27	142,55	3,79	3,08	6,87
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	67,77	73,30	141,06	3,22	3,22	6,44
14	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	44,95	41,36	86,30	2,24	2,24	4,48
15	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	78,26	80,10	158,36	2,66	2,66	5,32
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	83,58	61,76	145,34	2,66	1,68	4,34

Tabelle 74: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf Inhaltsausbringen und Gehalt CaO im Konzentrat

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE	Inhaltsausbringen MgO			Gehalt MgO		
																1. [%]	2. [%]	Σ [%]	1. [%]	2. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	93,71	92,51	186,22	38,30	37,50	75,80
2	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	91,58	89,34	180,92	38,71	36,69	75,40
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	88,36	87,29	175,66	40,52	40,02	80,54
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	88,77	89,55	178,32	40,42	39,82	80,24
5	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	76,40	83,54	159,94	39,82	40,02	79,84
6	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	81,42	79,73	161,16	41,03	40,92	81,95
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	73,01	69,54	142,55	42,03	42,24	84,27
8	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	71,26	65,44	136,70	43,14	42,54	85,68
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	41,19	34,37	75,56	38,81	38,81	77,62
10	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	78,79	73,75	152,54	38,91	39,11	78,02
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	79,48	83,37	162,85	38,51	38,61	77,12
12	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	77,86	72,99	150,85	39,61	42,74	82,35
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	73,82	78,59	152,41	41,63	42,23	83,86
14	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	57,80	50,31	108,11	41,93	40,32	82,25
15	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	86,27	88,37	174,63	42,24	41,83	84,07
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90,72	89,24	179,95	42,03	42,34	84,37

Tabelle 75: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf das Inhaltsausbringen und den Gehalt MgO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F0	
A	-120,5	-12,0	453,5	1,0	453,5	137,0	H0 abgelehnt
B	-120,4	-12,0	452,8	1,0	452,8	136,8	H0 abgelehnt
C	17,6	1,8	9,6	1,0	9,6	2,9	H0 angenommen
D	-80,7	-8,1	203,7	1,0	203,7	61,5	H0 abgelehnt
E	15,2	1,5	7,3	1,0	7,3	2,2	H0 angenommen
AB	25,3	2,5	20,0	1,0	20,0	6,0	H0 abgelehnt
AC	-49,5	-4,9	76,5	1,0	76,5	23,1	H0 abgelehnt
AD	150,3	15,0	705,5	1,0	705,5	213,1	H0 abgelehnt
AE	19,4	1,9	11,7	1,0	11,7	3,5	H0 angenommen
BC	-60,0	-6,0	112,5	1,0	112,5	34,0	H0 abgelehnt
BD	95,9	9,6	287,7	1,0	287,7	86,9	H0 abgelehnt
BE	1,4	0,1	0,1	1,0	0,1	0,0	H0 angenommen
CD	9,5	0,9	2,8	1,0	2,8	0,9	H0 angenommen
CE	9,0	0,9	2,5	1,0	2,5	0,8	H0 angenommen
DE	105,4	10,5	347,5	1,0	347,5	105,0	H0 abgelehnt
Error			53,0	16,0	3,3	1,0	
Total			2746,6	31,0			

Tabelle 76: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen HCL unl. im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F0	
A	-45,0	-4,5	63,4	1,0	63,4	85,8	H0 abgelehnt
B	-54,1	-5,4	91,6	1,0	91,6	124,0	H0 abgelehnt
C	-3,1	-0,3	0,3	1,0	0,3	0,4	H0 angenommen
D	-3,8	-0,4	0,5	1,0	0,5	0,6	H0 angenommen
E	-7,6	-0,8	1,8	1,0	1,8	2,4	H0 angenommen
AB	8,9	0,9	2,5	1,0	2,5	3,4	H0 angenommen
AC	-8,9	-0,9	2,5	1,0	2,5	3,4	H0 angenommen
AD	14,4	1,4	6,5	1,0	6,5	8,7	H0 abgelehnt
AE	13,3	1,3	5,5	1,0	5,5	7,5	H0 abgelehnt
BC	-1,7	-0,2	0,1	1,0	0,1	0,1	H0 angenommen
BD	6,1	0,6	1,2	1,0	1,2	1,6	H0 angenommen
BE	3,8	0,4	0,4	1,0	0,4	0,6	H0 angenommen
CD	-2,6	-0,3	0,2	1,0	0,2	0,3	H0 angenommen
CE	2,4	0,2	0,2	1,0	0,2	0,3	H0 angenommen
DE	15,6	1,6	7,6	1,0	7,6	10,3	H0 abgelehnt
Error			11,8	16,0	0,7	1,0	
Total			196,0	31,0			

Tabelle 77: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt HCl unl. im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	68,4	6,8	146,4	1,0	146,4	7,1	H0 abgelehnt
B	-123,0	-12,3	473,0	1,0	473,0	23,1	H0 abgelehnt
C	-26,3	-2,6	21,7	1,0	21,7	1,1	H0 angenommen
D	-173,4	-17,3	939,1	1,0	939,1	45,9	H0 abgelehnt
E	135,1	13,5	570,2	1,0	570,2	27,9	H0 abgelehnt
AB	-27,8	-2,8	24,2	1,0	24,2	1,2	H0 angenommen
AC	-38,9	-3,9	47,4	1,0	47,4	2,3	H0 angenommen
AD	227,3	22,7	1614,6	1,0	1614,6	78,9	H0 abgelehnt
AE	-129,0	-12,9	519,7	1,0	519,7	25,4	H0 abgelehnt
BC	-133,1	-13,3	553,7	1,0	553,7	27,0	H0 abgelehnt
BD	143,1	14,3	639,6	1,0	639,6	31,2	H0 abgelehnt
BE	-48,8	-4,9	74,4	1,0	74,4	3,6	H0 angenommen
CD	17,2	1,7	9,3	1,0	9,3	0,5	H0 angenommen
CE	37,4	3,7	43,8	1,0	43,8	2,1	H0 angenommen
DE	119,6	12,0	447,2	1,0	447,2	21,8	H0 abgelehnt
Error			327,6	16,0	20,5	1,0	
Total			6451,6	31,0			

Tabelle 78: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	-1,1	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,4	H0 angenommen
B	-13,2	-1,3	5,5	1,0	5,5	50,9	H0 abgelehnt
C	-5,9	-0,6	1,1	1,0	1,1	10,2	H0 abgelehnt
D	-1,4	-0,1	0,1	1,0	0,1	0,6	H0 angenommen
E	4,8	0,5	0,7	1,0	0,7	6,7	H0 abgelehnt
AB	-2,5	-0,3	0,2	1,0	0,2	1,9	H0 angenommen
AC	1,4	0,1	0,1	1,0	0,1	0,6	H0 angenommen
AD	4,2	0,4	0,6	1,0	0,6	5,2	H0 abgelehnt
AE	-5,3	-0,5	0,9	1,0	0,9	8,3	H0 abgelehnt
BC	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	H0 angenommen
BD	1,1	0,1	0,0	1,0	0,0	0,4	H0 angenommen
BE	-2,8	-0,3	0,2	1,0	0,2	2,3	H0 angenommen
CD	-0,5	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
CE	-5,6	-0,6	1,0	1,0	1,0	9,3	H0 abgelehnt
DE	0,6	0,1	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
Error			1,7	16,0	0,1	1,0	
Total			12,1	31,0			

