

Masterarbeit

---

**SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR  
TROCKENEN AUFBEREITUNG AN ZWEI ROHTALKEN  
MITTELS ELEKTROSCHEIDUNG**

---

Ausgeführt am  
**Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung,**  
Department Mineral Resources Engineering,  
Montanuniversität Leoben

Eingereicht von:  
Betreuung:

**Sabrina Gehringer, BSc**  
**Univ.-Prof. Dr. mont. Helmut Flachberger**  
**Dipl.-Ing. Christoph Luckeneder**

Leoben, 22.09.2017

Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung  
Department Mineral Resources Engineering  
Montanuniversität Leoben

A-8700 LEOBEN, Franz-Josef-Straße 18  
Phone: +43/(0)3842-402-1801  
Fax: +43/(0)3842-402-1802  
aufbereitung@unileoben.ac.at



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.

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Leoben, 22.09.2017

- Sabrina Gehringer -

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei Univ.-Prof. Dr. mont. Helmut Flachberger bedanken, der mir die Arbeit am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung und somit das Verfassen dieser Masterarbeit ermöglicht hat. Des Weiteren bedanke ich mich bei Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Andreas Böhm, Dipl.-Ing. Wolfgang Lämmerer und den Mitarbeitern aus dem Labor, die sich immer die Zeit nahmen um Fragen zu beantworten.

Besonders herzlich bedanke ich mich bei Dipl.-Ing. Christoph Luckeneder für die Betreuung und Unterstützung während des gesamten Projekts.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir durch ihre Unterstützung, in jeder Hinsicht, mein Studium ermöglicht haben.

## ABSTRACT

This master thesis comprises dry processing investigations, using electrostatic separation for two raw talcum samples. Sorting tests for the 500/100  $\mu\text{m}$  class are realised at the Hamos free-fall separator of type EMS500. For grain sizes smaller than 100  $\mu\text{m}$ , a ST belt separator of type X2 is used.

The design of experiments for this master thesis complies with the principles of statistical design of experiments.

At the free-fall separator, the influence of ambient temperature and relative humidity on the separation success is analysed. For the tests, a raw talcum with loss-of-ignition of 14.5 % is used. These tests show that the separation success improves with a continuous reduction of the relative humidity and the ambient temperature.

The belt separator has numerous changeable parameters. Therefore, the optimum machine settings for the sorting tests are determined for both different raw material types at the beginning. Furthermore, the influence of ambient temperature, relative humidity and sample temperature are investigated. An increase of the sample temperature hardly affects the result. For both raw talcum samples, the best sorting results are achieved at high relative humidity and low ambient temperature.

The performance of locked cycle tests shows that renewed sorting at the belt separator can reduce talcum losses. These tests are realised with a raw talcum with loss-of-ignition of 22 %.

## KURZFASSUNG

Diese Masterarbeit umfasst trockene Aufbereitungsuntersuchungen mittels Elektroscheidung für zwei Rohtalke. Die Sortierversuche der Fraktion 500/100  $\mu\text{m}$  werden am Hamos Freifallscheider der Type EMS500 durchgeführt. Für die Kornklassen  $< 100 \mu\text{m}$  wird ein ST Bandscheider der Type X2 eingesetzt.

Die für diese Arbeit durchgeführte Versuchsplanung richtet sich nach den Grundsätzen der statistischen Versuchsplanung.

Am Freifallscheider wird der Einfluss von Umgebungstemperatur und relativer Luftfeuchte der Umgebung auf den Trennerfolg untersucht. Für diese Versuche wird ein Rohtalk mit einem Glühverlust von ca. 14,5 % eingesetzt. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass sich der Trennerfolg bei Verringerung der relativen Luftfeuchte und der Umgebungstemperatur kontinuierlich verbessert.

Der Bandscheider ermöglicht die Variation zahlreicher Parameter. Aus diesem Grund werden zu Beginn die optimalen Maschineneinstellungen für die Sortierversuche an beiden Rohtalken ermittelt. Des Weiteren werden Untersuchungen zum Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchte der Prozessluft und der Aufgabetemperatur durchgeführt. Die Erhöhung der Aufgabetemperatur wirkt sich kaum auf das Ergebnis aus. Für die beiden untersuchten Rohtalke liefern eine hohe relative Luftfeuchte und eine niedrige Raumtemperatur die besten Trennergebnisse.

Die Durchführung von mehrstufigen Versuchen zeigt, dass der Talkverlust in den Bergen durch erneute Aufgabe auf den Bandscheider verringert werden kann. Diese Tests werden mit einem Rohtalk mit einem Glühverlust von 22 % in der Aufgabe durchgeführt.

## INHALTSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| Einleitung .....                                      | 5  |
| 1. Motivation für die Durchführung der Arbeit .....   | 5  |
| 2. Aufgabenstellung .....                             | 6  |
| Theoretische Aspekte .....                            | 7  |
| 1. Grundlagen der Elektrosortierung .....             | 7  |
| 1.1. Einteilung fester Stoffe .....                   | 7  |
| 1.2. Auflademechanismen .....                         | 8  |
| 1.2.1. Kontaktpolarisation .....                      | 8  |
| 1.2.2. Aufladung im Koronafeld .....                  | 8  |
| 1.2.3. Tribopolarisation .....                        | 9  |
| 1.3. Trennmodelle .....                               | 9  |
| 1.3.1. Plattenscheider .....                          | 10 |
| 1.3.2. Bandscheider .....                             | 12 |
| 2. Grundlagen der statistischen Versuchsplanung ..... | 13 |
| 2.1. Vergleich zu klassischen Verfahren .....         | 13 |
| 2.1.1. Traditionelle Versuchsplanung .....            | 13 |
| 2.1.2. Faktorraum .....                               | 13 |
| 2.1.3. Statistische Versuchsplanung .....             | 14 |
| 2.2. Grundbegriffe .....                              | 14 |
| 2.2.1. System .....                                   | 15 |
| 2.2.2. Qualitätsmerkmale .....                        | 15 |
| 2.2.3. Parameter und Faktoren .....                   | 15 |
| 2.2.4. Level .....                                    | 15 |
| 2.2.5. Effekt .....                                   | 15 |
| 2.2.6. Wechselwirkung .....                           | 16 |
| 2.3. Grundprinzipien .....                            | 16 |
| 2.3.1. Randomisierung .....                           | 16 |

|                            |  |    |
|----------------------------|--|----|
| 2.3.2.                     | Wiederholung .....   | 16 |
| 2.3.3.                     | Blockbildung .....   | 16 |
| 2.4.                       | Arten von statistischen Versuchsplänen .....   | 17 |
| 2.5.                       | Screening-Versuchspläne .....  | 17 |
| 2.5.1.                     | Aufbau eines vollfaktoriellen Versuchsplans .....                                      | 18 |
| 2.5.2.                     | Entwicklung eines Teilfaktoriellen Versuchsplans aus einem Vollfaktorplan .....        | 19 |
| 2.5.3.                     | Teilfaktorieller Versuchsplan zur Überprüfung von fünf Faktoren .....                  | 20 |
| 2.5.4.                     | Bezeichnung von Screening-Versuchsplänen .....   | 23 |
| 3.                         | Auswertung .....   | 23 |
| 3.1.                       | Auswertung an Hand der Mittelwerte .....   | 23 |
| 3.2.                       | Auswertung mittels Varianzanalyse .....  | 23 |
| 3.3.                       | Effektdiagramme .....  | 26 |
| Experimenteller Teil ..... |  | 27 |
| 1.                         | Versuche am Freifallscheider .....   | 27 |
| 1.1.                       | Untersuchung von klimatischen Einflüssen .....   | 27 |
| 1.2.                       | Rohgutcharakterisierung .....  | 28 |
| 1.3.                       | Parameterstudie .....  | 29 |
| 1.4.                       | Versuchsaufbau .....   | 29 |
| 1.5.                       | Versuchsauswertung .....   | 31 |
| 2.                         | Versuche am Bandscheider .....   | 33 |
| 2.1.                       | Rohgutcharakterisierung .....  | 33 |
| 2.2.                       | Untersuchungen des Einflusses der Maschinenparameter mit Rohtalk der Qualität A .....  | 35 |
| 2.2.1.                     | Parameterstudie .....  | 35 |
| 2.2.2.                     | Versuchsaufbau .....   | 36 |
| 2.2.3.                     | Versuchsauswertung .....   | 37 |
| 2.3.                       | Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen mit Rohtalk der Qualität A .. | 42 |
| 2.3.1.                     | Parameterstudie .....  | 42 |
| 2.3.2.                     | Versuchsaufbau .....   | 42 |
| 2.3.3.                     | Versuchsauswertung .....   | 43 |
| 2.4.                       | Untersuchungen zur Rohtalkbeschaffenheit mit der Qualität A .....                      | 48 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 2.4.1.  | Versuchsaufbau .....  | 48  |
| 2.4.2.  | Versuchsauswertung.....   | 49  |
| 2.5.    | Tastversuche mit Rohtalk der Qualität <i>B</i> .....  | 51  |
| 2.5.1.  | Versuchsaufbau .....  | 51  |
| 2.5.2.  | Versuchsergebnis .....  | 51  |
| 2.6.    | Untersuchung des Einflusses der Maschinenparameter mit Rohtalk der Qualität <i>B</i> .....    | 53  |
| 2.6.1.  | Versuchsaufbau .....  | 53  |
| 2.6.2.  | Versuchsauswertung.....   | 53  |
| 2.7.    | Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen mit Rohtalk der Qualität <i>B</i> .. | 58  |
| 2.7.1.  | Versuchsaufbau .....  | 58  |
| 2.7.2.  | Versuchsauswertung.....   | 58  |
| 2.8.    | Mehrstufige Versuche .....  | 63  |
| 2.8.1.  | Mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher-</i> und <i>Scavenger-Stufe</i> .....                     | 63  |
| 2.8.2.  | Mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher-, Cleaner-</i> und <i>Scavenger-Stufe</i> .....           | 64  |
| 2.8.3.  | Mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher-, zwei Cleaner-</i> und <i>Scavenger-Stufe</i> .....      | 66  |
| 2.8.4.  | Korngrößenverteilung der Produkte .....   | 68  |
| 2.8.5.  | Teilungskurve .....   | 70  |
|         | Resümee.....  | 71  |
|         | Tabellenverzeichnis .....   | 73  |
|         | Abbildungsverzeichnis .....   | 78  |
|         | Abkürzungsverzeichnis .....   | 80  |
|         | Quellenverzeichnis.....   | 81  |
|         | Anhang.....   | 83  |
| 2.9.    | Freifallscheider .....  | 83  |
| 2.9.1.  | Versuchsplan.....   | 83  |
| 2.9.2.  | Bilanzen.....   | 83  |
| 2.10.   | Bandscheider .....  | 87  |
| 2.10.1. | Versuchspläne .....   | 87  |
| 2.10.2. | Versuchsergebnisse und Auswertungen .....   | 88  |
|         | Projektstudie .....   | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| 1. Aufgabenstellung .....  | 103 |
| 2. Zusammenfassung .....   | 104 |
| 3. Rohgutanalyse .....   | 106 |
| 3.1. Siebanalyse .....   | 106 |
| 3.2. Schwimm-/Sink-Analyse.....                                      | 108 |
| 3.2.1. Henry-/Reinhardt-Schaubilder.....                             | 108 |
| 3.2.2. Korndichten in den Dichteklassen.....                         | 114 |
| 4. Zerkleinerung/ Klassierung.....                                   | 117 |
| 4.1. Vertikalmühle.....  | 117 |
| 4.2. Rohgutvorbereitung im Rahmen des Projektes .....                | 118 |
| 4.3. Fließbild zur Rohgutvorbehandlung .....                         | 123 |
| 5. Sortiersversuche.....   | 125 |
| 5.1. Sortierapparat.....   | 125 |
| 5.2. Beurteilung der Trennprodukte.....                              | 127 |
| 5.3. Versuchsparameter .....   | 127 |
| 6. Versuchsdurchführung und Auswertung .....                         | 128 |
| 6.1. Ermittlung der Einflüsse der Parameter .....                    | 130 |
| 6.2. Mehrstufige Versuche .....                                      | 134 |
| 6.3. Aufgaberate .....   | 136 |
| 6.4. Korngrößenverteilungen der Produkte/ Teilungskurve .....        | 137 |
| 7. Resümee .....   | 140 |
| 8. Anhang zur Projektstudie .....                                    | 142 |
| 8.1. Berechnungen der Henry-/Reinhardt-Schaubilder .....             | 142 |
| 8.2. Bilanzen der Einstellungsversuche direkt nach der Mahlung ..... | 145 |
| 8.3. Bilanzen der Einzelversuche 14 Tage nach der Mahlung.....       | 147 |
| 8.4. Bilanzen der mehrstufigen Versuche .....                        | 149 |
| 8.5. Bilanzen der Durchsatzversuche.....                             | 152 |

## Einleitung

### 1. MOTIVATION FÜR DIE DURCHFÜHRUNG DER ARBEIT

Jährlich werden weltweit ca. 8 Mio. Tonnen Talkkonzentrate erzeugt. (1)

Dieses Industriemineral bietet aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften wie Laminarität, Hydrophobizität und chemischer Beständigkeit ein weites Anwendungsspektrum als funktioneller Füllstoff. Anwendungsbereiche sind beispielsweise Pharmazie, Papierindustrie und Kunststoffindustrie. Je nach Anwendungsgebiet müssen die Talkkonzentrate sehr unterschiedliche Qualitätskriterien bezüglich Farbe, Reinheit, Korngröße etc. erfüllen. (2)

Aufgrund des steigenden Bedarfs hochwertiger Füllstoffe wird die Erzeugung von hochreinen Talkkonzentraten mit der fortlaufenden Erschöpfung hochwertiger Lagerstätten zunehmend herausfordernd. Die in Zukunft abgebauten Lagerstätten werden tendenziell schwierigere Aufbereitungsbedingungen wie geringere Gehalte in den Rohtalken und feinere Verwachsungen aufweisen. Daher gewinnt die effiziente Nutzung der vorhandenen Rohstoffreserven zunehmend an Bedeutung. (3) (4)

Rohtalke aus Lagerstätten mit groben Verwachsungen können mittels Handsortierung aufbereitet werden. In feineren Korngrößenbereichen werden überwiegend nasse Aufbereitungsverfahren eingesetzt. Je nach Begleitmineralen kommen Dichtesortierung und Flotation zum Einsatz. (5) (6) Beispielhaft sei hier ein erst im März 2017 in der Ostslowakei in Betrieb genommenes Werk der Firma *Eurotalk* angeführt. Dort erfolgt die Erzeugung hochreiner Talkprodukte mittels Flotation. (7)

Die nassen Sortierprozesse gehen zwangsläufig mit anschließender Trocknung der Konzentrate einher, da die Konzentrate trocken transportiert und verkauft werden. (6)

Durch den Einsatz von trockenen Sortierverfahren könnte die Notwendigkeit der Trocknung ausschließlich auf die im Rohgut vorhandene Grubenfeuchte beschränkt und dadurch die aufzuwendende Trocknungsenergie wesentlich reduziert werden.

Ein solches trockenes Sortierverfahren ist die Elektroscheidung. Dieses Verfahren gewann in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung. (8)

Daher wird mit dieser Arbeit die trockene Aufbereitung von unterschiedlichen Rohtalken mittels Elektroscheidung untersucht.

## 2. AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird die Möglichkeit zur trockenen Talkaufbereitung mittels Elektroscheidung nach Triboaufladung untersucht. Es werden zwei unterschiedliche Rohtalkproben betrachtet. Zum einen wird ein Rohtalk mit einem hohen Talkgehalt von ca. 75 % untersucht, dieser wird als Qualität *A* bezeichnet. Zum anderen erfolgt die Untersuchung an einem Rohtalk mit einem niedrigeren Talkgehalt von ca. 65 %, welcher als Qualität *B* bezeichnet wird.

Mit der Grobfraktion  $>100\ \mu\text{m}$  werden Versuche am Hamos Freifallscheider, Type EMS500, durchgeführt. Mit der Feinfraktion  $<100\ \mu\text{m}$  erfolgen die Versuche am ST Bandscheider, Type X2. Dabei sind auf Basis systematischer Parameterstudien jene Prozessbedingungen zu ermitteln, welche den besten Trennerfolg ermöglichen. Insbesondere werden die optimalen klimatischen Umgebungsbedingungen, sowie die bestmögliche Rohtalkvorbereitung und deren Wechselwirkungen miteinander analysiert.

Die Versuchsplanung richtet sich dabei nach den Grundsätzen der statistischen Versuchsplanung.

## Theoretische Aspekte

### 1. GRUNDLAGEN DER ELEKTROSORTIERUNG

In den letzten Jahrzehnten gewann die Elektrosortierung stetig an Bedeutung. Ihre Anwendung beschränkt sich heute nicht nur auf die Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, etwa bei der Aufbereitung von Kalirohsalzen. Das Verfahren kommt auch in der Recyclingtechnik zum Einsatz, etwa zur trockenen Kunststoff-/Kunststoff oder Kunststoff-/Metall-Trennung. (8) (9)

Die Elektrosortierung ist ein grenzflächengesteuerter Prozess. Das Trennmerkmal sind Unterschiede in der Oberflächenleitfähigkeit für die Leiter-/Nichtleiter-Trennung. Für die Nichtleiter-/Nichtleiter-Trennung ist es die unterschiedlich große, beziehungsweise entgegengesetzte Ladung der zu trennenden Stoffe. Für den Sortierprozess ist die gegensinnige Aufladung der Oberfläche der beteiligten Stoffe nötig. Diese Ladungsunterschiede werden durch Tribopolarisation, Kontaktpolarisation oder durch Aufladung im Koronafeld erzeugt. Die Auswahl des Auflademechanismus erfolgt abhängig von den beteiligten Stoffen. (8)

#### 1.1. EINTEILUNG FESTER STOFFE

Die Einteilung fester Stoffe erfolgt je nach ihrer Leitfähigkeit in drei Stoffgruppen. Diese sind Nichtleiter, Leiter und Halbleiter. (8) Die Leitfähigkeit von Feststoffen wird durch das *Bändermodell fester Körper* erklärt. Dies ist ein quantenmechanisches Modell zur Beschreibung der Energiezustände von Elektronen. Energiezustände, die eng genug aneinander liegen, werden zu Bändern zusammengefasst. Die Breite dieser Bänder hängt davon ab, wie stark die Elektronen an das Atom gebunden sind. Elektronen eines niedrigen Energieniveaus sind stärker an ihr Atom gebunden, daher ist die Wechselwirkung mit den Nachbaratomen gering und es entstehen schmale Bänder. (8) (10) Zur Veranschaulichung dient eine Darstellung mit Valenzband und Leitungsband (Abb. 1). Das höchste, vollständig besetzte Energieband wird als Valenzband bezeichnet. Die Elektronen im Valenzband, die Valenzelektronen, tragen zu chemischen Bindungen bei, jedoch nicht zur Leitfähigkeit. Das nächsthöhere Band wird als Leitungsband bezeichnet. In Leitern ist das Valenzband nicht vollständig gefüllt, was die freie Bewegung von Elektronen erlaubt und dadurch die elektrische Leitfähigkeit ermöglicht. Bei Nichtleitern, auch als Isolatoren bezeichnet, ist das Valenzband vollständig gefüllt, wodurch eine große Energielücke bis zum nächsten Band entsteht und sich keine Elektronen dorthin bewegen können. Bei Halbleitern ist diese Lücke klein, aus diesem Grund kann den Elektronen durch höhere Temperaturen der Übertritt ins nächste Band ermöglicht werden. (8) (10)

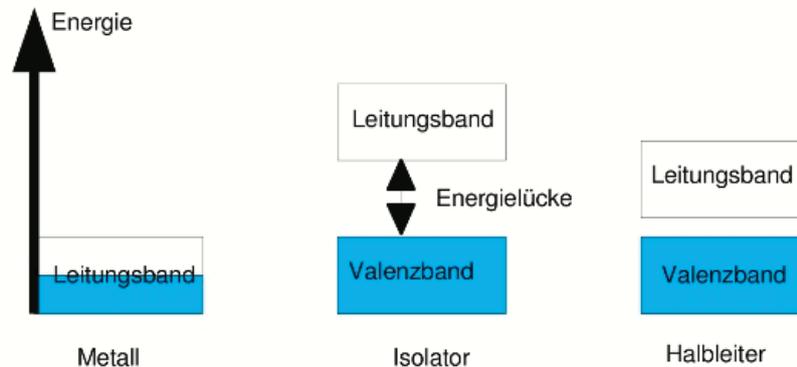


Abb. 1: Schematische Darstellung des *Bändermodells fester Körper* (11)

## 1.2. AUFLADEMECHANISMEN

In der technischen Elektrosortierung kommen die Auflademechanismen *Kontaktpolarisation*, *Aufladung im Koronafeld* und *Tribopolarisation* zum Einsatz. Die Anwendung des Auflademechanismus ist abhängig von den beteiligten Stoffen. (8)

### 1.2.1. KONTAKTPOLARISATION

Kontaktpolarisation kommt für die Aufladung bei der Leiter-/Nichtleiter-Trennung zum Einsatz. Die Körner liegen auf einer geerdeten Platte und sind dem Feld einer Gegenelektrode ausgesetzt. Ideale Leiter nehmen das Potential der geerdeten Elektrode an. Bei negativer Gegenelektrode geben sie Elektronen ab und werden positiv geladen. Ideale Nichtleiter werden polarisiert und tragen scheinbare Oberflächenladungen. (8)

### 1.2.2. AUFLADUNG IM KORONAFELD

Dieser Auflademechanismus wird ebenfalls für die Leiter-/Nichtleiter-Trennung angewendet. Bei der Aufladung im Koronafeld sind die Körner einem starken Ionenstrom ausgesetzt. Dadurch werden sie zunächst alle gleichsinnig aufgeladen. Beim Eintritt in das elektrostatische Feld endet der Koronastrom. Die Nichtleiter behalten dabei die Ladung. Die Leiter erhalten die gleiche Polarität, wie die Elektrode, mit der sie in Kontakt kommen. Durch die Aufladung im Koronafeld können wesentlich größere Aufladungen erreicht werden, als mit der Kontaktpolarisation. (8)

### 1.2.3. TRIBOPOLARISATION

Tribopolarisation wird für die Nichtleiter-/Nichtleiter-Trennung eingesetzt. Gibt es einen Elektronenübertritt zwischen den Kontaktpartnern, erhalten diese entgegengesetzte Oberflächenladungen. Die Intensität dieses Elektronenübertritts hängt u.a. von der Größe der Kontaktfläche wie auch von Kontaktdauer, -frequenz und -stärke ab. Der Auflademechanismus wird durch heftigen Korn-/Korn-Kontakt und Korn-/Wandung-Kontakt in Gang gesetzt. Dies geschieht meist in vorgeschalteten Aggregaten, die selbst nicht am Trennprozess beteiligt sind, wie zum Beispiel durch den Einsatz von Vibrorinnen, Fließbettrocknern oder Zyklonen. (8) (12) (9)

Bei der Triboaufladung ist es möglich, dass sich durch Oberflächenzustände die Energiezustände von der Oberfläche und im Inneren des Korns unterscheiden. Dies bietet die Möglichkeit der selektiven Veränderung der Oberflächenzustände mittels Rohgutvorbehandlung, wie Trocknung, Wärmebehandlung oder Benetzung. (8) (12)

### 1.3. TRENNMODELLE

Bei der Elektroscheidung werden einige Trennmodelle angewandt, auf denen die technischen Ausführungen aufbauen. Diese werden hier kurz aufgelistet. In den meisten Fällen basieren die Elektroscheider auf dem Prinzip der Ablenksortierung. Dabei wirkt das elektrische Feld quer zur Bewegungsrichtung der Aufgabe und lenkt diese aus dem Feld aus. (8)

- a) elektrostatischer Walzenscheider
- b) Korona-Walzenscheider
- c) Plattenscheider
- d) Bandscheider

Ad a): Der Walzenscheider wird für Leiter-/Nichtleiter-Trennung verwendet. Bei diesem Elektroscheider erfolgt die Aufladung mittels Kontaktpolarisation. Die Körner gelangen über die Aufgabevorrichtung auf die Metallwalze. Diese transportiert die Körner ins elektrostatische Feld, welches sich zwischen Walze und Gegenelektrode ausbildet. Leiter geben, bei negativer Gegenelektrode, ihre Ladung ab und werden ausgelenkt. Die Nichtleiter werden polarisiert und haften durch die Oberflächenladung an der Walze. (8)

Ad b): Dieser wird ebenfalls für die Leiter-/Nichtleiter-Trennung eingesetzt. Durch die Koronaelektrode werden alle Körner gleichsinnig aufgeladen. Bewegen sich die Körner aus dem Koronastrom heraus,

behalten die Nichtleiter ihre Ladung und werden von der Walze angezogen. Leiter geben die Ladung ab und werden ausgelenkt. (8)

Ad c) und d): Diese beiden Elektroscheider werden für die Nichtleiter-/Nichtleiter-Trennung eingesetzt. Die Aufladung erfolgt mittels Tribopolarisation. Im Zuge dieser Masterarbeit wurden beide Typen für die Sortierversuche eingesetzt. Aus diesem Grund werden diese in weiterer Folge noch genauer beschrieben.

### 1.3.1. PLATTENSCHIEDER

Der elektrostatische Plattenscheider wird für die Nichtleiter-/Nichtleiter-Trennung eingesetzt. Die Körner werden mittels Tribopolarisation gegensinnig aufgeladen. Sie durchfallen von oben das elektrische Feld im Trennraum, welcher durch zwei Elektroden begrenzt ist.

In Abb. 2 ist das Prinzip eines Plattenscheiders dargestellt.

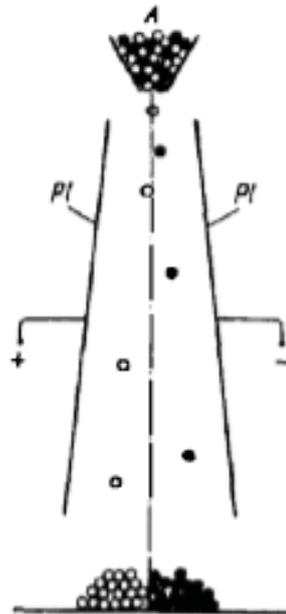


Abb. 2: Prinzipskizze eines Plattenscheiders (8)

Im Trennraum wirken hauptsächlich drei Kräfte auf die Körner. Diese sind Gewichtskraft, Coulombkraft und Schleppkraft. Die Gewichtskraft hängt von der Dichte und der Größe des Kornes ab. Die Coulombkraft hängt von der Ladung der Körner und dem externen elektrischen Feld ab. Die Schleppkraft wird von Luftströmen im Trennprozess und der Neigung der Körner, diesen zu folgen, beeinflusst. (8) (13)

In Abb. 3 sind die im Trennraum wirkenden Kräfte dargestellt. Die Gravitationskraft wird mit  $F_G$  bezeichnet, die Coulombkraft mit  $F_{el}$  und die Schleppkraft mit  $F_D$ .

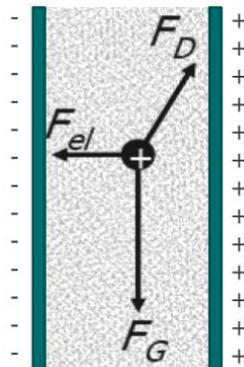


Abb. 3: Kräfte, die im Trennraum auf ein Korn wirken (13)

Während des Trennprozesses werden die Körner infolge ihrer unterschiedlichen Ladung von den gegensinnig geladenen Elektroden angezogen und dabei während des Fallens durch den Trennraum ausgelenkt. Die für die Auslenkung verantwortliche Kraft ist die Coulombkraft. Die zu verarbeitende Korngrößenspanne ist zusätzlich noch durch die Gewichtskraft bzw. die Schleppkraft limitiert. Überwiegt die Gewichtskraft, können die Körner nicht mehr ausgelenkt werden. Überwiegt die Schleppkraft, folgen die Körner Luftströmen im Trennraum. (8)

### 1.3.2. BANDSCHEIDER

Auch diese Bauart wird für die Nichtleiter-/Nichtleiter-Trennung, allerdings im Feinkornbereich  $< 100 \mu\text{m}$  verwendet. Das Aufgabegut gelangt von oben über eine Vibrorinne oder eine Förderschnecke in den Trennraum. Dieser ist von zwei gegensinnig geladenen Elektroden begrenzt. Zwischen den beiden Elektroden baut sich das elektrische Feld auf. Die Aufladung der Körner erfolgt durch Tribopolarisation. Diese wird durch ein im Trennraum schnell umlaufendes Kunststoffband erzeugt. Durch das Band erfolgt auch der Transport der Körner aus dem Trennraum. Die an den Elektroden haftenden Körner werden durch das Band mitgenommen, verlassen so das elektrische Feld und fallen je nach Ladung an der linken oder rechten Seite herab. So werden durch den Bandscheider zwei Produkte erzeugt. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 4) zeigt das Funktionsprinzip eines Bandscheiders. (13) (14)

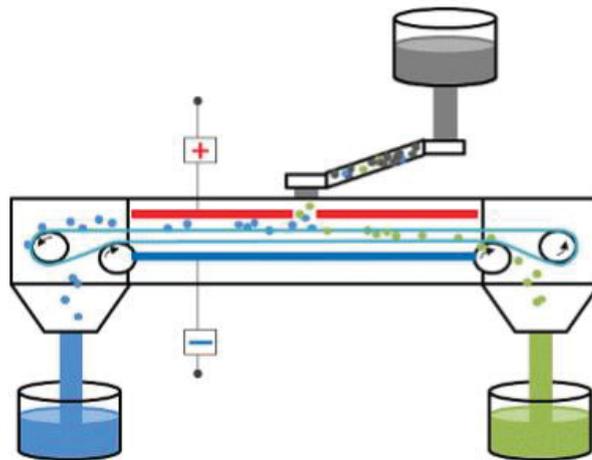


Abb. 4: Prinzipskizze eines Bandscheiders (13)

## 2. GRUNDLAGEN DER STATISTISCHEN VERSUCHSPLANUNG

### 2.1. VERGLEICH ZU KLASSISCHEN VERFAHREN

Die statistische Versuchsplanung ist eine Weiterentwicklung traditioneller Versuchsverfahren. Durch detaillierte Planung und gezielte Veränderung von Einflussgrößen, kann die Effizienz des Versuchsaufbaus gesteigert werden. (15)