Tabelle 79: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	124,7	12,5	485,6	1,0	485,6	51,1	H0 abgelehnt
B	-47,5	-4,7	70,4	1,0	70,4	7,4	H0 abgelehnt
C	18,7	1,9	11,0	1,0	11,0	1,2	H0 angenommen
D	-164,6	-16,5	846,4	1,0	846,4	89,0	H0 abgelehnt
E	153,6	15,4	737,7	1,0	737,7	77,6	H0 abgelehnt
AB	-20,2	-2,0	12,7	1,0	12,7	1,3	H0 angenommen
AC	-38,5	-3,8	46,2	1,0	46,2	4,9	H0 abgelehnt
AD	234,7	23,5	1721,0	1,0	1721,0	181,0	H0 abgelehnt
AE	-102,0	-10,2	324,9	1,0	324,9	34,2	H0 abgelehnt
BC	-106,0	-10,6	350,9	1,0	350,9	36,9	H0 abgelehnt
BD	194,1	19,4	1177,1	1,0	1177,1	123,8	H0 abgelehnt
BE	-40,3	-4,0	50,6	1,0	50,6	5,3	H0 abgelehnt
CD	33,3	3,3	34,6	1,0	34,6	3,6	H0 angenommen
CE	37,2	3,7	43,1	1,0	43,1	4,5	H0 abgelehnt
DE	123,6	12,4	477,2	1,0	477,2	50,2	H0 abgelehnt
Error			152,1	16,0	9,5	1,0	
Total			6541,5	31,0			

Tabelle 80: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen MgO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	23,9	2,4	17,9	1,0	17,9	30,3	H0 abgelehnt
B	39,2	3,9	48,0	1,0	48,0	81,5	H0 abgelehnt
C	7,1	0,7	1,6	1,0	1,6	2,7	H0 angenommen
D	5,9	0,6	1,1	1,0	1,1	1,9	H0 angenommen
E	-2,1	-0,2	0,1	1,0	0,1	0,2	H0 angenommen
AB	-2,9	-0,3	0,3	1,0	0,3	0,5	H0 angenommen
AC	6,1	0,6	1,2	1,0	1,2	2,0	H0 angenommen
AD	-11,6	-1,2	4,2	1,0	4,2	7,1	H0 abgelehnt
AE	-11,2	-1,1	3,9	1,0	3,9	6,6	H0 abgelehnt
BC	-2,7	-0,3	0,2	1,0	0,2	0,4	H0 angenommen
BD	-0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	H0 angenommen
BE	7,3	0,7	1,7	1,0	1,7	2,9	H0 angenommen
CD	1,5	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	H0 angenommen
CE	-0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	H0 angenommen
DE	-3,7	-0,4	0,4	1,0	0,4	0,7	H0 angenommen
Error			9,4	16,0	0,6	1,0	
Total			90,1	31,0			

Tabelle 81: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt MgO im Konzentrat

15.4.6. EFFEKTDIAGRAMME

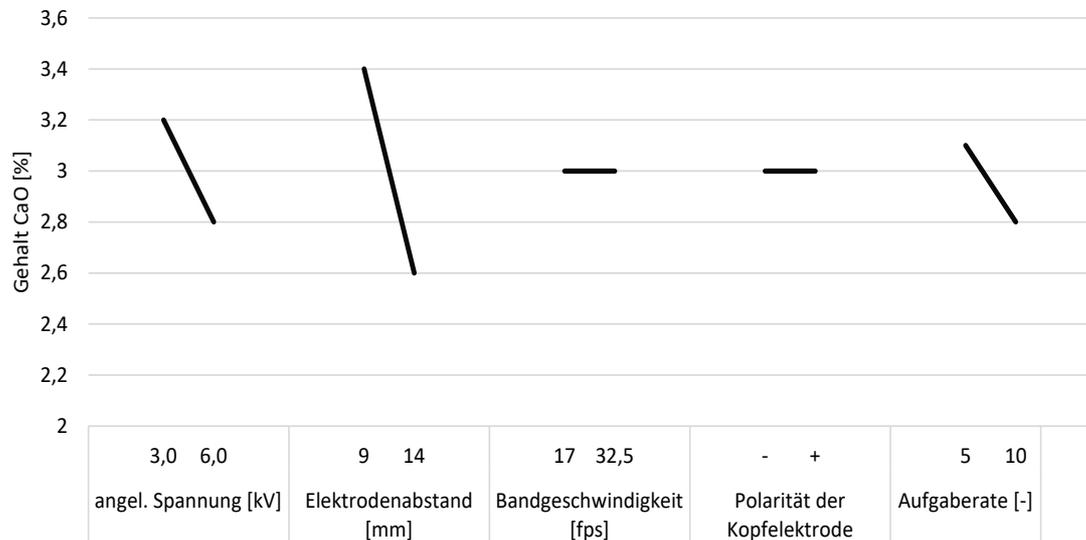


Diagramm 20: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an CaO im Magnesit-Konzentrat

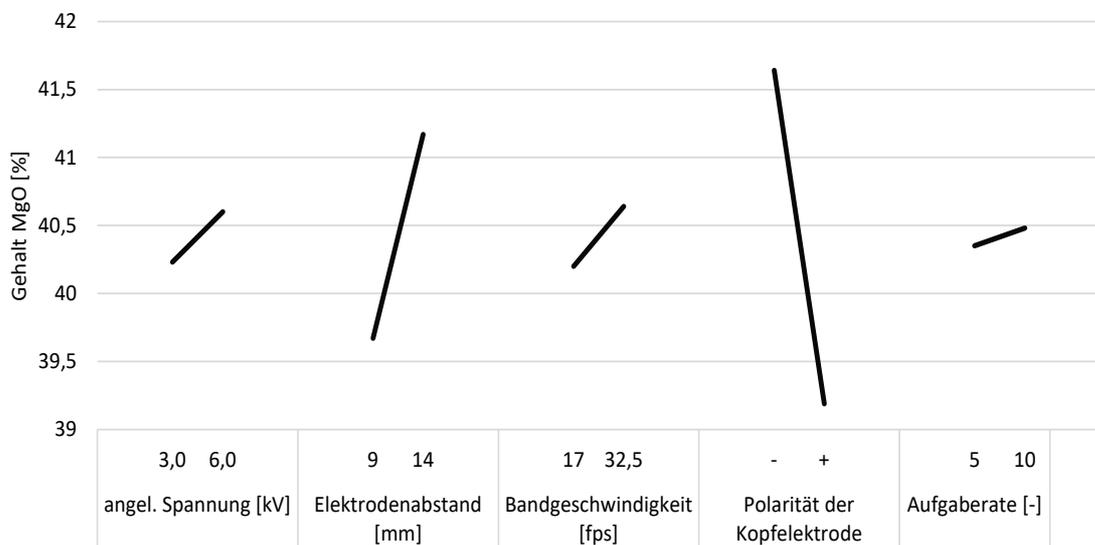


Diagramm 21: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an MgO im Magnesit-Konzentrat

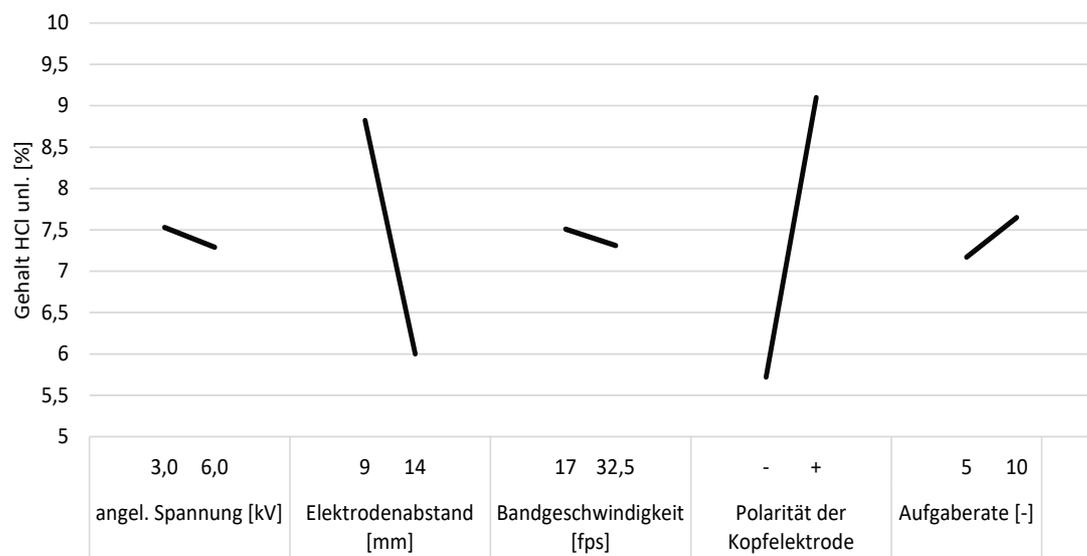


Diagramm 22: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an HCl unl. im Magnesit-Konzentrat

15.5. GULSENIT

15.5.1. ROHGUTCHARAKTERISTIK

Maschen- weite [μm]	Masse [%]	Durchgang [%]
125	76,62	23,38
100	8,32	15,06
80	6,94	8,11
63	3,19	4,92
40	3,31	1,61
0	1,02	0,59
Σ	100,00	

Tabelle 82: Masseverteilung der Korngrößenanteile Aufgabe Gulsenit

15.5.2. VERSUCHSPLAN UND EINSTELLUNGEN

Versuch Nr.	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
1	-	-	-	+	-
2	-	-	+	+	+
3	+	-	-	+	+
4	+	-	+	+	-
5	-	+	-	+	+
6	-	+	+	+	-
7	+	+	-	+	-
8	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+
10	-	-	+	-	-
11	+	-	-	-	-
12	+	-	+	-	+
13	-	+	-	-	-
14	-	+	+	-	+
15	+	+	-	-	+
16	+	+	+	-	-

Tabelle 83: Versuchsplan 2^{5-1} Gulsenit

Stufe	Band- geschwindigkeit [fps]	Elektroden- abstand [mm]	angelegte Spannung [kV]	Polarität der Kopfelektrode [-]	Aufgaberate [-]
-	17	9	3	negativ	5
+	32,5	14	6	positiv	10

Tabelle 84: Stufenübersicht Gulsenit

15.5.3. BANDSCHEIDER: VERSUCHSPROTOKOLLE

Run Time:	20:23		14:40		02:01		01:21		01:26		01:13		10:30		10:28	
Run:	1		2		3		4		5		6		7		8	
Feed Material:	Gulsenit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	26,1	6,4	26,1	6,4	24,4	5,5	24,4	5,6	26,6	6,3	26,6	6,3	21,5	6,4	21,9	5,6
Ambient Air Temp, °C &RH%	26,1	23,5	26,1	23,5	27,1	22,5	27,1	22,5	27,5	23,3	27,5	23,3	25,8	20,7	27,0	17,3
Gap (mm):	9		9		9		9		9		9		9		9	
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0	0	0	0	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E1															
Polarity Top Electrode (+/-)	+		+		+		+		+		+		+		+	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		32,5		32,5		32,5		32,5	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	5		5		10		10		10		10		5		5	
Weight: Feed (g)	650		650		650		650		650		650		650		650	
End 1 (g)	95,55		91,93		27,90		47,36		138,26		159,37		77,47		97,37	
End 2(g)	425,04		515,56		450,01		567,74		435,41		462,45		447,75		529,40	
Mass Balance																
E1/ProductTemp, °C, RH %	27,9	9,2	27,9	9,1	-	-	-	-	28,9	6,9	29,8	7,0	-	-	-	-
E2/ProductTemp, °C, RH %	28,2	7,6	28,1	7,0	29,5	7,0	30,0	7,1	29,4	6,7	30,1	6,7	26,2	8,1	27,8	7,3

Tabelle 85: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 1

Run Time:	01:30		01:25		22:08		22:17		08:23		08:12		01:32		01:30	
Run:	9		10		11		12		13		14		15		16	
Feed Material:	Gulsenit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	23,4	5,8	23,4	5,8	21,1	5,8	22,4	6,2	23,0	5,8	23,9	6,4	23,7	1,3	25,5	1,9
Ambient Air Temp, °C &RH%	27,8	17,6	27,8	17,6	28,1	18,6	22,9	23,3	24,2	22,7	25,3	23,0	26,9	21,9	26,8	23,8
Gap (mm):	14		14		14		14		14		14		14		14	
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0,04	0,06	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E1															
Polarity Top Electrode (+/-)	+		+		+		+		+		+		+		+	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		32,5		32,5		32,5		32,5	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	10		10		5		5		5		5		10		10	
Weight: Feed (g)	650		650		650		650		650		650		650		650	
End 1 (g)	32,99		44,72		116,95		134,10		316,72		354,37		74,96		91,28	
End 2(g)	501,24		541,91		421,16		513,91		193,57		242,03		434,45		504,13	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	-	-	-	-	-	-	-	-	26,1	7,7	27,5	8,4	-	-	-	-
E2/ProductTemp,°C, RH %	27,8	7,3	29,0	6,8	23,6	8,6	24,9	8,1	26,7	8,0	26,7	8,8	29,3	2,0	29,3	2,4

Tabelle 86: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 2

Run Time:	09:29		09:20		01:15		01:05		00:56		00:51		06:32		06:35	
Run:	17		18		19		20		21		22		23		24	
Feed Material:	Gulsenit															
Type:																
Feed Temp °C & RH %	22,1	1,9	23,4	2,4	23,7	2,1	23,7	2,1	24,0	2,4	24	2,4	25,4	2,6	23,9	1,3
Ambient Air Temp, °C &RH%	22,9	25,7	23,9	24,4	24,5	24,7	22,4	24,6	26,4	19,9	24,9	21,5	27,6	18,4	28,4	17,2
Gap (mm):	14		14		14		14		14		14		14		14	
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3	3	3	6	6	6	6
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,09	0,01	0,03
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E2															
Polarity Top Electrode (+/-)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		32,5		32,5		32,5		32,5	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	5		5		10		10		10		10		5		5	
Weight: Feed (g)	650		650		650		650		650		650		650		650	
End 1 (g)	70,36		120,26		258,45		439,32		319,09		468,00		36,73		70,49	
End 2(g)	431,71		506,10		155,66		195,85		197,32		166,78		455,04		575,11	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	-	-	-	-	26,3	2,0	26,6	1,6	26,9	2,4	27,8	1,9	-	-	-	-
E2/ProductTemp,°C, RH %	24,2	2,4	24,4	2,1	26,0	2,0	-	-	27,2	3,00	27,7	2,2	28,1	2,2	28,0	2,2

Tabelle 87: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 3

Run Time:	01:27		01:30		08:48		08:50		07:05				01:14			
Run:	25		26		27		28		29		30		31		32	
Feed Material:	Gulsenit		Gulsenit		Gulsenit		Gulsenit									
Type:																
Feed Temp °C & RH %	21,5	1,6	21,7	1,4	23,1	2,0	23,0	1,6	23,1	1,5			27,6	1,6		
Ambient Air Temp, °C &RH%	22,9	25,5	23,1	24,3	22,7	25,3	29,5	20,2	29,5	20,2			30,5	20,0		
Gap (mm):	9		9		9		9		9		9		9		9	
Power Supplies:		0		0		0		0		0		0		0		0
Voltage set pt (kV)	3	3	3	3	6	6	6	6	3	3			6	6		
Current limit (mA)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voltage measured (kV)	2,9	2,9	2,9	2,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	2,9			5,9	5,9		
Current before feed (mA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current during feed (mA)	0	0	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0,19	0,22			0,11	0,16		
PSI	12		12		12		12		12		12		12		12	
Belt direction (toward)	E2		E2		E2		E2									
Polarity Top Electrode (+/-)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Port	1		1		1		1		1		1		1		1	
Belt Speed, set point (fps)	17		17		17		17		32,5		32,5		32,5		32,5	
Corona electrode (kV)	-		-		-		-		-		-		-		-	
Feed Rate (set point vibro feeder)	10		10		5		5		5		5		10		10	
Weight: Feed (g)	650		650		650		650		650		650		650		650	
End 1 (g)	319,50		498,54		47,22		65,68		104,72		104,72		204,19		204,19	
End 2(g)	207,66		155,50		468,35		560,14		428,76		428,76		315,27		315,27	
Mass Balance																
E1/ProductTemp,°C, RH %	21,4	3,6	24,2	2,1	-	-	-	-	-	-			-	-		
E2/ProductTemp,°C, RH %	-	-	-	-	26,7	2,1	28,8	3,2	29,7	2,4			30,2	2,6		