#### 2.1.1. TRADITIONELLE VERSUCHSPLANUNG

Bei der Durchführung einer traditionellen Versuchsplanung definiert man eine Grundeinstellung für alle Einflussgrößen auf das zu untersuchende System. Diese Einflussgrößen werden als Faktoren bezeichnet. Bei der Versuchsdurchführung wird immer einer dieser Faktoren verändert, die anderen konstant gehalten und die Auswirkung beobachtet. Danach wird der Faktor wieder auf die Grundeinstellung zurückgestellt. Dadurch versucht man auftretende Effekte direkt Faktoren zuzuordnen. Man geht immer von einem Punkt im Faktorraum aus. Alle Veränderungen von Faktoren sind damit auf diesen Punkt bezogen. Man beachtet nicht, dass die Wahl des Ausgangspunktes im Faktorraum schon Einfluss auf die Ergebnisse hat. Dadurch hat dieser Versuchsaufbau einen grundsätzlichen Fehler. Der zweite wesentliche Fehler ist, dass man annimmt, dass der durch die Veränderung eines Faktors erzielte Effekt unabhängig von den anderen Einflussgrößen ist. (15) (16)

#### 2.1.2. FAKTORRAUM

Der Begriff *Faktorraum* wird in Abb. 5 an Hand eines Versuchsplanes erklärt, der drei Faktoren (A, B und C) enthält. Für diese werden je zwei Faktor-Einstellungen (-/+ ) gewählt. Diese Faktor-Einstellungen werden in der statischen Versuchsplanung als Levels bezeichnet. Der *Faktorraum* kann in einem Koordinatensystem als Würfel dargestellt werden. Die Achsen bilden die Faktoren A, B und C. Der Würfel entsteht durch die Verbindung der beiden Levels der einzelnen Faktoren (+) und (-). Die traditionelle Versuchsplanung startet immer im Nullpunkt (A-/B-/C-). Alle Faktoren werden auf die Grundeinstellung eingestellt. Dann wird der erste Faktor von (-) auf (+) verstellt und der Effekt beobachtet. Dann wird dieser Faktor wieder auf die Grundstufe zurückgestellt. Dieser Vorgang wird für die übrigen zwei Faktoren wiederholt. Man bewegt sich während der gesamten Versuchsserie ausschließlich entlang der Achsen des Würfels. Die anderen vier theoretisch möglichen Faktorkombinationen werden nicht berücksichtigt. (15) (16)

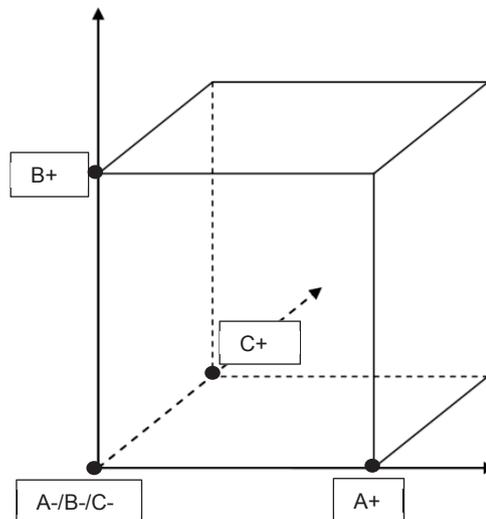


Abb. 5: Faktorraum für drei Faktoren mit je zwei Levels (15)

### 2.1.3. STATISTISCHE VERSUCHSPLANUNG

Ein statistischer Versuchsplan ist nicht von den grundsätzlichen Fehlern eines herkömmlichen Versuchsplanes belastet. Bei einem Versuchsplan, der nach statistischen Grundprinzipien aufgebaut ist, wird der gesamte *Faktorraum* gleichmäßig abgetastet. Dafür muss ein Ausgangspunkt gewählt werden, auf den sich die Variation der Faktoren bezieht. Es wird angenommen, dass die Wahl dieser Basis keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Durch den statistischen Versuchsplan erfährt jeder Faktor mehrere Umstellvorgänge, die von unterschiedlichen Randbedingungen aus starten. Entscheidend dabei ist die Konstruktion des Planes. Dieser muss orthogonal und ausgewogen sein. Orthogonal ist ein Versuchsplan, wenn die Einstellungsmuster aller Faktoren voneinander unabhängig sind. Ein Versuchsplan ist ausgewogen, wenn bei einem bestimmten Level des einen Faktors die unterschiedlichen Levels des anderen Faktors gleich oft vorkommen. (15)

## 2.2. GRUNDBEGRIFFE

Die statistische Versuchsplanung ist weltweit standardisiert. Diese Methode verwendet wichtige Grundbegriffe wie zum Beispiel *Faktor*, *Effekt* und *Wechselwirkung*. In der statistischen Versuchsplanung besteht sozusagen ein Basisvokabular, welches für eine deutliche und effiziente Kommunikation und das Verständnis sehr wichtig ist. (15)

### 2.2.1. SYSTEM

Das System ist die „Konstruktion“, die untersucht werden soll. Hierbei ist es wichtig, die Grenzen des Systems klar zu definieren. Bei der Wahl der Systemgrenzen ist es wichtig, zu entscheiden, wie eng es abgegrenzt werden soll, damit nicht zu viele Parameter ungenutzt bleiben. Von den Parametern, die im System verbleiben, wird das Optimum gesucht. Die übrigen Größen können in der Praxis variieren. Das System muss trotz der Variation der äußeren Einflüsse stabil bleiben. Für einen Versuchsaufbau ist es von Vorteil, diese Einflüsse konstant zu halten. (15)

### 2.2.2. QUALITÄTSMERKMALE

Qualitätsmerkmale müssen kontinuierliche Größen sein, damit Effektberechnungen möglich sind. Als Qualitätsmerkmal werden Ergebnisse herangezogen, wie zum Beispiel der Wertstoffgehalt. Dadurch kann die Veränderung des Systems eindeutig beurteilt werden. In der Praxis müssen häufig mehrere Qualitätsmerkmale für die Beurteilung herangezogen werden. (15)

### 2.2.3. PARAMETER UND FAKTOREN

Die Gesamtheit aller möglichen Eingangsgrößen bilden die Parameter. Zu Beginn der Versuchsplanung ist eine vollständige Parameterliste zu erstellen. Parameter, welche in den Versuchsplan aufgenommen werden, werden als Faktoren bezeichnet. Alle Faktoren müssen genau und reproduzierbar einstellbar sein. (15)

### 2.2.4. LEVEL

Die aus der Parameterliste ausgewählten Faktoren werden auf Level eingestellt. Es werden mindestens zwei Levels benötigt. Diese müssen einen ausreichend großen Abstand zueinander haben, um einen deutlichen Effekt zu ermitteln. Kleine Unterschiede haben in der Regel kleine Effekte zur Folge. Die Festlegung der Level beruht auf physikalischen Grundlagen. (15)

### 2.2.5. EFFEKT

Der Effekt beschreibt die Wirkung eines Faktors auf das System. Er ist die Differenz der beiden Mittelwerte, die auf zwei unterschiedlichen Levels ermittelt wurden. Durch den Effekt wird die mittlere Änderung eines Qualitätsmerkmals bei der Variation des Levels eines Faktors ermittelt. Der Effekt

hat dadurch Stabilität gegenüber möglichen Versuchsstreuungen. Der Effekt eines Faktors wird als Haupteffekt bezeichnet. (15)

### 2.2.6. WECHSELWIRKUNG

Wenn der Effekt eines Faktors von der Variation eines anderen Faktors beeinflusst wird, spricht man von einer Wechselwirkung. Wechselwirkungen treten in der Praxis sehr häufig auf. Die Effekte von diesen Wechselwirkungen werden als Nebeneffekte bezeichnet. (15)

## 2.3. GRUNDPRINZIPIEN

Die statistische Versuchsplanung beruht auf drei Grundprinzipien. Diese sind Randomisierung, Wiederholung und Blockbildung. (16)

### 2.3.1. RANDOMISIERUNG

Für die Versuchsreihenfolge darf es keine Systematik geben. Dies soll Schutz vor zeitabhängigen Einflüssen bieten. Die Reihenfolge wird bereits in der Planungsphase mit einem Zufallsgenerator festgelegt. Die Versuchsreihenfolge kann also nicht vom Durchführenden bestimmt werden. (16)

### 2.3.2. WIEDERHOLUNG

Die Wiederholung von Messvorgängen ist allgemein üblich. Durch eine größere Anzahl von Einzelmessungen kann man sich dem wahren Wert des Messwertes mit steigender Genauigkeit nähern. Die Berechnung der Streuung gibt Aufschluss über die Zuverlässigkeit einer Messung. Um die Streuung der Versuchsergebnisse zu überprüfen, muss der gesamte Versuch wiederholt werden. Ansonsten wird nur die Streuung des Messsystems ermittelt. Das bedeutet, dass im Zuge eines Versuchsprogramms der gleiche Versuch mehrmals durchgeführt wird und auch die Faktoren jedes Mal neu eingestellt werden. (16)

### 2.3.3. BLOCKBILDUNG

Manche Störgrößen sind zwar bekannt, man kann sie aber nicht beseitigen. Durch die Bildung von Blöcken soll der Einfluss dieser bekannten Störgrößen verringert werden. (16)

Zur Veranschaulichung wird ein Experiment aus der Agrikultur angeführt: Ein Landwirt will auf seinem Feld zwei Sorten Weizen mit zwei verschiedenen Düngern testen. Das Feld wird in vier Abschnitte geteilt und die vier möglichen Kombinationen können so getrennt voneinander getestet werden. Wenn aber ein Teil des Versuchsfeldes zeitweise im Schatten liegt, da es an einen Wald grenzt, dann werden die Ergebnisse in diesem Bereich davon beeinflusst. Diesen Effekt kann berücksichtigt werden, indem man erst das Feld nach den äußeren Gegebenheiten in Abschnitte unterteilt und dann in jedem Abschnitt alle vier Kombinationen getrennt voneinander untersucht. So kann man den Versuch unabhängig vom Einfluss des Schattens durchführen. Des Weiteren erhält man die Zusatzinformation über den Einfluss von Schatten und Sonne in den Abschnitten. Dadurch steigt jedoch der Aufwand für Aussaat und Auswertung. (15)

## 2.4. ARTEN VON STATISTISCHEN VERSUCHSPLÄNEN

Grundsätzlich werden unterschiedliche Varianten von statistischen Versuchsplänen eingesetzt. Einige Beispiele dafür sind: (15)

- a) Screening-Versuchspläne bzw. teilfaktorielle Versuchspläne
- b) Vollfaktorielle Versuchspläne
- c) Central-Composite-Design
- d) Box-Behnken-Design
- e) Monte-Carlo-Verfahren

Für die Versuchsplanung dieser Arbeit wurden die Varianten a) und b) verwendet, daher werden diese Pläne genauer erläutert.

## 2.5. SCREENING-VERSUCHSPLÄNE

Die sogenannten Screening-Versuchspläne sind ein wichtiger und eigenständiger Bestandteil der statistischen Versuchsplanung. Mit diesen Versuchsplänen können mit vertretbarem Aufwand eine große Zahl von Faktoren untersucht werden. Sie bieten sehr effiziente Untersuchungen in Bezug auf Umfang der untersuchten Faktoren, statistische Sicherheit der Ergebnisse und die Anzahl der durchzuführenden Versuche. (15)

Screening-Versuchspläne stoßen aber bei der Analyse von nicht linearen Zusammenhängen an ihre Grenzen. Sie können nicht-lineare Zusammenhänge zwar erkennen, aber nur unzureichend

beschreiben. Um einen nicht-linearen Zusammenhang ausreichend zu beschreiben, wird der Versuchsaufwand sehr groß. Zur Untersuchung nicht-linearer Zusammenhänge werden die Versuchspläne c) bis e) verwendet. (15)

### 2.5.1. AUFBAU EINES VOLLFAKTORIELLEN VERSUCHSPANS

Bei den vollfaktoriellen Versuchsplänen werden alle möglichen Faktorkombinationen tatsächlich eingestellt. Dabei werden die Faktoren auf zwei Level verändert. Diese Level werden mit (+) und (-) bezeichnet. Um den Effekt von zum Beispiel drei Faktoren und den Nebeneffekt aus deren Wechselwirkungen zu überprüfen, sind acht Versuchsdurchgänge nötig. Die Wechselwirkungen erhält man durch Multiplikation der Faktorspalten. Dieses Versuchsmodell wird als Typ „2<sup>3</sup>“ bezeichnet. Die drei veränderlichen Faktoren werden mit A, B und C bezeichnet. (15)

Die Anzahl der Versuche ergibt sich aus der Zahl der Level und der Zahl der Faktoren (siehe [1]). (15)

$$\text{Versuchszahl} = \text{Zahl Level}^{\text{Zahl Faktoren}} \quad [1]$$

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht einen solchen Versuchsaufbau, mit den tatsächlich durchgeführten Faktor-Einstellungen.

| Versuch Nr. | A | B | C |
|-------------|---|---|---|
| 1           | + | + | + |
| 2           | + | + | - |
| 3           | + | - | + |
| 4           | + | - | - |
| 5           | - | + | + |
| 6           | - | + | - |
| 7           | - | - | + |
| 8           | - | - | - |

Tab. 1: vollfaktorieller Versuchsplan vom Typ „2<sup>3</sup>“

In Tab. 2 sind die Faktor-Einstellungen und die aus der Multiplikation dieser Einstellungen gebildeten Wechselwirkungen zusammengefasst. Die Multiplikation der Einstellung (+) vom Faktor A und der Einstellung (+) des Faktors B ergibt wiederum (+) für die Wechselwirkung AB.

| Versuch<br>Nr. | Einstellungen |   |   | Wechselwirkungen |    |    |     |
|----------------|---------------|---|---|------------------|----|----|-----|
|                | A             | B | C | AB               | AC | BC | ABC |
| 1              | +             | + | + | +                | +  | +  | +   |
| 2              | +             | + | - | +                | -  | -  | -   |
| 3              | +             | - | + | -                | +  | -  | -   |
| 4              | +             | - | - | -                | -  | +  | +   |
| 5              | -             | + | + | -                | -  | +  | -   |
| 6              | -             | + | - | -                | +  | -  | +   |
| 7              | -             | - | + | +                | -  | -  | +   |
| 8              | -             | - | - | +                | +  | +  | -   |

Tab. 2: vollfaktorierter Versuchsplan vom Typ „2<sup>3</sup>“ mit Wechselwirkungen

Screening-Versuchspläne haben die Aufgabe die Anzahl der benötigten Versuche zu reduzieren, aber auch den Informationsverlust gering zu halten. Ein Mittelweg muss gefunden werden. Das ist durch den speziellen Aufbau der Versuchspläne möglich. (15)

## 2.5.2. ENTWICKLUNG EINES TEILFAKTORIELLEN VERSUCHSPLANS AUS EINEM VOLLFAKTORPLAN

Die Dreifachwechselwirkung (ABC) kann theoretisch berechnet werden, in realen Systemen gibt es normalerweise aber keine so komplexen Zusammenhänge. Bei Verzicht auf die Berechnung der Dreifachwechselwirkung kann die durch Multiplikation der drei Hauptspalten (A, B, C) die Einstellungsvorschrift für einen vierten Faktor erhalten werden. (15)

Spalten, die durch Multiplikation von anderen Spalten entstehen, übernehmen die Eigenschaften der Ausgangsspalten bezüglich Orthogonalität und Ausgewogenheit. Das bedeutet, dass die Spalte der Dreifachwechselwirkung als Einstellungsvorschrift für einen neuen Faktor verwendet werden darf, ohne statistische Gesetze der Versuchspläne zu verletzen. (15)

In Tab. 3 ist ein Versuchsplan dargestellt, bei dem die Dreifachwechselwirkung für die Einstellung eines neuen Faktors verwendet wird. Dieser wird als Versuchsplan von Typ „2<sup>4-1</sup>“ bezeichnet.