Tabelle 88: Bandscheiderdatenblatt Gulsenit 4

15.5.4. AUSWERTUNG UND ANALYSE

Proben- bezeichnung	Masse [%]	HF Unl. _(NCH)		CaO _(NCH)		MgO _(NCH)	
		g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V1/1 E1	18,35	7,73	33,05	0,56	15,24	4,03	18,73
V1/1 E2	81,65	3,52	66,95	0,70	84,76	3,93	81,27
	100,00	4,29	100,00	0,67	100,00	3,95	100,00
V1/2 E1	15,13	4,65	18,98	0,56	12,48	4,94	19,53
V1/2 E2	84,87	3,54	81,02	0,70	87,52	3,63	80,47
	100,00	3,71	100,00	0,68	100,00	3,83	100,00
V2/1 E1	5,84	9,10	12,53	0,56	5,84	4,64	5,40
V2/1 E2	94,16	3,94	87,47	0,56	94,16	5,04	94,60
	100,00	4,24	100,00	0,56	100,00	5,02	100,00
V2/2 E1	7,70	9,29	19,69	0,56	7,70	4,33	6,81
V2/2 E2	92,30	3,16	80,31	0,56	92,30	4,94	93,19
	100,00	3,63	100,00	0,56	100,00	4,89	100,00
V3/1 E1	24,10	3,37	22,15	0,56	29,75	6,96	35,99
V3/1 E2	75,90	3,76	77,85	0,42	70,25	3,93	64,01
	100,00	3,67	100,00	0,45	100,00	4,66	100,00
V3/2 E1	25,63	3,60	37,36	0,42	20,54	8,57	36,95
V3/2 E2	74,37	2,08	62,64	0,56	79,46	5,04	63,05
	100,00	2,47	100,00	0,52	100,00	5,94	100,00
V4/1 E1	14,75	10,91	43,42	0,56	14,75	6,85	21,07
V4/1 E2	85,25	2,46	56,58	0,56	85,25	4,44	78,93
	100,00	3,71	100,00	0,56	100,00	4,80	100,00
V4/2 E1	15,54	8,85	44,38	0,56	19,69	8,87	27,37
V4/2 E2	84,46	2,04	55,62	0,42	80,31	4,33	72,63
	100,00	3,10	100,00	0,44	100,00	5,04	100,00
V5/1 E1	6,18	4,26	8,08	0,56	8,07	4,94	5,35
V5/1 E2	93,82	3,19	91,92	0,42	91,93	5,75	94,65
	100,00	3,26	100,00	0,43	100,00	5,70	100,00
V5/2 E1	7,62	5,78	16,75	0,42	7,62	4,94	7,35
V5/2 E2	92,38	2,37	83,25	0,42	92,38	5,14	92,65
	100,00	2,63	100,00	0,42	100,00	5,12	100,00
V6/1 E1	21,73	2,28	14,96	0,56	21,73	7,96	30,07
V6/1 E2	78,27	3,60	85,04	0,56	78,27	5,14	69,93
	100,00	3,31	100,00	0,56	100,00	5,75	100,00
V6/2 E1	20,69	1,44	12,02	0,56	20,69	5,75	27,63
V6/2 E2	79,31	2,75	87,98	0,56	79,31	3,93	72,37
	100,00	2,48	100,00	0,56	100,00	4,31	100,00
V7/1 E1	62,07	1,71	34,34	0,56	62,07	6,25	66,99
V7/1 E2	37,93	5,35	65,66	0,56	37,93	5,04	33,01
	100,00	3,09	100,00	0,56	100,00	5,79	100,00
V7/2 E1	59,42	2,45	36,50	0,84	68,71	5,44	66,96
V7/2 E2	40,58	6,24	63,50	0,56	31,29	3,93	33,04
	100,00	3,99	100,00	0,73	100,00	4,83	100,00
V8/1 E1	14,72	13,04	33,33	0,56	14,72	2,82	10,32
V8/1 E2	85,28	4,50	66,67	0,56	85,28	4,23	89,68
	100,00	5,76	100,00	0,56	100,00	4,02	100,00
V8/2 E1	15,33	6,81	19,38	0,56	15,33	7,26	31,79
V8/2 E2	84,67	5,13	80,62	0,56	84,67	2,82	68,21
	100,00	5,39	100,00	0,56	100,00	3,50	100,00

Tabelle 89: Bilanz Gulsenit 1

Proben- bezeichnung	Masse [%]	HF Unl. _(NCH)		CaO _(NCH)		MgO _(NCH)	
		g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]	g [%]	rij [%]
V9/1 E1	60,61	6,44	80,37	0,56	55,17	5,04	62,06
V9/1 E2	39,39	2,42	19,63	0,70	44,83	4,74	37,94
	100,00	4,86	100,00	0,62	100,00	4,92	100,00
V9/2 E1	76,22	6,50	89,52	0,56	76,22	6,65	84,44
V9/2 E2	23,78	2,44	10,48	0,56	23,78	3,93	15,56
	100,00	5,53	100,00	0,56	100,00	6,00	100,00
V10/1 E1	9,16	5,33	10,50	0,56	9,16	5,44	10,99
V10/1 E2	90,84	4,58	89,50	0,56	90,84	4,44	89,01
	100,00	4,65	100,00	0,56	100,00	4,53	100,00
V10/2 E1	10,50	19,03	33,55	0,70	12,78	2,32	4,24
V10/2 E2	89,50	4,42	66,45	0,56	87,22	6,15	95,76
	100,00	5,95	100,00	0,57	100,00	5,75	100,00
V11/1 E1	19,63	21,25	70,52	0,56	19,63	4,33	25,94
V11/1 E2	80,37	2,17	29,48	0,56	80,37	3,02	74,06
	100,00	5,92	100,00	0,56	100,00	3,28	100,00
V12/1 E1	39,31	5,69	56,82	0,84	49,28	6,85	55,00
V12/1 E2	60,69	2,80	43,18	0,56	50,72	3,63	45,00
	100,00	3,94	100,00	0,67	100,00	4,90	100,00
V13/1 E1	14,01	25,19	64,60	0,56	11,53	6,65	23,49
V13/1 E2	85,99	2,25	35,40	0,70	88,47	3,53	76,51
	100,00	5,46	100,00	0,68	100,00	3,97	100,00
V13/2 E1	19,20	21,41	69,05	0,98	21,71	5,34	24,89
V13/2 E2	80,80	2,28	30,95	0,84	78,29	3,83	75,11
	100,00	5,95	100,00	0,87	100,00	4,12	100,00
V14/1 E1	62,41	6,13	74,74	0,84	62,41	4,13	80,04
V14/1 E2	37,59	3,44	25,26	0,84	37,59	1,71	19,96
	100,00	5,12	100,00	0,84	100,00	3,22	100,00
V14/2 E1	69,17	5,44	81,94	0,70	65,15	5,34	76,74
V14/2 E2	30,83	2,69	18,06	0,84	34,85	3,63	23,26
	100,00	2,69	100,00	0,74	100,00	4,81	100,00
V15/1 E1	61,79	5,47	77,90	0,56	56,40	2,42	51,20
V15/1 E2	38,21	2,51	22,10	0,70	43,60	3,73	48,80
	100,00	4,34	100,00	0,61	100,00	2,92	100,00
V15/2 E1	73,73	5,37	85,82	0,42	67,79	6,15	81,07
V15/2 E2	26,27	2,49	14,18	0,56	32,21	4,03	18,93
	100,00	4,61	100,00	0,46	100,00	5,59	100,00
V16/1 E1	7,47	22,67	29,00	0,56	7,47	6,25	9,10
V16/1 E2	92,53	4,5	71,00	0,6	92,53	5,0	90,90
	100,00	5,8	100,00	0,6	100,00	5,1	100,00
V16/2 E1	10,92	15,8	42,0	0,6	14,0	6,3	13,2
V16/2 E2	89,08	2,7	58,0	0,4	86,0	5,0	86,8
	100,00	4,1	100,0	0,4	100,0	5,2	100,0

Tabelle 90: Bilanz Gulsenit 2

15.5.5. BEURTEILUNG ANHAND DER MITTELWERTE

Inhaltsausbringen - Konzentrat

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HF unlösl.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	49,03	59,98	60,79	56,24	37,90
	1	63,43	52,48	51,67	56,23	74,57
	MW	56,23	56,23	56,23	56,24	56,24
	Delta -1 / 1	14,4	-7,50	-9,12	-0,01	36,67

	A	B	C	D	E	
CaO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	65,46	74,15	78,04	73,93	62,65
	1	75,62	66,93	63,05	67,16	78,44
	MW	70,54	70,54	70,55	70,55	70,55
	Delta -1 / 1	10,16	-7,22	-14,99	-6,77	15,79

	A	B	C	D	E	
MgO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	60,20	69,51	73,99	69,03	57,29
	1	70,95	61,63	57,16	62,11	73,86
	MW	65,58	65,57	65,58	65,57	65,58
	Delta -1 / 1	10,75	-7,88	-16,83	-6,92	16,57

Gehalt Konzentrat

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HF unlösl.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	3,05	3,16	3,41	3,02	2,91
	1	3,47	3,35	3,11	3,50	3,60
	MW	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
	Delta -1 / 1	0,42	0,19	-0,30	0,48	0,69

	A	B	C	D	E	
CaO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	MW	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Delta -1 / 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	A	B	C	D	E	
MgO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	4,14	4,34	4,28	4,24	3,94
	1	4,26	4,06	4,12	4,16	4,45
	MW	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
	Delta -1 / 1	0,12	-0,28	-0,16	-0,08	0,51

Tabelle 91: Stufenübersicht Gulsenit Gehalt und Inhaltsausbringen im Konzentrat

Inhaltsausbringen - Berge

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HF unlös.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	50,97	40,02	39,21	43,76	62,10
	1	36,57	47,52	48,33	43,77	25,43
	MW	43,77	43,77	43,77	43,77	43,77
	Delta -1 / 1	-14,4	7,50	9,12	0,01	-36,67

	A	B	C	D	E	
CaO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	34,54	25,85	21,96	26,07	37,35
	1	24,38	33,07	36,95	32,84	21,56
	MW	29,46	29,46	29,46	29,46	29,46
	Delta -1 / 1	-10,16	7,22	14,99	6,77	-15,79

	A	B	C	D	E	
MgO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	39,8	30,49	26,01	30,97	42,71
	1	29,05	38,37	42,84	37,89	26,14
	MW	34,43	34,43	34,43	34,43	34,43
	Delta -1 / 1	-10,75	7,88	16,83	6,92	-16,57

Gehalt Berge

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität	
HF unlös.	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	6,37	9,15	5,95	8,75	9,29
	1	11,99	9,22	12,41	9,62	9,08
	MW	9,18	9,19	9,18	9,19	9,19
	Delta -1 / 1	5,62	0,07	6,46	0,87	-0,21

	A	B	C	D	E	
CaO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	MW	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Delta -1 / 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	A	B	C	D	E	
MgO	Faktor	A	B	C	D	E
	-1	5,49	5,44	5,91	5,15	5,69
	1	5,69	5,74	5,27	6,03	5,49
	MW	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59
	Delta -1 / 1	0,12	-0,28	-0,16	-0,08	0,51

Tabelle 92: Stufenübersicht Gulsenit Gehalt und Inhaltsausbringen in den Bergen

	angelegte Spannung	Bandgeschwindigkeit	Aufgaberate	Elektrodenabstand	Polarität
HF unlösl. Ausbringen:	-1	1	1	1	-1
CaO Ausbringen:	1	-1	-1	-1	1
MgO - Ausbringen	1	-1	-1	-1	1
Gesamteinstellungen	1	-1	-1	-1	1

Tabelle 93: Ermittlung vielversprechendste Einstellungen Gulsenit

15.5.6. VARIANZANALYSE

Faktor	Maschinenparameter	Klimaparameter	Rohgutbeschaffenheit
A	Bandgeschwindigkeit	relative Luftfeuchtigkeit	Rohgutfeuchte
B	Elektrodenabstand	Aufgabetemperatur	Rohguttemperatur
C	Spannung		
D	Polarität		
E	Aufgaberate		

Tabelle 94: Faktorzuweisung bei Varianzanalyse

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE	Inhaltsausbringen HF unl.			Gehalt HF unl.		
																1. [%]	2. [%]	Σ [%]	1. [%]	2. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	66,95	81,02	147,97	3,52	3,54	7,06
2	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	87,47	80,31	167,78	3,94	3,16	7,10
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	77,85	62,64	140,48	3,76	2,08	5,84
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	56,58	55,62	112,20	2,46	2,04	4,50
5	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	91,92	83,25	175,17	3,19	2,37	5,56
6	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	85,04	87,98	173,02	3,60	2,75	6,35
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	65,66	63,50	129,16	5,35	6,24	11,59
8	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	66,67	80,62	147,29	4,50	5,13	9,63
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	19,63	10,48	30,11	2,42	2,44	4,86
10	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	89,50	66,45	155,95	4,58	4,42	9,00
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	29,48		29,48	2,17		2,17
12	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	43,18		43,18	2,80		2,80
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	35,40	30,95	66,35	2,25	2,28	4,53
14	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	25,26	18,06	43,32	3,44	2,69	6,13
15	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	22,10	14,18	36,28	2,51	2,49	5,00
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	71,00	58,0	129,02	4,5	2,7	7,15

Tabelle 95: Wechselwirkungen und Einzelversuche HF unl. im Konzentrat

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE	Inhaltsausbringen CaO			Gehalt CaO		
																1. [%]	2. [%]	Σ [%]	1. [%]	2. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	84,76	87,52	172,27	0,70	0,70	1,40
2	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	94,16	92,30	186,46	0,56	0,56	1,12
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	70,25	79,46	149,72	0,42	0,56	0,98
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	85,25	80,31	165,56	0,56	0,42	0,98
5	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	91,93	92,38	184,31	0,42	0,42	0,84
6	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	78,27	79,31	157,57	0,56	0,56	1,12
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	37,93	31,29	69,22	0,56	0,56	1,12
8	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	85,28	84,67	169,95	0,56	0,56	1,12
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	44,83	23,78	68,60	0,70	0,56	1,26
10	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	90,84	87,22	178,06	0,56	0,56	1,12
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	80,37		80,37	0,56		0,56
12	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	50,72		50,72	0,56		0,56
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	88,47	78,29	166,76	0,70	0,84	1,54
14	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	37,59	34,85	72,44	0,84	0,84	1,68
15	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	43,60	32,21	75,81	0,70	0,56	1,26
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	92,53	86,0	178,48	0,6	0,4	0,98