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

Tab. 3: teilfaktorieller Versuchsplan von Typ „ $2^{4-1}$ “

Die Dreifachwechselwirkung (ABC) entspricht der Einstellung für den Faktor D. Mit acht Versuchen können nun vier Faktoren überprüft werden. Um die neu entstandenen Wechselwirkungen durch den Faktor D berechnen zu können, werden erneut die Wechselwirkungsspalten mittels Multiplikation erstellt.

Durch die Berechnung der Wechselwirkungen ist ersichtlich, dass sich die Spalten teilweise gleichen. Die Haupteffekte (A, B, C, D) sind immer mit den Dreifachwechselwirkungen vermengt, die Zweifachwechselwirkungen sind untereinander vermengt. Die Ergebnisse von gleichen Spalten können nicht mehr unterschieden werden, da es ist nicht mehr möglich ist, einen Effekt genau dem „Verursacher“ zuzuordnen. Da in realen Systemen keine so komplexen Zusammenhänge wie Dreifachwechselwirkungen existieren, können die Haupteffekte zuverlässig bestimmt werden. Informationen über die Zweifachwechselwirkungen gehen verloren, da sich die Spalten exakt gleichen. Dadurch kann nicht mehr zugeordnet werden, von welcher Zweifachwechselwirkung die Auswirkung auf das System stammt. (15)

### 2.5.3. TEILFAKTORIELLER VERSUCHSPLAN ZUR ÜBERPRÜFUNG VON FÜNF FAKTOREN

Zur Überprüfung von fünf Faktoren mit einem Vollfaktorplan (Typ „ $2^5$ “) sind insgesamt 32 Versuche notwendig. Bei der Nutzung eines teilfaktoriellen Versuchsplans sind hierfür nur noch 16 Versuche nötig. Ein solcher Versuchsplan wird als Typ „ $2^{5-1}$ “ bezeichnet. Die Faktoren werden mit A, B, C, D und E bezeichnet. Hierbei werden 50 % aller theoretisch möglichen Kombinationen umgesetzt. Die Erstellung des Versuchsplans erfolgt wie in Kapitel 2.5.2 beschrieben. Es können alle Haupteffekte und Zweifachwechselwirkungen beurteilt werden, die statistische Sicherheit ist gegeben. Die Haupteffekte sind mit den Vierfachwechselwirkungen, die Zweifachwechselwirkungen mit Dreifachwechselwirkungen vermengt, aber untereinander völlig getrennt. Dies ist der große Vorteil dieses Versuchsplans, da in der Realität nur Haupteffekte und Zweifachwechselwirkungen

vorkommen und diese untereinander nicht vermengt sind. Jeder einzelne Faktor wird achtmal auf dem Level (+) und achtmal auf dem Level (-) getestet. (15)

Die Variation von fünf unterschiedlichen Faktoren bietet einen ausreichenden Raum für die Untersuchung der wichtigsten Einflussgrößen. Dabei bleibt der Gesamtaufwand für die Versuchsdurchführung in einem praktikablen Rahmen. (15)

| Versuch Nr. | 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          | +    | 1    | +    | +    | +    | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   |

Tab. 4: teilfaktorierter Versuchsplan von Typ „2<sup>5-1</sup>“

## 2.5.4. BEZEICHNUNG VON SCREENING-VERSUCHSPLÄNEN

Für die Bezeichnung der Screening-Versuchspläne gibt es keine Norm. Die folgende Variante ist jedoch weit verbreitet:

|           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| $X^{Y-Z}$ | X Anzahl der Levels pro Faktor |
|           | Y Anzahl der Faktoren          |
|           | Z Reduktionsstufe              |

Die Anzahl der Levels  $X$  gibt an, auf wie viele Werte die Faktoren eingestellt werden. Die Reduktionsstufe  $Z$  zeigt an, wie viele Faktoren keine eigene Einstellungsvorschrift besitzen, sondern aus der Berechnung von Wechselwirkungen stammen. Berechnet man „ $X^{Y-Z}$ “, erhält man die Anzahl der Versuche. (15)

## 3. AUSWERTUNG

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Auswertungen auf drei Arten durchgeführt. Einerseits erfolgte diese über die Bewertung der Mittelwerte auf den unterschiedlichen Levels, andererseits wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte eine grafische Darstellung der Ergebnisse mittels Effektdiagrammen.

### 3.1. AUSWERTUNG AN HAND DER MITTELWERTE

Zu Beginn wurde jeweils der Mittelwert von den Beurteilungsmerkmalen aller Versuche mit derselben Level-Einstellung, bezogen auf die einzelnen Faktoren, gebildet. Dadurch kann der Einfluss des Faktors auf das Trennergebnis festgestellt werden. Von den beiden Mittelwerten bei Einstellung (+) und (-) wurde die Differenz gebildet, was eine Aussage über die Größe des Einflusses des Faktors ermöglicht.

### 3.2. AUSWERTUNG MITTELS VARIANZANALYSE

Mit der Varianzanalyse wurde der Einfluss von Faktoren auf ein beobachtetes Merkmal untersucht. Im einfachsten Fall ist die Varianzanalyse der Vergleich zweier Mittelwerte. Mit mehreren Stichproben wird eine Nullhypothese  $H_0$  aufgestellt. Unterscheiden sich die verglichenen Mittelwerte auf

gewähltem Signifikanzniveau  $\alpha$ , gilt die Nullhypothese als abgelehnt und der Faktor hat einen relevanten Einfluss auf das Trennergebnis. (17)

Für die Durchführung der Varianzanalyse werden folgende Formeln verwendet: (17)

Der Kontrast ist die Differenz der Summe aller Ergebnisse, die auf den positiven und auf den negativen Levels erreicht wurden (siehe Formel [2]).

$$\text{Kontrast} = \sum x(+) - \sum x(-) \quad [2]$$

Der Effekt ist der Unterschied zwischen den Mittelwerten der Ergebnisse der beiden Einstellungsstufen. Der Effekt berechnet sich gemäß der Formel [3].

$$\text{Effekt} = \frac{\sum x(+) - \sum x(-)}{n * m} \quad [3]$$

Die Summe der Quadrate berechnet sich wie in den Formeln [4] bis [6] dargestellt.

$$\text{Summe der Quadrate (Faktor)} = \frac{\{\sum x(+) - \sum x(-)\}^2}{n * (m + m)} \quad [4]$$

$$\text{Summe der Quadrate (Total)} = \sum x_1 * \dots * x_n - \frac{1}{n * m} * \{\sum x_1 \dots x_n\}^2 \quad [5]$$

$$\text{Summe der Quadrate (Fehler)} = \text{Summe der Quadrate (Total)} - \sum \text{Summe der Quadrate (Faktor)} [6]$$

Der quadratische Mittelwert berechnet sich laut Formel [7] aus der Summe der Quadrate gemäß [6] und den Freiheitsgraden.

$$\text{quadratischer Mittelwert} = \frac{\text{Summe der Quadrate (Fehler)}}{\text{Freiheitsgrade}} \quad [7]$$

Jeder Faktor hat einen Freiheitsgrad. Die gesamte Anzahl an Freiheitsgraden errechnet sich laut Formel [8]. In weiterer Folge werden die Freiheitsgrade für den zufälligen Fehler laut Formel [9] berechnet.

$$\text{Freiheitsgrade (Total)} = n * (m + m) - 1 \quad [8]$$

$$\text{Freiheitsgrade (Fehler)} = \text{Freiheitsgrade (Total)} - \sum \text{Freiheitsgrade (Faktor)} \quad [9]$$

Die Zufallsvariable  $F_0$  berechnet sich aus dem quadratischen Mittelwert und den Freiheitsgraden (siehe Formel [10]).

$$F_0 = \frac{\text{quadratischer Mittelwert}}{\text{Freiheitsgrade}} \quad [10]$$

Die Zufallsvariablen der Faktoren werden nun mit dem Quantil für das gewählte Signifikanzniveau verglichen (*Werte für Quantile siehe Quelle Nr. (17) Anhang C*). Die Nullhypothese gilt als abgelehnt, wenn gilt:

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

$x_{(+)}$ ... Summe aller Ergebnisse bei derselben Versuchseinstellung auf positivem Level

$x_{(-)}$ ... Summe aller Ergebnisse bei derselben Versuchseinstellung auf negativem Level

$n$ ... Anzahl der Versuchsdurchläufe mit derselben Einstellung

$m$ ... Anzahl der Einstellung von positiven bzw. negativen Levels in der Versuchsreihe

$x_1; x_n$ ... Ergebnisse der Einzelversuche

$\text{Dof}(\text{Faktor}); (\text{Fehler})$ ... Freiheitsgrad eines Faktors bzw. des zufälligen Fehlers

### 3.3. EFFEKTDIAGRAMME

Effektdiagramme sind die grafische Darstellungsform der Effekte. Auf der x-Achse werden nacheinander alle Hauptfaktoren mit den untersuchten Levels aufgetragen. Die y-Achse zeigt das untersuchte Qualitätsmerkmal. Werden mehrere Qualitätsmerkmale untersucht, werden auch mehrere Effektdiagramme erstellt (15). Ein Effektdiagramm mit drei Faktoren ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Zu erkennen ist, dass bei positiver Level-Einstellung von Faktor A und B eine Steigerung des Qualitätsmerkmals eintritt. Bei positiver Level-Einstellung von Faktor C sinkt das untersuchte Qualitätsmerkmal.

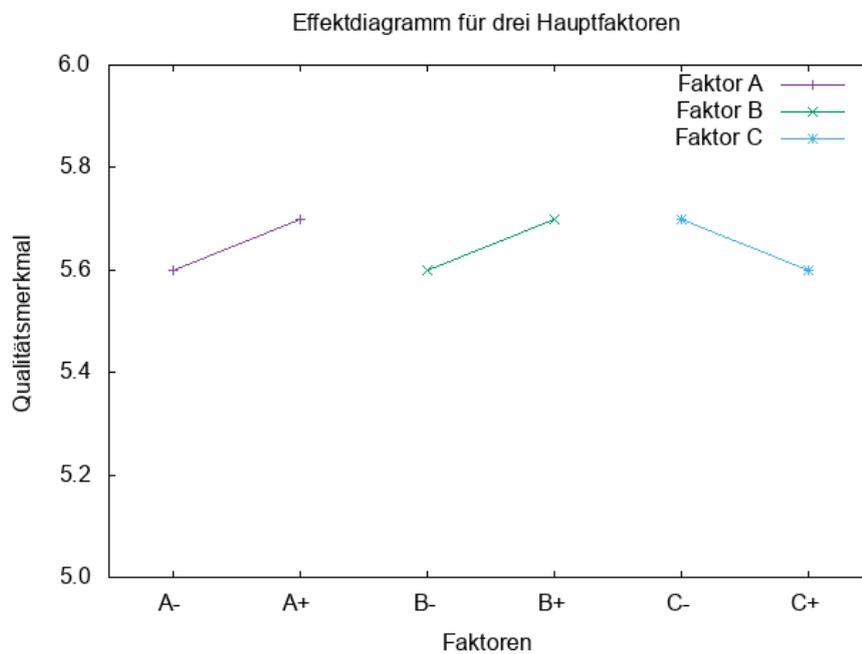


Abb. 6: Grafische Darstellung der Änderung des Qualitätsmerkmals (auf der Ordinate) in Abhängigkeit von der Faktor-Einstellung (auf der Abszisse)

## Experimenteller Teil

### 1. VERSUCHE AM FREIFALLSCHEIDER

Versuche in der Fraktion  $>100\ \mu\text{m}$  werden am Hamos Freifallscheider der Type EMS500 durchgeführt. Dieser befindet sich in einem Klimaraum im Technikum des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung. Der Prozessraum des eingesetzten Elektroscheiders mit den beiden Elektroden ist in Abb. 7 ersichtlich.



Abb. 7: Blick in den Prozessraum des Hamos Freifallscheiders EMS500 bei geöffneten Türen

#### 1.1. UNTERSUCHUNG VON KLIMATISCHEN EINFLÜSSEN

Eine vorab am Freifallscheider durchgeführte Versuchsreihe ergab, dass eine niedrige relative Luftfeuchte in der Umgebung vorteilhaft für das Trennergebnis bei der Rohtalkqualität A ist. Aufgrund jahreszeitbedingter äußerer Einflüsse ist die Einstellung einer niedrigen relativen Luftfeuchte oftmals schwierig. Da die experimentellen Untersuchungen in den Sommermonaten erfolgte, wurde in

Ergänzung zum Betrieb eines Entfeuchtungsgerätes auch die Raumtemperatur erhöht. Daher wird in dieser Masterarbeit der Einfluss der relativen Luftfeuchte in der Umgebung im Zusammenhang mit der Raumtemperatur untersucht. Für diese Versuchsreihe wird die Rohtalkqualität A eingesetzt. Für die Rohtalkqualität B wurden detaillierte Untersuchungen zu diesem Thema mit der Durchführung einer Projektstudie angestellt. Diese Projektstudie ist im Anhang (Seite 103 bis 158) ersichtlich.

Die Maschinenparameter des Freifallscheiders werden während dieser Versuchsreihe konstant gehalten. Die Rohtalkvorbereitung bleibt ebenfalls unverändert.

## 1.2. ROHGUTCHARAKTERISIERUNG

Der Rohtalk der Qualität A wurde für vorangehende Versuche bereits vorklassiert und liegt in der Fraktion 500/100  $\mu\text{m}$  vor. Vor der Klassierung hatte diese Rohtalkqualität folgende Korngrößenverteilung (Tab. 5):

| Maschenweite | Fraktion | Rückstand | Durchgang |
|--------------|----------|-----------|-----------|
| [mm]         | [%]      | [%]       | [%]       |
| 2            | 31,3     | 31,3      | 68,7      |
| 1            | 16,9     | 48,2      | 51,8      |
| 0,7          | 2,5      | 50,7      | 49,3      |
| 0,5          | 8,2      | 58,9      | 41,1      |
| 0,1          | 16,3     | 75,2      | 24,8      |
| 0            | 24,8     | 100,0     | 0,0       |
|              | 100,0    |           |           |

Tab. 5: Tabellarische Darstellung der Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität A vor der Klassierung

Der Rohtalk wurde auf einer Vertikalmühle der Firma *Cemtec* (Typ VRM 200) bei 100  $\mu\text{m}$  gesichtet, dabei standen die Walzen nicht im Kontakt mit dem Rohtalk, damit keine Zerkleinerung erfolgt. Anschließend wurde der gesichtete Rohtalk mit einem Taumelsieb bei 500  $\mu\text{m}$  klassiert. Der Glühverlust in der Kornklasse 500/100  $\mu\text{m}$  betrug 14,4 %.

### 1.3. PARAMETERSTUDIE

Bei der Durchführung der Parameterstudie wurde zwischen den Maschinenparametern, welche konstant gehalten wurden, und den Klimaparametern, welche variiert wurden, unterschieden.

Maschinenparameter sind:

- a) Auskleidung und Type der Aufladeeinheit
- b) an die Elektroden angelegte Spannung
- c) Aufgaberate durch Regelung der Frequenz der Schüttelrinne
- d) Geometrie der Platten im Trennraum

Als Aufladeeinheit wurde eine mit Teflonplatten ausgekleidete Schüttelrinne verwendet. Die angelegte Spannung betrug 70 kV. Die Frequenz der Schüttelrinne wurde mit 40 % eingestellt, was einem Durchsatz von ca. 215 kg/h entspricht.

Klimaparameter sind:

- e) Umgebungstemperatur
- f) relative Luftfeuchte
- g) Aufgabetemperatur des Rohtalkes

Ad e) Die Umgebungstemperatur wurde auf drei Levels – 18, 25 und 32 °C – verändert.

Ad f) Die relative Luftfeuchte wurde auf die Levels - 20, 40 und 60 % - eingestellt.

Ad g): Die Aufgabetemperatur wurde in dieser Versuchsreihe nicht verändert und betrug ca. 25 °C.

Der Versuchsplan zur Durchführung dieser Versuchsreihe ist im Anhang (Tab. 33) enthalten.

### 1.4. VERSUCHSAUFBAU

Die Aufgabemasse je Versuch betrug ca. 10 kg. Standardmäßig werden mit diesem Elektroscheider drei Produkte (Konzentrat, Mittelgut, Berge) erzeugt. Um eine umfassende Aussage über das Trennverhalten zu erhalten, wurden die Produkte der Trennung in 17 Bechern mit je 5 cm Breite aufgefangen. Dabei bildeten die Becher 1-3 das Produkt A, die Becher 4-6 das Produkt B, die Becher 7-11 das Produkt C, die Becher 12-14 das Produkt D und die Becher 15-17 das Produkt E. In Tab. 6

ist die Einteilung der Produkte zu Übersicht dargestellt. Abb. 8 zeigt den Versuchsaufbau mit den 17 Bechern beim Blick in den Trennraum des Freifallscheiders.

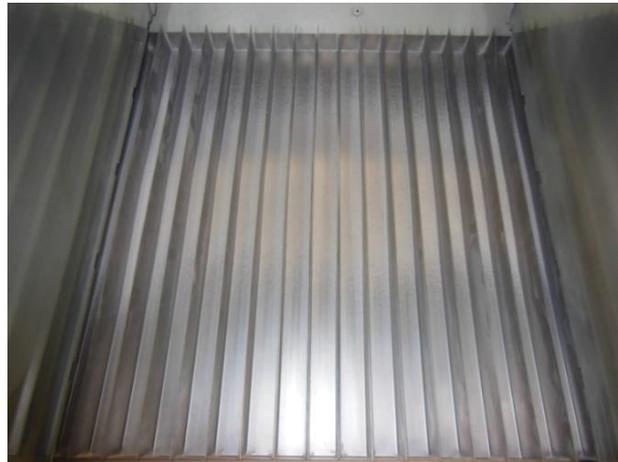


Abb. 8: Blick auf die 17 Becher im Trennraum des Hamos Freifallscheiders

|           |           |
|-----------|-----------|
| Becher 1  | Produkt A |
| Becher 2  |           |
| Becher 3  |           |
| Becher 4  | Produkt B |
| Becher 5  |           |
| Becher 6  |           |
| Becher 7  | Produkt C |
| Becher 8  |           |
| Becher 9  |           |
| Becher 10 |           |
| Becher 11 | Produkt D |
| Becher 12 |           |
| Becher 13 |           |
| Becher 14 | Produkt E |
| Becher 15 |           |
| Becher 16 |           |
| Becher 17 |           |

Tab. 6: Einteilung der Trennprodukte aus den 17 Bechern in Produkte A bis E für die Auswertung

## 1.5. VERSUCHSAUSWERTUNG

Für die Beurteilung wurden die Produkte A und B (Becher 1 bis 6) als Konzentrat zusammengefasst. In Tab. 7 sind die Glühverluste des Konzentrates (GLV Konzentrat) bei unterschiedlichen Raumtemperaturen und relativen Luftfeuchten zusammengefasst. Es ist ersichtlich, dass der Glühverlust mit steigender Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte ansteigt. So steigt der durchschnittliche Glühverlust von 7,9 % bei 18 °C, über 8,3 % bei 25 °C auf 9,5 % bei 32 °C stetig an. Der Einfluss der relativen Luftfeuchte ist deutlich größer. Bei 20 % relativer Luftfeuchte kann ein durchschnittlicher Glühverlust von 5,7 % erreicht werden, bei 40 % steigt dieser auf 8,3 %, bei 60 % beträgt er 11,7 %.

| relative Luftfeuchte<br>[%] | Umgebungstemperatur |       |       | Durchschnitt |
|-----------------------------|---------------------|-------|-------|--------------|
|                             | 18 °C               | 25 °C | 32 °C |              |
|                             | GLV Konzentrat      |       |       |              |
|                             | [%]                 | [%]   | [%]   | [%]          |
| 20                          | 6,4                 | 5,4   | 5,4   | 5,7          |
| 40                          | 7,2                 | 7,7   | 10,0  | 8,3          |
| 60                          | 10,1                | 11,7  | 13,2  | 11,7         |
| Durchschnitt                | 7,9                 | 8,3   | 9,5   |              |

Tab. 7: Einfluss der klimatischen Bedingungen auf den Glühverlust des Konzentrates

In Tab. 8 sind die Versuchsergebnisse bezogen auf das Masseausbringen an Konzentrat dargestellt. Hier lässt sich dieselbe Tendenz erkennen. Die Versuchsergebnisse verschlechtern sich deutlich bei steigender Raumtemperatur und steigender relativer Luftfeuchte. Bei einer Raumtemperatur von 18 °C beträgt das durchschnittliche Masseausbringen an Konzentrat 32,8 %. Bei 25 und 32 °C sinkt dieses auf 29,2 %. Bei relativen Luftfeuchten von 20, 40 und 60 % sinken die Masseausbringenswerte von 34,0 %, über 29,5 % auf 27,6 %

| relative Luftfeuchte<br>[%] | Umgebungstemperatur        |       |       | Durchschnitt |
|-----------------------------|----------------------------|-------|-------|--------------|
|                             | 18 °C                      | 25 °C | 32 °C |              |
|                             | Masseausbringen Konzentrat |       |       |              |
|                             | [%]                        | [%]   | [%]   | [%]          |
| 20                          | 35,8                       | 33,1  | 33,3  | 34,0         |
| 40                          | 32,2                       | 29,1  | 27,4  | 29,5         |
| 60                          | 30,4                       | 25,5  | 26,9  | 27,6         |
| Durchschnitt                | 32,8                       | 29,2  | 29,2  |              |

Tab. 8: Einfluss der klimatischen Bedingungen auf das Masseausbringen des Konzentrates

**Resümee:** Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass eine niedrige Raumtemperatur und eine niedrige relative Luftfeuchte sich positiv auf den Trennerfolg auswirken. Bezogen auf das Masseausbringen liefert die Versuchseinstellung bei 18 °C und 20 % relativer Luftfeuchte das beste Ergebnis. Bei Betrachtung des Glühverlustes werden die besten Ergebnisse bei 20 % relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperaturen von 25 °C und 32 °C erzielt.

Die gesamten Bilanzen zu den durchgeführten Versuchen sind im Anhang in Tab. 34 bis Tab. 42 ersichtlich.

## 2. VERSUCHE AM BANDSCHEIDER

Der ST Bandscheider der Type X2 (Abb. 9), an dem die Versuche durchgeführt wurden, befindet sich ebenfalls im Klimaraum des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung. Das Aufgabegut gelangt von oben über eine Vibrorinne in den Trennraum. Dieser ist von zwei gegensinnig geladenen Elektroden begrenzt. Die Spannung der Kopf- und Fußelektrode kann variiert werden. Zwischen den beiden Elektroden ist ein perforiertes Kunststoffband situiert, das durch die schnelle Umlaufbewegung zum einen für die Aufladung der Körner durch Tribopolarisation, zum anderen für den Transport der Körner im bzw. aus dem Trennraum verantwortlich ist. Die Umlaufrichtung wird durch die Polarität der gegensinnig geladenen Elektroden bestimmt. Der ST Bandscheider erzeugt zwei Produkte, die an den beiden Scheiderenden ausgetragen werden.



Abb. 9: Vorderansicht des ST Bandscheiders X2

### 2.1. ROHGUTCHARAKTERISIERUNG

Am ST Bandscheider wurden Aufbereitungsversuche an Rohtalken im Korngrößenbereich  $< 100 \mu\text{m}$  durchgeführt. Es gelangten zwei Rohtalkproben unterschiedlicher Qualität zum Einsatz, die mit Rohtalkqualität A (Glühverlust 6,7 %) und Rohtalkqualität B (Glühverlust 14,5 %) bezeichnet wurden.

In Tab. 9 ist die Korngrößenverteilung des Rohtalkes der Qualität A zusammengefasst.

| Maschenweite      | Fraktion | Rückstand | Durchgang |
|-------------------|----------|-----------|-----------|
| [ $\mu\text{m}$ ] | [%]      | [%]       | [%]       |
| 63                | 1,7      | 1,7       | 98,3      |
| 40                | 9,6      | 11,3      | 88,7      |
| 25                | 14,2     | 25,5      | 74,5      |
| 0                 | 74,5     | 100,0     | 0,0       |
|                   | 100,0    |           |           |

Tab. 9: Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität A

Die Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität B ist in Tab. 10 zusammengefasst.

| Maschenweite      | Fraktion | Rückstand | Durchgang |
|-------------------|----------|-----------|-----------|
| [ $\mu\text{m}$ ] | [%]      | [%]       | [%]       |
| 63                | 3,0      | 3,0       | 97,0      |
| 40                | 10,1     | 13,1      | 86,9      |
| 25                | 13,6     | 26,8      | 73,2      |
| 0                 | 73,2     | 100,0     | 0,0       |
|                   | 100,0    |           |           |

Tab. 10: Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität B

Abb. 10 zeigt die grafische Darstellung der Korngrößenverteilungen der beiden Rohtalkqualitäten A und B im linearen Netz.

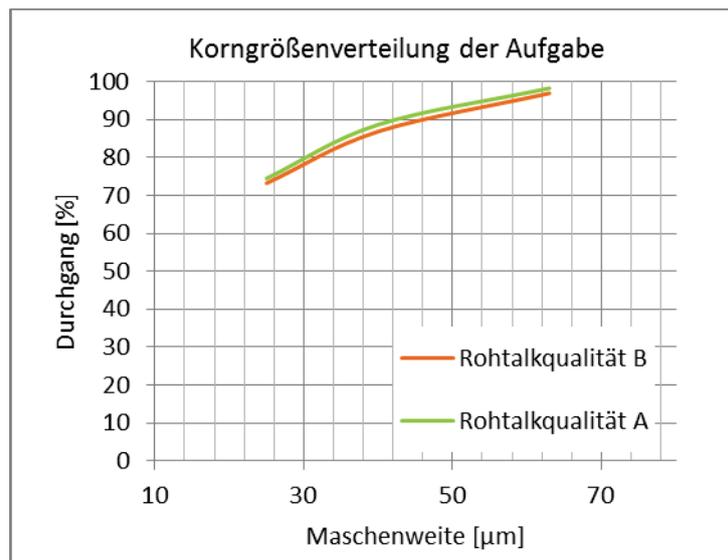


Abb. 10: Korngrößenverteilungen der der beiden Rohtalkqualitäten A und B im linearen Netz

## 2.2. UNTERSUCHUNGEN DES EINFLUSSES DER MASCHINENPARAMETER MIT ROHTALK DER QUALITÄT A

Der ST Bandscheider ermöglicht die Variation zahlreicher Parameter. Um Kenntnisse über den Einfluss dieser Parameter zu erhalten, wurden diese und deren Wechselwirkungen zueinander analysiert. Die Versuche zur Ermittlung der Maschinenparameter wurden mit vorklassiertem Rohtalk der Qualität A durchgeführt. Für die Durchführung der Versuche wurde ein teilfaktorieller Versuchsplan von Typ „2<sup>5-1</sup>“ gewählt. Die Beurteilung des Trennerfolgs erfolgte über die Bestimmung des Glühverlusts und des erzielten Masseausbringens an Konzentrat.

### 2.2.1. PARAMETERSTUDIE

Am ST Bandscheider können folgende Parameter verändert werden:

- a) angelegte Spannung
- b) Elektrodenabstand
- c) Bandgeschwindigkeit
- d) Polarität der Kopfelektrode
- e) Aufgaberate
- f) Bandgeometrie

Ad a) Die an den Elektroden angelegte Spannung kann stufenlos von 0 bis 6 kV verstellt werden. Für die Versuche wurden für die angelegte Spannung die Levels bei 3 und 6 kV festgelegt.

Ad b) Der Elektrodenabstand wird durch die geometrischen Gegebenheiten begrenzt. Für den maximalen Abstand wird ein Wert von 14 mm ermittelt, für den minimalen sind es 9 mm. Diese beiden Extremwerte werden als Level in den Versuchsplan übernommen.

Ad c) Für die Umlaufgeschwindigkeit des Kunststoffbandes werden maximal 35,2 fps erreicht. Dieser Maximalwert wird als oberer Level definiert. Für den unteren Level werden 17 fps ausgewählt.

Ad d) Die Polarität der Kopf- und Fußelektrode kann positiv oder negativ eingestellt werden. Dabei muss für die Erzeugung eines elektrostatischen Feldes immer eine Elektrode positiv und eine negativ sein. Für die Versuche wurden beiden Varianten umgesetzt. Weitere Angaben zur Polarität beziehen sich immer auf die Kopfelektrode.

Ad e) Die Aufgaberate der Vibroeinheit kann von 1 bis 10 eingestellt werden. Als Level wurden die Stufen 5 und 10 definiert.

Ad f): Dieser Parameter wird nicht in den Versuchsplan übernommen. Für die gesamte Versuchsreihe bleibt die Geometrie des Bandes unverändert.

Die hier angeführten Parameter a) bis e) wurden in einen teilfaktoriellen Versuchsplan vom Typ „2<sup>5-1</sup>“ übernommen. Der gesamte Versuchsplan findet sich im Anhang (Tab. 43).

### 2.2.2. VERSUCHSAUFBAU

Beim Versuchsaufbau werden die Maschineneinstellungen, wie zuvor im Versuchsplan festgelegt, verändert. Die Einflüsse außerhalb des Systems werden dabei, soweit möglich, konstant gehalten. Solche Einflüsse sind Raumtemperatur, relative Luftfeuchte und Rohtalktemperatur. Die Raumtemperatur betrug während der Versuchsdurchführung ca. 25 °C, die relative Luftfeuchte ca. 30 %. Der Rohtalk wurde mit Umgebungstemperatur aufgegeben. Diese Bedingungen wurden für die Untersuchung der Maschinenparameter gewählt, da sie sich bei den Versuchen, die am Hamos Freifallscheider durchgeführt wurden, als vorteilhaft herausgestellt haben. Die Aufgabemasse je Versuch betrug 500 g.

### 2.2.3. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Beurteilung des Einflusses der Maschinenparameter erfolgte zum einen auf Basis der durchgeführten Varianzanalyse, zum anderen wurden die Mittelwerte des Glühverlustes und des Masseausbringens an Konzentrat bei den unterschiedlichen Einstellungen zur Beurteilung herangezogen. Der Einfluss der Parameter auf den zuvor definierten Levels wurde grafisch in Effektdiagrammen dargestellt.

#### 2.2.3.1. Beurteilung an Hand der Mittelwerte

In Tab. 11 sind die Mittelwerte der Ergebnisse von Masseausbringen und Glühverlust des Konzentrates zusammengefasst. Die Mittelwerte wurden immer aus den, bei den unterschiedlichen Levels erzielten Ergebnissen berechnet. Von den beiden Mittelwerten bei Einstellung (+) und (-) wurde zudem die Differenz gebildet, die die Größe des Einflusses des Faktors beschreibt. Die gesamten Versuchsergebnisse und alle zugehörigen Wechselwirkungen zwischen den Faktoren sind im Anhang (Tab. 11) zusammengefasst.