Tabelle 96: Wechselwirkungen und Einzelversuche auf CaO im Konzentrat

Versuch	A	B	C	D	E	AB	AC	AD	AE	BC	BD	BE	CD	CE	DE	Inhaltsausbringen MgO			Gehalt MgO		
																1. [%]	2. [%]	Σ [%]	1. [%]	2. [%]	Σ [%]
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	81,27	80,47	161,74	3,93	3,63	7,56
2	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	94,60	93,19	187,79	5,04	4,94	9,98
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	64,01	63,05	127,06	3,93	5,04	8,97
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	78,93	72,63	151,56	4,44	4,33	8,77
5	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	94,65	92,65	187,30	5,75	5,14	10,89
6	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	69,93	72,37	142,30	5,14	3,93	9,07
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	33,01	33,04	66,05	5,04	3,93	8,97
8	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	89,68	68,21	157,89	4,23	2,82	7,05
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	37,94	15,56	53,50	4,74	3,93	8,67
10	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	89,01	95,76	184,77	4,44	6,15	10,59
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	74,06		74,06	3,02		3,02
12	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	45,00		45,00	3,63		3,63
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	76,51	75,11	151,62	3,53	3,83	7,36
14	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	19,96	23,26	43,22	1,71	3,63	5,34
15	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	48,80	18,93	67,73	3,73	4,03	7,76
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90,90	86,8	177,71	5,04	5,04	10,08

Tabelle 97: Wechselwirkungen und Einzelversuche bezogen auf MgO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F0	
A	-192,6	-19,3	1158,9	1,0	1158,9	8,4	H0 abgelehnt
B	72,5	7,2	164,1	1,0	164,1	1,2	H0 angenommen
C	216,8	21,7	1468,2	1,0	1468,2	10,6	H0 abgelehnt
D	-659,4	-65,9	13586,7	1,0	13586,7	98,5	H0 abgelehnt
E	159,5	16,0	795,5	1,0	795,5	5,8	H0 abgelehnt
AB	160,4	16,0	803,6	1,0	803,6	5,8	H0 abgelehnt
AC	-24,2	-2,4	18,3	1,0	18,3	0,1	H0 angenommen
AD	77,0	7,7	185,5	1,0	185,5	1,3	H0 angenommen
AE	-94,3	-9,4	277,8	1,0	277,8	2,0	H0 angenommen
BC	-45,4	-4,5	64,3	1,0	64,3	0,5	H0 angenommen
BD	-39,9	-4,0	49,8	1,0	49,8	0,4	H0 angenommen
BE	31,4	3,1	30,9	1,0	30,9	0,2	H0 angenommen
CD	201,7	20,2	1271,7	1,0	1271,7	9,2	H0 abgelehnt
CE	177,7	17,8	986,9	1,0	986,9	7,2	H0 abgelehnt
DE	296,3	29,6	2743,1	1,0	2743,1	19,9	H0 abgelehnt
Error			2208,0	16,0	138,0	1,0	
Total			25813,4	31,0			

Tabelle 98: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen HCL unl. im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F0	
A	-1,9	-0,2	0,1	1,0	0,1	0,2	H0 angenommen
B	12,6	1,3	5,0	1,0	5,0	7,0	H0 abgelehnt
C	6,1	0,6	1,1	1,0	1,1	1,6	H0 angenommen
D	-16,0	-1,6	8,0	1,0	8,0	11,3	H0 abgelehnt
E	5,4	0,5	0,9	1,0	0,9	1,3	H0 angenommen
AB	23,5	2,4	17,3	1,0	17,3	24,4	H0 abgelehnt
AC	-7,1	-0,7	1,6	1,0	1,6	2,2	H0 angenommen
AD	-12,9	-1,3	5,2	1,0	5,2	7,3	H0 abgelehnt
AE	-1,2	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
BC	-0,9	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	H0 angenommen
BD	-4,7	-0,5	0,7	1,0	0,7	1,0	H0 angenommen
BE	1,2	0,1	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
CD	11,0	1,1	3,8	1,0	3,8	5,3	H0 abgelehnt
CE	-2,8	-0,3	0,2	1,0	0,2	0,3	H0 angenommen
DE	2,7	0,3	0,2	1,0	0,2	0,3	H0 angenommen
Error			11,3	16,0	0,7	1,0	
Total			55,5	31,0			

Tabelle 99: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt HCL unl. im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	-246,6	-24,7	1901,0	1,0	1901,0	6,1	H0 abgelehnt
B	22,8	2,3	16,2	1,0	16,2	0,1	H0 angenommen
C	192,2	19,2	1154,3	1,0	1154,3	3,7	H0 angenommen
D	-383,8	-38,4	4603,7	1,0	4603,7	14,8	H0 abgelehnt
E	210,3	21,0	1381,8	1,0	1381,8	4,4	H0 angenommen
AB	71,4	7,1	159,4	1,0	159,4	0,5	H0 angenommen
AC	187,0	18,7	1092,9	1,0	1092,9	3,5	H0 angenommen
AD	45,7	4,6	65,3	1,0	65,3	0,2	H0 angenommen
AE	-115,4	-11,5	416,3	1,0	416,3	1,3	H0 angenommen
BC	-27,5	-2,7	23,6	1,0	23,6	0,1	H0 angenommen
BD	208,7	20,9	1361,0	1,0	1361,0	4,4	H0 angenommen
BE	-71,2	-7,1	158,6	1,0	158,6	0,5	H0 angenommen
CD	-15,9	-1,6	7,9	1,0	7,9	0,0	H0 angenommen
CE	189,9	19,0	1127,0	1,0	1127,0	3,6	H0 angenommen
DE	461,9	46,2	6667,8	1,0	6667,8	21,5	H0 abgelehnt
Error			4969,2	16,0	310,6	1,0	
Total			25105,9	31,0			

Tabelle 100: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen CaO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	-2,5	-0,3	0,2	1,0	0,2	8,5	H0 abgelehnt
B	1,7	0,2	0,1	1,0	0,1	3,8	H0 angenommen
C	-0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
D	0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
E	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	H0 angenommen
AB	1,1	0,1	0,0	1,0	0,0	1,7	H0 angenommen
AC	-0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
AD	-2,0	-0,2	0,1	1,0	0,1	5,2	H0 abgelehnt
AE	-0,6	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,4	H0 angenommen
BC	0,6	0,1	0,0	1,0	0,0	0,4	H0 angenommen
BD	2,2	0,2	0,2	1,0	0,2	6,7	H0 abgelehnt
BE	-0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
CD	-0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,1	H0 angenommen
CE	-0,6	-0,1	0,0	1,0	0,0	0,4	H0 angenommen
DE	-1,1	-0,1	0,0	1,0	0,0	1,7	H0 angenommen
Error			0,4	16,0	0,0	1,0	
Total			1,1	31,0			

Tabelle 101: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt CaO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	-245,2	-24,5	1878,3	1,0	1878,3	6,3	H0 abgelehnt
B	8,3	0,8	2,2	1,0	2,2	0,0	H0 angenommen
C	201,2	20,1	1264,6	1,0	1264,6	4,3	H0 angenommen
D	-384,1	-38,4	4609,8	1,0	4609,8	15,5	H0 abgelehnt
E	240,3	24,0	1805,0	1,0	1805,0	6,1	H0 abgelehnt
AB	135,1	13,5	570,0	1,0	570,0	1,9	H0 angenommen
AC	193,3	19,3	1168,2	1,0	1168,2	3,9	H0 angenommen
AD	108,0	10,8	364,2	1,0	364,2	1,2	H0 angenommen
AE	-96,9	-9,7	293,5	1,0	293,5	1,0	H0 angenommen
BC	-104,4	-10,4	340,3	1,0	340,3	1,1	H0 angenommen
BD	157,5	15,8	775,7	1,0	775,7	2,6	H0 angenommen
BE	-77,2	-7,7	186,5	1,0	186,5	0,6	H0 angenommen
CD	6,4	0,6	1,3	1,0	1,3	0,0	H0 angenommen
CE	204,6	20,5	1307,6	1,0	1307,6	4,4	H0 angenommen
DE	517,1	51,7	8355,8	1,0	8355,8	28,2	H0 abgelehnt
Error			4746,5	16,0	296,7	1,0	
Total			27669,4	31,0			