Die größten Auswirkungen auf den Glühverlust des Konzentrates haben die angelegte Spannung und der Elektrodenabstand. Die Versuche mit hoher Spannung und niedrigem Elektrodenabstand lieferten die besten Versuchsergebnisse. Mit diesen Einstellungen kann ein Glühverlust von 5,9 % erreicht werden.

Auf das Masseausbringen an Konzentrat haben Polarität und Aufgaberate den größten Einfluss. Bei positiver Polarität und niedriger Aufgaberate werden die höchsten Werte für das Masseausbringen an Konzentrat erreicht. Die Mittelwerte aus den Versuchen betragen 58,9 % bei positiver Polarität und 56,6 % bei niedriger Aufgaberate.

|             | A                   |                      | B                 |                      | C        |                      | D         | E                    |             |                      |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------|----------------------|-----------|----------------------|-------------|----------------------|
| Level       | Bandgeschwindigkeit |                      | Elektrodenabstand |                      | Spannung |                      | Polarität |                      | Aufgaberate |                      |
|             | GLV                 | Masse-<br>ausbringen | GLV               | Masse-<br>ausbringen | GLV      | Masse-<br>ausbringen | GLV       | Masse-<br>ausbringen | GLV         | Masse-<br>ausbringen |
|             | [%]                 | [%]                  | [%]               | [%]                  | [%]      | [%]                  | [%]       | [%]                  | [%]         | [%]                  |
| -1          | 6,3                 | 56,5                 | 5,9               | 54,9                 | 6,5      | 55,4                 | 6,3       | 50,2                 | 6,4         | 56,6                 |
| 1           | 6,1                 | 52,6                 | 6,5               | 54,2                 | 5,9      | 53,7                 | 6,1       | 58,9                 | 6,0         | 52,5                 |
| $\Delta$ MW | -0,3                | -3,9                 | 0,7               | -0,8                 | -0,6     | -1,7                 | -0,3      | 8,8                  | -0,4        | -4,1                 |

Tab. 11: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung der Maschinenparameter (Qualität A)

Bei der Auswahl der bestmöglichen Bedingungen für den Rohtalk der Qualität A steht die Erzielung eines niedrigen Glühverlustes im Vordergrund. Dadurch ergeben sich die besten Einstellungen, bei der Beurteilung der Mittelwerte, wie in folgt:

| Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |             |
| 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 10          |

Tab. 12: Beste Maschineneinstellungen für die Erzielung eines niedrigen Glühverlustes (Qualität A)

### 2.2.3.2. Beurteilung mittels Varianzanalyse

Für die Untersuchung des Einflusses der einzelnen Faktoren und deren Wechselwirkung zueinander wird zur weiteren Überprüfung zusätzlich noch eine Varianzanalyse durchgeführt. Die Wechselwirkungen werden durch Multiplizieren der Level der einzelnen Faktoren berechnet. Diese Berechnungen mit den zugehörigen Einzelversuchsergebnissen sind im Anhang in Tab. 49 und Tab. 50 enthalten.

Für die Varianzanalyse wird ein Signifikanzniveau von 99 % ausgewählt. So ergibt sich ein Quantil von  $F_{0,99;1;16} = 8,53$ . Vergleicht man diese mit der errechneten Zufallsvariable  $F_0$  ist der Haupteinfluss auf den Versuch ersichtlich. Ist die Hypothese  $H_0$  abgelehnt, ist der Einfluss des Faktors oder der Wechselwirkung signifikant. Die Hypothese gilt als abgelehnt, wenn  $F_0 > F_{0,99;1;16}$ .

Die Berechnungen zur Varianzanalyse sind im Anhang in Tab. 51 bis Tab. 52 zusammengefasst.

Bei der Betrachtung bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates werden die angelegte Spannung und der Elektrodenabstand als Haupteinflussfaktoren identifiziert, da die Hypothese auf Gleichheit der Mittelwerte bei diesen beiden Faktoren abgelehnt wird.

Die Durchführung der Varianzanalyse bestätigt die Ergebnisse, die durch die Beurteilung der Mittelwerte erzielt wurden.

### 2.2.3.3. Effektdiagramme

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Effekt der Faktoren auf den Trennerfolg grafisch dargestellt. Abb. 11 zeigt den Effekt bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates. In Abb. 12 sind die Effekte der Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates dargestellt.

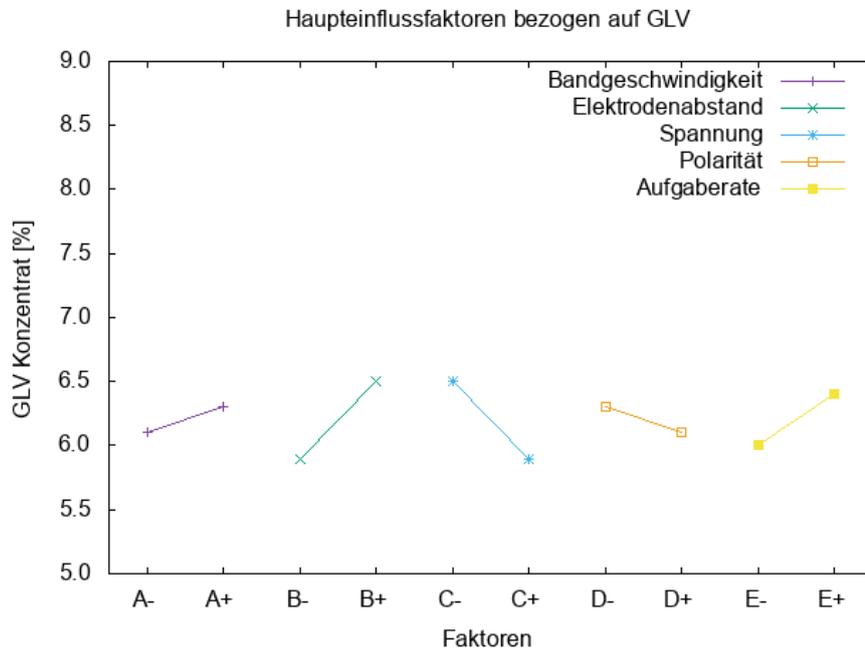


Abb. 11: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates (Qualität A)

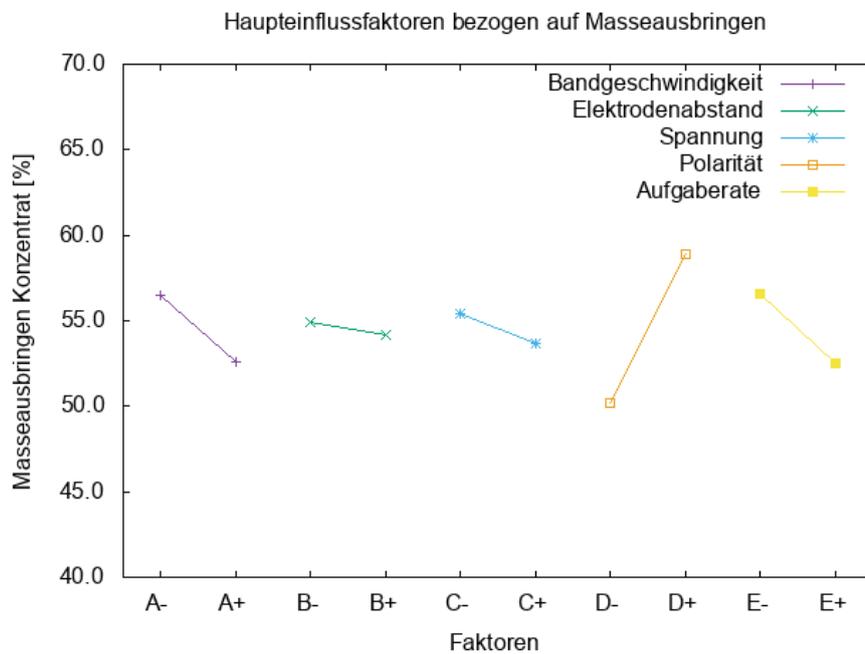


Abb. 12: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität A)

**Resümee:** Bei der Versuchsdurchführung liegt die Erzielung einer hohen Konzentratqualität im Vordergrund, deshalb wird die Auswahl der Maschinenparameter in erster Linie nach den geringsten Glühverlusten und nicht nach den höchsten Werten für das Masseausbringen an Konzentrat gerichtet. Bei der Betrachtung aller drei Auswertungsmethoden sind eindeutig die angelegte Spannung und der Elektrodenabstand jene Faktoren, die den größten Effekt hervorrufen. Die beste Konzentratqualität wird bei folgenden Maschineneinstellungen erreicht:

| Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |             |
| 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 10          |

Tab. 13: Maschineneinstellungen für die Erzielung einer hohen Konzentratqualität (Qualität A)

## 2.3. UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES DER KLIMATISCHEN BEDINGUNGEN MIT ROHTALK DER QUALITÄT A

Bei dieser Versuchsreihe werden die zuvor konstant gehaltenen Faktoren variiert. Diese Größen sind Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte und Rohtalktemperatur. Die Maschinenparameter am Bandscheider werden in dieser Versuchsreihe konstant gehalten. Die Durchführung basiert auf einem vollfaktoriellen Versuchsplan von Typ „2<sup>3</sup>“.

### 2.3.1. PARAMETERSTUDIE

Für die Untersuchung der Klimatischen Bedingungen stehen folgende Parameter zur Verfügung:

- a) Umgebungstemperatur
- b) relative Luftfeuchte
- c) Aufgabetemperatur des Rohtalkes

Ad a) Für die Umgebungstemperatur werden die Levels bei 25 und 40°C festgelegt.

Ad b) Die relative Luftfeuchte wird auf die Levels 20 und 60 % eingestellt

Ad c) Bei der Aufgabetemperatur des Rohtalkes wird der untere Level mit ca. 25 °C gewählt. Das entspricht der üblichen Raumtemperatur. Für den oberen Level wird der Rohtalk auf 80 °C erhitzt. Die Temperatur bei der Aufgabe beträgt dann manipulationsbedingt in etwa noch 60 °C.

### 2.3.2. VERSUCHSAUFBAU

Für den Versuchsaufbau werden die in der Versuchsreihe zur Untersuchung der Maschinenparameter ermittelten optimalen Einstellungen umgesetzt. Die klimatischen Bedingungen werden laut Versuchsplan variiert, dieser ist im Anhang ersichtlich (Tab. 44). In der nachfolgenden Tab. 14 sind die eingestellten Maschinenparameter zusammengefasst.

| Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |             |
| 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 10          |

Tab. 14: Bei der Versuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen eingestellte Maschinenparameter

### 2.3.3. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Beurteilung des Einflusses der klimatischen Bedingungen erfolgt mit der Durchführung einer Varianzanalyse und mit den Mittelwerten des Glühverlustes und des Masseausbringens an Konzentrat bei den unterschiedlichen Levels.

#### 2.3.3.1. Beurteilung an Hand der Mittelwerte

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 15) sind die Mittelwerte der Versuchsergebnisse bei Variation der klimatischen Bedingungen zusammengefasst. Die Mittelwerte wurden immer aus den, bei den unterschiedlichen Levels erzielten Ergebnissen berechnet. Von den beiden Mittelwerten bei Einstellung (+) und (-) wurde zudem die Differenz gebildet, die die Größe des Einflusses des Faktors beschreibt. Die Versuche, die bei niedriger Aufgabetemperatur des Rohtalkes, niedriger Umgebungstemperatur und hoher relativer Luftfeuchte durchgeführt wurden, ergaben den niedrigsten Glühverlust des Konzentrates von 5,6 %. Das höchste Masseausbringen an Konzentrat wurde mit 58,3 % bei niedriger relativer Luftfeuchte erzielt. Auf den Glühverlust des Konzentrates wirken sich alle Einflussgrößen gleich stark aus. Auf das Masseausbringen des Konzentrates hat die relative Luftfeuchte den größten Einfluss.

|             | A                 |                      | B                   |                      | C                    |                      |
|-------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Level       | Aufgabetemperatur |                      | Umgebungstemperatur |                      | relative Luftfeuchte |                      |
|             | GLV               | Masse-<br>ausbringen | GLV                 | Masse-<br>ausbringen | GLV                  | Masse-<br>ausbringen |
|             | [%]               | [%]                  | [%]                 | [%]                  | [%]                  | [%]                  |
| -1          | 5,6               | 57,0                 | 5,6                 | 57,5                 | 5,7                  | 58,3                 |
| 1           | 5,7               | 58,1                 | 5,7                 | 57,6                 | 5,6                  | 56,7                 |
| $\Delta$ MW | 0,1               | 1,1                  | 0,1                 | 0,1                  | -0,1                 | -1,6                 |

Tab. 15: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen (Qualität A)

Bei Betrachtung von relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperatur (Tab. 16) unterscheiden sich die erzielten Glühverluste des Konzentrates nur minimal. Eine hohe relative Luftfeuchte und eine niedrige Umgebungstemperatur liefern den niedrigsten Glühverlust des Konzentrates. Dieser beträgt 5,6 %. Bei den anderen Versuchen beträgt dieser 5,7 %.

| relative Luftfeuchte | Umgebungstemperatur | GLV | Masseausbringen |
|----------------------|---------------------|-----|-----------------|
| [%]                  | [°C]                | [%] | [%]             |
| -1                   | -1                  | 5,7 | 58,4            |
|                      | 1                   | 5,7 | 58,3            |
| 1                    | -1                  | 5,6 | 56,6            |
|                      | 1                   | 5,7 | 56,9            |

Tab. 16: : Mittelwerte bei Betrachtung von relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperatur (Qualität A)

Bei der gemeinsamen Betrachtung von Aufgabetemperatur und Umgebungstemperatur (Tab. 17) werden bei allen Kombinationen annähernd gleiche Glühverluste für das Konzentrat ermittelt. Der niedrigste Glühverlust des Konzentrates ergibt sich mit 5,6 % bei niedrigen Einstellungen der betrachteten Parameter.

| Umgebungstemperatur | Aufgabetemperatur | GLV | Masseausbringen |
|---------------------|-------------------|-----|-----------------|
| [°C]                | [°C]              | [%] | [%]             |
| -1                  | -1                | 5,6 | 57,1            |
|                     | 1                 | 5,7 | 57,9            |
| 1                   | -1                | 5,7 | 56,9            |
|                     | 1                 | 5,7 | 58,2            |

Tab. 17: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und Umgebungstemperatur (Qualität A)

Bei der gemeinsamen Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte (Tab. 18) wurden abermals sehr ähnliche Glühverluste für das Konzentrat ermittelt. Die Glühverluste der unterschiedlichen Einstellungen unterscheiden sich nur im 0,2 %-Punkte. Der niedrigste erzielte Glühverlust beträgt 5,6 %. Dieser wurde bei niedriger wie auch hoher Level-Einstellung beider Faktoren erreicht.

| relative Luftfeuchte | Aufgabetemperatur | GLV | Masseausbringen |
|----------------------|-------------------|-----|-----------------|
| [%]                  | [°C]              | [%] | [%]             |
| -1                   | -1                | 5,6 | 57,0            |
|                      | 1                 | 5,8 | 59,7            |
| 1                    | -1                | 5,7 | 57,0            |
|                      | 1                 | 5,6 | 56,4            |

Tab. 18: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte (Qualität A)

### 2.3.3.2. Beurteilung mittels Varianzanalyse

Für die Untersuchung des Einflusses der einzelnen Faktoren und deren Wechselwirkung zueinander wurde zur weiteren Überprüfung zusätzlich noch eine Varianzanalyse durchgeführt. Die Wechselwirkungen wurden durch Multiplizieren der Level der einzelnen Faktoren berechnet. Diese Berechnungen und die Einzelversuchsergebnisse sind im Anhang in Tab. 53 bis Tab. 54 enthalten.