Tabelle 102: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf das Inhaltsausbringen MgO im Konzentrat

Factor	Contrast	Effect Estimate	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F ₀	
A	-11,2	-1,1	3,9	1,0	3,9	3,5	H0 angenommen
B	5,3	0,5	0,9	1,0	0,9	0,8	H0 angenommen
C	1,3	0,1	0,1	1,0	0,1	0,0	H0 angenommen
D	-14,8	-1,5	6,9	1,0	6,9	6,1	H0 abgelehnt
E	3,1	0,3	0,3	1,0	0,3	0,3	H0 angenommen
AB	13,6	1,4	5,8	1,0	5,8	5,1	H0 abgelehnt
AC	0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	H0 angenommen
AD	-3,7	-0,4	0,4	1,0	0,4	0,4	H0 angenommen
AE	3,7	0,4	0,4	1,0	0,4	0,4	H0 angenommen
BC	-8,2	-0,8	2,1	1,0	2,1	1,9	H0 angenommen
BD	3,9	0,4	0,5	1,0	0,5	0,4	H0 angenommen
BE	5,8	0,6	1,0	1,0	1,0	0,9	H0 angenommen
CD	4,4	0,4	0,6	1,0	0,6	0,5	H0 angenommen
CE	21,9	2,2	15,0	1,0	15,0	13,3	H0 abgelehnt
DE	8,2	0,8	2,1	1,0	2,1	1,8	H0 angenommen
Error			18,1	16,0	1,1	1,0	
Total			58,0	31,0			

Tabelle 103: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf den Gehalt MgO im Konzentrat

15.5.7. EFFEKTDIAGRAMME

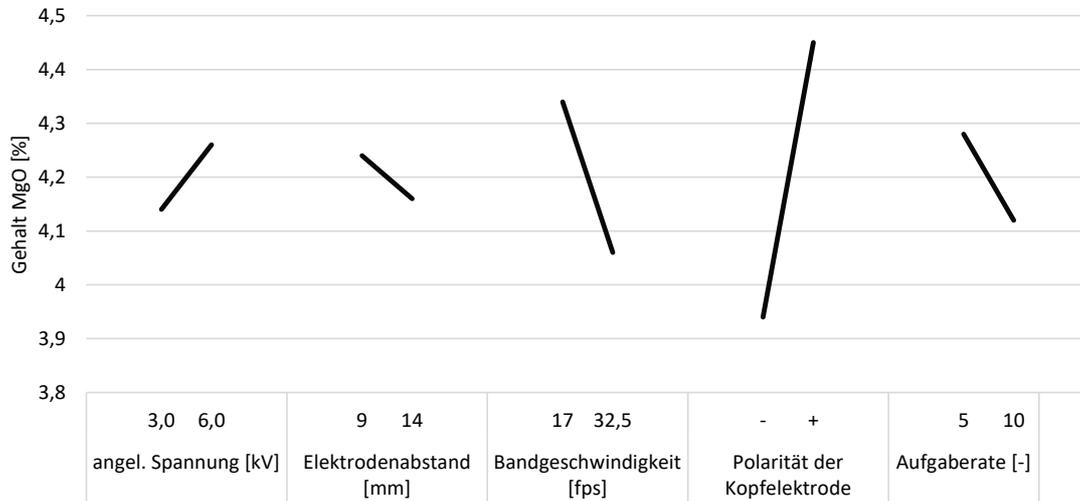


Diagramm 23: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an MgO im Gulsenit-Konzentrat

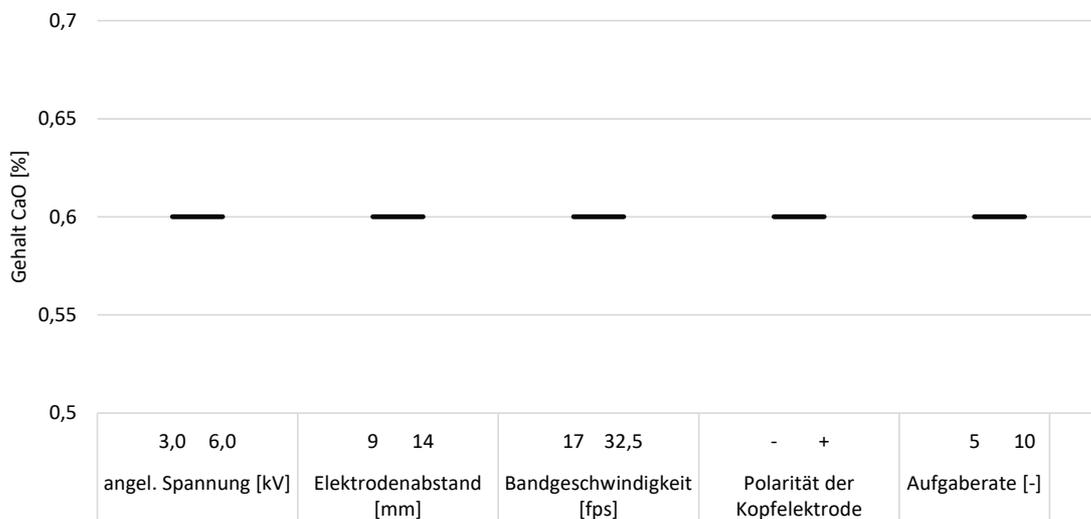


Diagramm 24: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an CaO im Gulsenit-Konzentrat

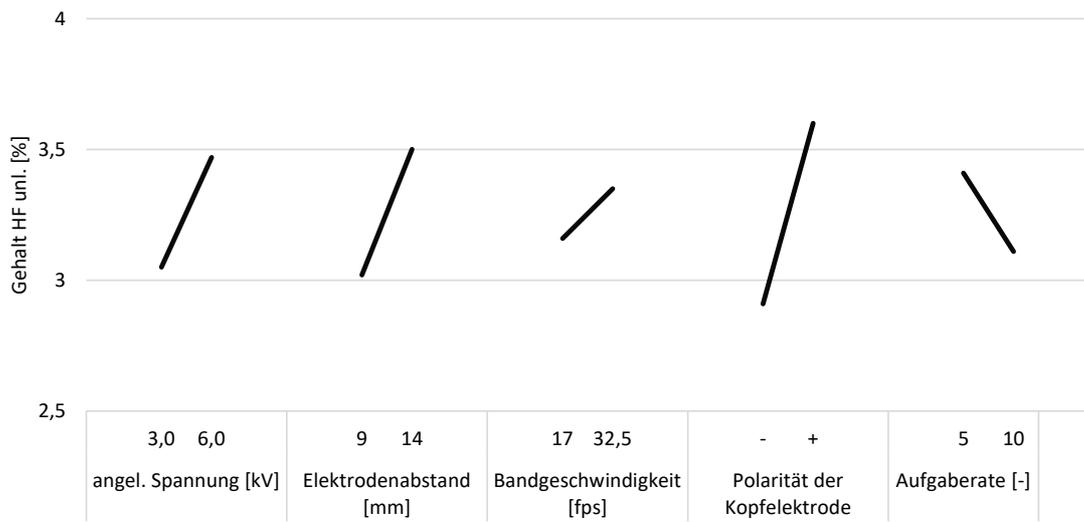


Diagramm 25: Effektendiagramm bezogen auf den Gehalt an HF unl. im Gulsenit-Konzentrat