Für die Varianzanalyse wurde ein Signifikanzniveau von 99 % ausgewählt. So ergab sich ein Quantil von  $F_{0,99;1;16} = 8,53$ . Ein Vergleich mit der errechneten Zufallsvariable  $F_0$  zeigt den Haupteinfluss auf den Versuch auf. Ist die Hypothese  $H_0$  abgelehnt, ist der Einfluss des Faktors oder der Wechselwirkung signifikant. Die Hypothese gilt als abgelehnt, wenn  $F_0 > F_{0,99;1;16}$ .

Die Berechnungen zur Varianzanalyse sind im Anhang in Tab. 55 und Tab. 56 zusammengefasst.

Die Wechselwirkung zwischen Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte in der Umgebung hat den größten Einfluss auf den Glühverlust des Konzentrates. Niedrige Aufgabetemperatur kombiniert mit hoher Luftfeuchte erzielt die beste Konzentratqualität.

### 2.3.3.3. Effektdiagramme

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Effekt der Faktoren auf den Trennerfolg grafisch dargestellt. Abb. 13 zeigt den Effekt bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates. In Abb. 14 sind die Effekte der Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates dargestellt.

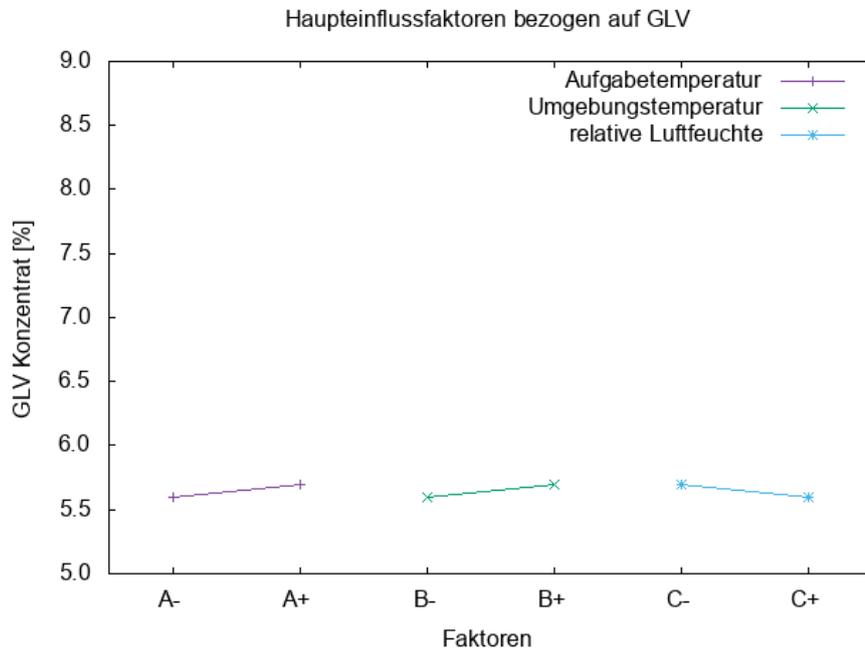


Abb. 13: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates (Qualität A)

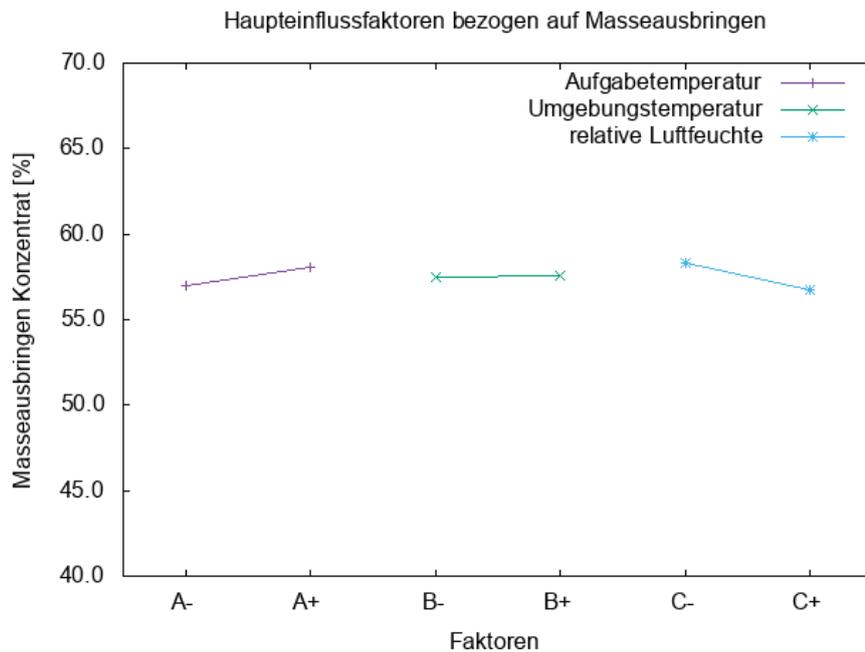


Abb. 14: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität A)

**Resümee:** Für die Erzielung einer möglichst hohen Konzentratqualität, bzw. einem möglichst niedrigen Glühverlust, sind die bestmöglichen Klimaparameter eine niedrige Umgebungs- und Aufgabetemperatur, kombiniert mit einer hohen relativen Luftfeuchte. Bei der getrennten Betrachtung aller Haupteinflussfaktoren wirken sich diese gleich stark auf das Trennergebnis aus. Bei gemeinsamer Betrachtung der Faktoren geht der größte Effekt aus der Wechselwirkung zwischen relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperatur hervor.

## 2.4. UNTERSUCHUNGEN ZUR ROHTALKBESCHAFFENHEIT MIT DER QUALITÄT A

Bei der Versuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen wurde der Rohtalk mit und ohne Vorwärmung mittels Trockenschrank aufgegeben. Dabei wurde die durch die Erwärmung bedingte Veränderung der Aufgabefeuchtigkeit nicht berücksichtigt. Um den Einfluss der Rohtalkfeuchtigkeit und ihrer Wechselwirkung mit der Rohtalktemperatur zu evaluieren, wurde die Versuchsreihe zur Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit durchgeführt.

### 2.4.1. VERSUCHSAUFBAU

Die Versuche zur Untersuchung des Einflusses der Rohtalktemperatur wurden nach einem Vollfaktorplan vom Typ „2<sup>2</sup>“ durchgeführt. Dabei wurde die Aufgabetemperatur auf dem unteren Level von ca. 25 °C (Umgebungstemperatur) definiert. Für den oberen Level wurde der Rohtalk bei 80 °C im Trockenschrank erhitzt, das entspricht manipulationsbedingt einer Aufgabetemperatur von ca. 60 °C. Bei der Rohtalkfeuchte wurde als oberer Level die gegebene Feuchte (ca. 30 %) gewählt. Dabei wurde bei der Erhitzung des Rohtalkes der Feuchtigkeitsaustritt verhindert. Für den unteren Level wurde der Rohtalk bei 80 °C bis zur Massekonstanz getrocknet und beim Abkühlen erneuter Feuchtigkeitszutritt verhindert.

Der gesamte Versuchsplan ist im Anhang ersichtlich (Tab. 45).

Die Raumtemperatur betrug während der Versuchsdurchführung ca. 25 °C, die relative Luftfeuchte ca. 30 %. Bei der Versuchsreihe wurden die Maschinenparameter laut Tab. 14 eingestellt.

## 2.4.2. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Beurteilung der Ergebnisse aus der Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit erfolgte wie zuvor beschrieben erneut über die Berechnung der Mittelwerte und die Durchführung einer Varianzanalyse.

### 2.4.2.1. Beurteilung an Hand der Mittelwerte

In Tab. 19 sind die Mittelwerte der Versuchsergebnisse und die Differenz dieser auf den beiden Levels zusammengefasst.

Die Rohtalktemperatur hat eindeutig einen größeren Einfluss auf den Glühverlust und das Masseausbringen des Konzentrates als die Rohtalkfeuchte. Die Mittelwerte der Ergebnisse auf den beiden Levels der Rohtalkfeuchte ergaben den gleichen Glühverlust mit 5,7 %. Die Ergebnisse für das Masseausbringen an Konzentrat unterscheiden sich ebenfalls nur sehr wenig.

| Level       | Rohtalktemperatur |                      | Rohtalkfeuchte |                      |
|-------------|-------------------|----------------------|----------------|----------------------|
|             | GLV               | Masse-<br>ausbringen | GLV            | Masse-<br>ausbringen |
|             | [%]               | [%]                  | [%]            | [%]                  |
| -1          | 5,5               | 49,9                 | 5,7            | 48,8                 |
| 1           | 5,9               | 47,5                 | 5,7            | 48,6                 |
| $\Delta$ MW | 0,4               | -2,4                 | 0,0            | -0,3                 |

Tab. 19: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit (Qualität A)

In Tab. 20 sind die Mittelwerte von Glühverlust und Masseausbringen des Konzentrates bei der gemeinsamen Betrachtung von Rohtalktemperatur und Rohtalkfeuchte auf den verschiedenen Levels zusammengefasst.

Sowohl der geringste Glühverlust, als auch das höchste Masseausbringen werden bei niedriger Aufgabetemperatur des Rohtalkes (ca. 25 °C) und hoher Rohtalkfeuchte (ca. 30 %) erzielt.

| Rohtalk-<br>temperatur | Rohtalk-<br>feuchte | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|------------------------|---------------------|-----|----------------------|
| [°C]                   | [%]                 | [%] | [%]                  |
| -1                     | -1                  | 5,6 | 49,6                 |
|                        | 1                   | 5,5 | 50,2                 |
| 1                      | -1                  | 5,9 | 48,1                 |
|                        | 1                   | 6,0 | 46,9                 |

Tab. 20: Mittelwerte bei gemeinsamer Betrachtung von Rohtalktemperatur und -feuchte

#### 2.4.2.2. Beurteilung mittels Varianzanalyse

Die Berechnung der Wechselwirkungen sowie die zugehörigen Einzelversuchsergebnisse bei Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit sind im Anhang in Tab. 57 und Tab. 58 zusammengefasst.

Die Berechnungen zur Varianzanalyse sind im Anhang in Tab. 59 bis Tab. 60 ersichtlich.

Bei der Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit mittels Varianzanalyse wurde dasselbe Ergebnis wie bei der Beurteilung der Mittelwerte erzielt. Die Hypothese auf Gleichheit der Mittelwerte für die Aufgabetemperatur des Rohtalkes wird abgelehnt. Das bedeutet, den größten Einfluss auf den Glühverlust des Konzentrates hat die Aufgabetemperatur.

Bei der Ermittlung der Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen an Konzentrat werden sowohl die Aufgabetemperatur, als auch die Wechselwirkung zwischen Aufgabetemperatur und Rohtalkfeuchte als Haupteinflussfaktoren identifiziert. Die Aufgabetemperatur hat jedoch einen deutlich größeren Effekt auf das Masseausbringen an Konzentrat.

**Resümee:** Die Rohtalkfeuchte hat keinen maßgeblichen Einfluss auf die Konzentratqualität. Die Glühverluste des Konzentrates sind auf den beiden Levels von dieser Einflussgröße annähernd gleich. Mit der Durchführung dieser Versuchsreihe kann jedoch der positive Einfluss der niedrigen Aufgabetemperatur bestätigt werden, wie es bereits zuvor in der Versuchsreihe zur Untersuchung der klimatischen Bedingungen festgestellt wurde.

## 2.5. TASTVERSUCHE MIT ROHTALK DER QUALITÄT B

Für die Ermittlung der Maschinenparameter mit dem Rohtalk der Qualität A wurden jene klimatischen Rahmenbedingungen gewählt, die sich bei den am Hamos Freifallscheider durchgeführten Versuchen als vorteilhaft für das Trennergebnis erwiesen (Tab. 7 bis Tab. 8). Überraschend dabei war, dass die zur Erzielung optimaler Trennergebnisse eingestellten Parameter für die beiden Rohtalkqualitäten A und B voneinander abwichen. Beim Rohtalk der Qualität B wurden bei der Sortierung am Hamos Freifallscheider die besten Ergebnisse bei niedriger relativer Luftfeuchte (ca. 20 %) und hoher Aufgabetemperatur (ca. 120°C) (Anhang Tab. 83 bis Tab. 89), wohingegen für den Rohtalk der Qualität A die besten Ergebnisse bei niedriger relativer Luftfeuchte (ca. 20 %) und niedriger Aufgabetemperatur (ca. 25 °C) erzielt wurden.

Es wurde daher entschieden, Tastversuche mit dem Rohtalk der Qualität B am ST Bandscheider durchzuführen. Dabei wurde überprüft, ob sich am ST Bandscheider dieselbe Tendenz wie am Hamos Freifallscheider zeigt. Die als kritisch erachteten Parameter bei den Tastversuchen waren insbesondere die Aufgabetemperatur und die relative Luftfeuchte.

### 2.5.1. VERSUCHSAUFBAU

Die Tastversuche wurden nach einem Vollfaktorplan vom Typ „2<sup>2</sup>“ durchgeführt. Dabei wurde die Aufgabetemperatur auf dem unteren Level von ca. 25 °C (Umgebungstemperatur) definiert. Für den oberen Level wurde der Rohtalk bei 80 °C im Trockenschrank erhitzt und damit manipulationsbedingt eine Aufgabetemperatur von ca. 60 °C erreicht. Die relative Luftfeuchte wurde auf 20 und 60 % eingestellt. Die Raumtemperatur betrug während der Versuchsdurchführung ca. 25 °C. Bei den Tastversuchen wurden die Maschinenparameter gemäß Tab. 14 eingestellt. Der gesamte Versuchsplan ist im Anhang ersichtlich (Tab. 46).

### 2.5.2. VERSUCHSERGEBNIS

In Tab. 21 sind die Ergebnisse der Tastversuche mit Rohtalk der Qualität B zusammengefasst. Das beste Versuchsergebnis lieferte Versuch Nr. 1 bei jeweils niedrigen Levels der beiden Haupteinflussfaktoren. Für weitere Versuche mit diesem Rohtalk wurde daher diese Einstellung gewählt.

| Versuch Nr. | relative Luftfeuchte | Aufgabe-temperatur | GLV | Masse-ausbringen |
|-------------|----------------------|--------------------|-----|------------------|
|             | [%]                  | [°C]               | [%] | [%]              |
| 1           | -1                   | -1                 | 6,7 | 71,0             |
| 2           |                      | 1                  | 6,9 | 63,6             |
| 3           | 1                    | -1                 | 7,2 | 57,9             |
| 4           |                      | 1                  | 6,9 | 52,3             |

Tab. 21: Versuchsergebnisse der Tastversuche mit Rohtalk der Qualität B

## 2.6. UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES DER MASCHINENPARAMETER MIT ROHTALK DER QUALITÄT B

Aufgrund der unterschiedlichen Rohgutzusammensetzung der beiden Rohtalkproben lag die Annahme nahe, dass die optimalen Maschinenparameter für die Rohtalkqualität B von den bisher ermittelten Faktoreinstellungen abweichen werden. Daher wurde eine ergänzende Versuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses der Maschinenparameter durchgeführt.

### 2.6.1. VERSUCHSAUFBAU

Es wurden dieselben Parameter in den Versuchsplan übernommen und dieselben Levels variiert, wie bei der Versuchsreihe mit der Rohtalkqualität A. Der Versuchsplan entsprach wieder einem teilfaktoriellen Versuchsplan von Typ „2<sup>5-1</sup>“. Dieser ist im Anhang ersichtlich (Tab. 43).