15.6. WIRBELSCHICHTEINHEIT ÜBERSICHTSPLÄNE

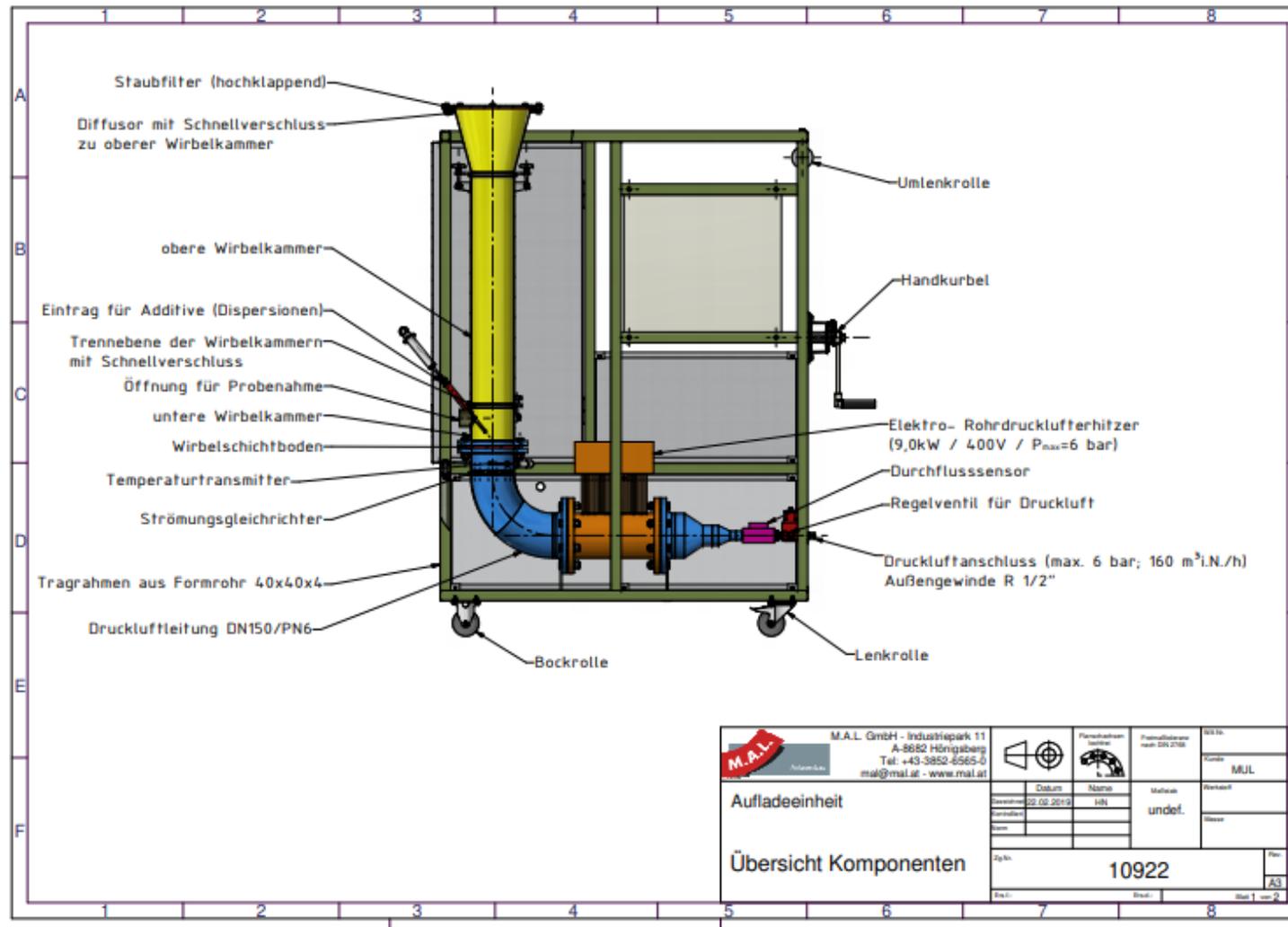


Abbildung 18: Übersichtsplan Wirbelschichteinheit

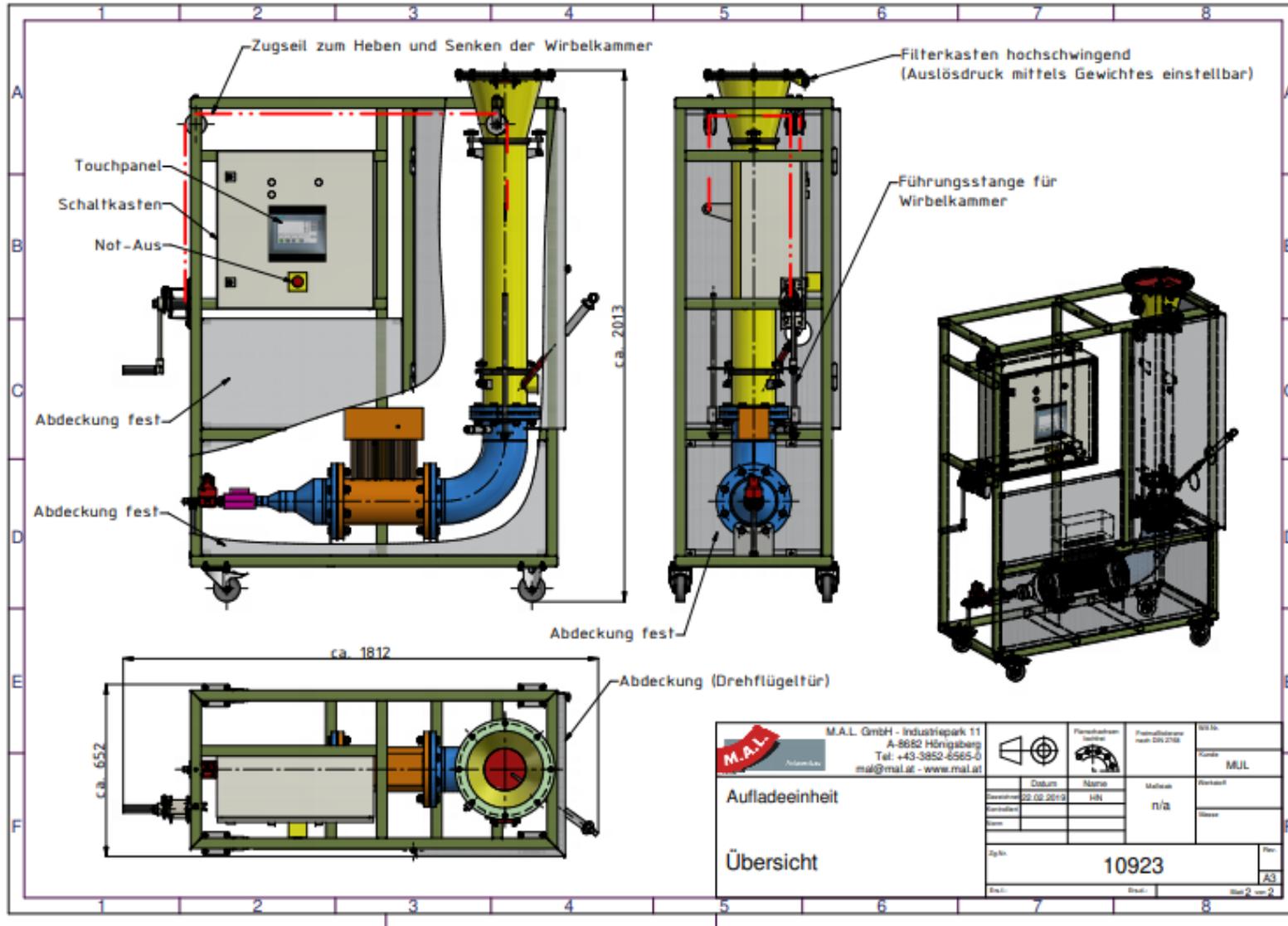


Abbildung 19: Übersichtsplan Wirbelschichteinheit 2