Die Umgebungsbedingungen wurden bei dieser Versuchsreihe auf die aus den Tastversuchen ermittelten optimalen Bedingungen, für die Erzielung einer hohen Konzentratqualität, eingestellt. Das bedeutet eine relative Luftfeuchte von ca. 20 % und eine Aufgabetemperatur von ca. 25 °C.

### 2.6.2. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Beurteilung des Einflusses der Maschinenparameter erfolgte mit der Durchführung einer Varianzanalyse und der Bewertung der Mittelwerte des Glühverlustes und des Masseausbringens an Konzentrat bei den unterschiedlichen Einstellungen. Der Einfluss der Faktoren wurde grafisch in Effektdiagrammen dargestellt.

#### 2.6.2.1. Beurteilung an Hand der Mittelwerte

In Tab. 22 sind die Mittelwerte der Ergebnisse, die bei der Untersuchung des Einflusses der Maschinenparameter erzielt wurden, zusammengefasst. Es wurden die Mittelwerte von Glühverlust und Masseausbringen an Konzentrat bei getrennter Betrachtung aller Faktoren auf den beiden Levels berechnet. Die besten Werte für den Glühverlust des Konzentrates wurden bei geringer Bandgeschwindigkeit, geringem Elektrodenabstand, hoher angelegter Spannung, einer niedrigen Aufgaberate und positiver Polarität der Kopfelektrode erzielt. Der niedrigste erreichte Mittelwert für den Glühverlust des Konzentrates betrug 7,4 %. Dieses Ergebnis wurde bei niedrigem Elektrodenabstand und positiver Polarität der Kopfelektrode erzielt.

|             | A                   |                      | B                 |                      | C        |                      | D         | E                    |             |                      |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------|----------------------|-----------|----------------------|-------------|----------------------|
| Level       | Bandgeschwindigkeit |                      | Elektrodenabstand |                      | Spannung |                      | Polarität |                      | Aufgaberate |                      |
|             | GLV                 | Masse-<br>ausbringen | GLV               | Masse-<br>ausbringen | GLV      | Masse-<br>ausbringen | GLV       | Masse-<br>ausbringen | GLV         | Masse-<br>ausbringen |
|             | [%]                 | [%]                  | [%]               | [%]                  | [%]      | [%]                  | [%]       | [%]                  | [%]         | [%]                  |
| -1          | 8,2                 | 51,4                 | 7,4               | 49,8                 | 8,2      | 49,6                 | 8,4       | 58,9                 | 7,7         | 51,1                 |
| 1           | 7,7                 | 49,3                 | 8,4               | 50,8                 | 7,7      | 51,0                 | 7,4       | 41,8                 | 8,2         | 49,6                 |
| $\Delta$ MW | -0,5                | -2,1                 | 1,0               | 1,0                  | -0,5     | 1,4                  | -1,0      | -17,1                | 0,5         | -1,5                 |

Tab. 22: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung des Einflusses der Maschinenparameter der Qualität *B*

Die bestmöglichen Maschinenparameter, bei der Beurteilung an Hand der Mittelwerte, ergeben sich für den Rohtalk der Qualität *B* wie in Tab. 23 zusammengefasst. Die Beurteilung des Sortiererfolgs erfolgte dabei in erster Linie nach einem möglichst geringen Glühverlust des Konzentrates.

| Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |             |
| 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 5           |

Tab. 23: Bestmögliche Maschineneinstellungen für die Erzielung eines niedrigen Glühverlustes für die Qualität *B*

### 2.6.2.2. Beurteilung mittels Varianzanalyse

Für die Untersuchung des Einflusses der einzelnen Faktoren und deren Wechselwirkung zueinander wurde zusätzlich noch eine Varianzanalyse durchgeführt. Es wurde ein Vertrauensbereich von 99 % ausgewählt. Die zugehörigen Berechnungen sind im Anhang in Tab. 62 bis Tab. 65 enthalten.

Die Durchführung der Varianzanalyse zeigte, dass alle Faktoren einen relevanten Einfluss auf den Glühverlust des Konzentrates haben, da alle Hypothesen für die Haupteinflussfaktoren abgelehnt wurden. Ebenso haben die Wechselwirkungen zwischen Bandgeschwindigkeit und angelegter Spannung sowie die Wechselwirkung zwischen Bandgeschwindigkeit und Polarität einen relevanten Einfluss auf das Ergebnis.

### 2.6.2.3. Effektdiagramme

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Effekte der Faktoren auf den Trennerfolg grafisch dargestellt. Abb. 15 zeigt den Effekt bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates. In Abb. 16 sind die Effekte der Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates dargestellt.

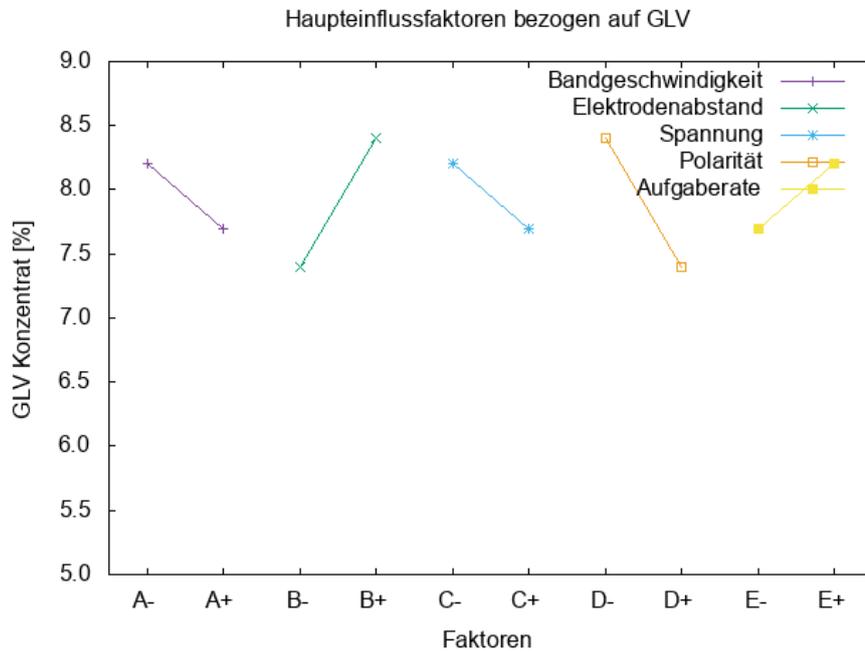


Abb. 15: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates (Qualität B)

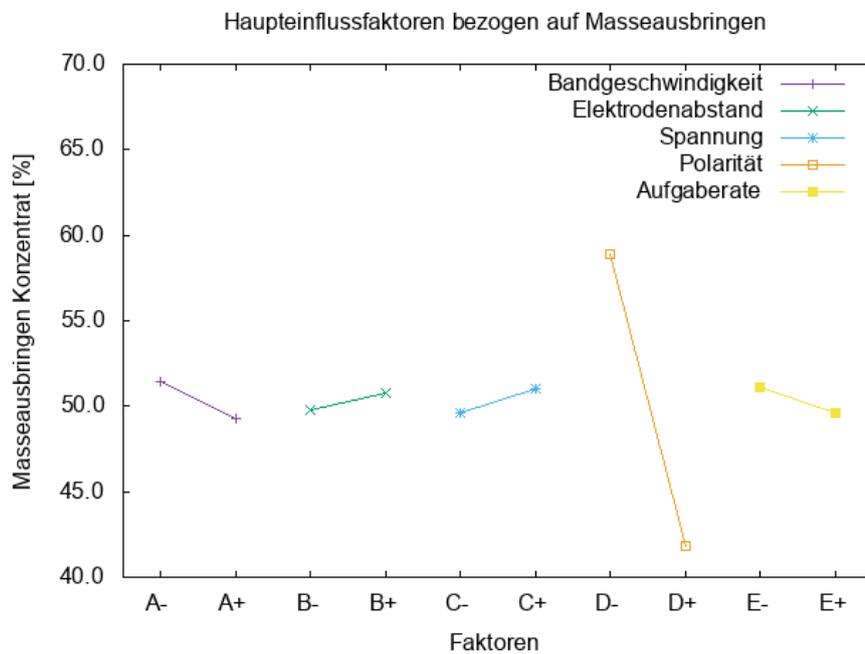


Abb. 16: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität B)

**Resümee:** Bei der Untersuchung des Einflusses der Maschinenparameter auf den Sortiererfolg wurden bei dieser Rohtalkqualität Polarität und Elektrodenabstand als Haupteinflussfaktoren identifiziert. Diese beiden Faktoren wirken sich am stärksten auf den Glühverlust des Konzentrates aus. Bei der Auswahl der Maschineneinstellungen bezogen auf die bestmögliche Konzentratqualität ergeben sich die folgenden Einstellungen:

| Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |             |
| 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 5           |

Tab. 24: Bestmögliche Maschineneinstellungen für die Erzielung einer hohen Konzentratqualität für die Qualität *B*

Die Maschinenparameter für die beiden unterschiedlichen Rohtalkqualitäten unterscheiden sich nur in einem Punkt, nämlich der Aufgaberate. Bei den übrigen Faktoren führen die gleichen Levels der einzelnen Faktoren zu den besten Konzentratqualitäten.

## 2.7. UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES DER KLIMATISCHEN BEDINGUNGEN MIT ROHTALK DER QUALITÄT B

Um eine Aussage über die optimalen klimatischen Bedingungen für diese Rohtalkqualität zu treffen, wurde eine Versuchsreihe zur detaillierten Untersuchung durchgeführt. Dabei wurden dieselben Parameter in den Versuchsplan übernommen und auf denselben Level variiert, wie bei der Versuchsreihe mit Rohtalk der Qualität A. Der Versuchsplan entsprach wieder einem vollfaktoriellen Versuchsplan von Typ „2<sup>3</sup>“. Dieser ist im Anhang ersichtlich (Tab. 44).

### 2.7.1. VERSUCHSAUFBAU

Für den Versuchsaufbau wurden die in der Versuchsreihe zur Untersuchung der Maschinenparameter ermittelten optimalen Einstellungen umgesetzt. In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 25) sind die eingestellten Maschinenparameter zusammengefasst. Die Aufgabemasse wurde wieder mit 500 g gewählt.

| Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |             |
| 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 5           |

Tab. 25: Bei der Versuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen eingestellte Maschinenparameter (Qualität B)

### 2.7.2. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Beurteilung des Einflusses der klimatischen Bedingungen auf das Masseausbringen und den Glühverlust des Konzentrates erfolgte erneut über die Berechnung der Mittelwerte und die Durchführung einer Varianzanalyse. Der Einfluss der Hauptfaktoren wird grafisch in Effektdiagrammen dargestellt.

### 2.7.2.1. Beurteilung an Hand der Mittelwerte

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 26) sind die Mittelwerte der Versuchsergebnisse bei der Variation der klimatischen Bedingungen zusammengefasst. Es wurden die Mittelwerte von Glühverlust und Masseausbringen an Konzentrat für die Beurteilung herangezogen. Von den Mittelwerten der Ergebnisse auf den beiden Levels wurde die Differenz gebildet, um eine Aussage über die Größe des Einflusses des Faktors zu erhalten.

Die Versuche, die bei niedriger Umgebungstemperatur und hoher relativer Luftfeuchte durchgeführt wurden, ergaben den niedrigsten Glühverlust des Konzentrates. Den größten Einfluss auf das Masseausbringen hat die Aufgabetemperatur des Rohtalkes, auf den Glühverlust hat sie jedoch keinen Einfluss. Das höchste Masseausbringen wurde bei hoher Aufgabetemperatur erzielt.

|             | A                 |                 | B                   |                 | C                    |                 |
|-------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| Level       | Aufgabetemperatur |                 | Umgebungstemperatur |                 | relative Luftfeuchte |                 |
|             | GLV               | Masseausbringen | GLV                 | Masseausbringen | GLV                  | Masseausbringen |
|             | [%]               | [%]             | [%]                 | [%]             | [%]                  | [%]             |
| -1          | 7,3               | 51,5            | 7,1                 | 54,0            | 7,6                  | 52,8            |
| 1           | 7,3               | 54,5            | 7,6                 | 52,0            | 7,0                  | 53,2            |
| $\Delta$ MW | 0,0               | 3,0             | 0,5                 | -2,0            | -0,6                 | 0,4             |

Tab. 26: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen für die Qualität B

Betrachtet man ausschließlich die relative Luftfeuchte und die Umgebungstemperatur, liefert der Versuch mit hoher relativer Luftfeuchte und hoher Umgebungstemperatur den niedrigsten Glühverlust von 7,0 %.

| relative Luftfeuchte | Umgebungstemperatur | GLV | Masseausbringen |
|----------------------|---------------------|-----|-----------------|
| [%]                  | [°C]                | [%] | [%]             |
| -1                   | -1                  | 7,1 | 55,1            |
|                      | 1                   | 7,1 | 52,8            |
| 1                    | -1                  | 8,1 | 50,4            |
|                      | 1                   | 7,0 | 53,5            |

Tab. 27: : Mittelwerte bei Betrachtung von relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperatur (Qualität B)

Bei der gemeinsamen Betrachtung von Aufgabetemperatur und Umgebungstemperatur lieferten die niedrige Einstellung der beiden Faktoren und die Einstellung bei hoher Umgebungstemperatur und niedriger Aufgabetemperatur den niedrigsten Glühverlust des Konzentrates. Dieser beträgt 7,1 %.

| Umgebungs-<br>temperatur | Aufgabe-<br>temperatur | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|--------------------------|------------------------|-----|----------------------|
| [°C]                     | [°C]                   | [%] | [%]                  |
| -1                       | -1                     | 7,1 | 53,4                 |
|                          | 1                      | 7,6 | 49,6                 |
| 1                        | -1                     | 7,1 | 54,5                 |
|                          | 1                      | 7,6 | 54,4                 |

Tab. 28: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und Umgebungstemperatur (Qualität B)

Betrachtet man die Aufgabetemperatur gemeinsam mit der relativen Luftfeuchte ist ersichtlich, dass der Versuch mit hoher relativer Luftfeuchte und hoher Aufgabetemperatur den niedrigsten Glühverlust von 7,0 % liefert.

| relative<br>Luftfeuchte | Aufgabe-<br>temperatur | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|-------------------------|------------------------|-----|----------------------|
| [%]                     | [°C]                   | [%] | [%]                  |
| -1                      | -1                     | 7,5 | 51,3                 |
|                         | 1                      | 7,1 | 51,6                 |
| 1                       | -1                     | 7,7 | 54,2                 |
|                         | 1                      | 7,0 | 54,7                 |

Tab. 29: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte (Qualität B)

### 2.7.2.2. Beurteilung mittels Varianzanalyse

Für die Untersuchung des Einflusses der einzelnen Faktoren und deren Wechselwirkung wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Die zugehörigen Berechnungen und die Einzelversuchsergebnisse sind im Anhang in Tab. 66 bis Tab. 69 zusammengefasst.

Für die Varianzanalyse wurde ein Vertrauensbereich von 99 % ausgewählt. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass der größte Einfluss auf den Glühverlust des Konzentrates aus der relativen Luftfeuchte und der Wechselwirkung zwischen relativer Luftfeuchte und Aufgabetemperatur des Rohtalkes hervorgeht.

### 2.7.2.3. Effektdiagramme

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Effekt der Faktoren auf den Trennerfolg grafisch dargestellt. Abb. 17 zeigt den Effekt bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates. In Abb. 18 sind die Effekte der Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates dargestellt.

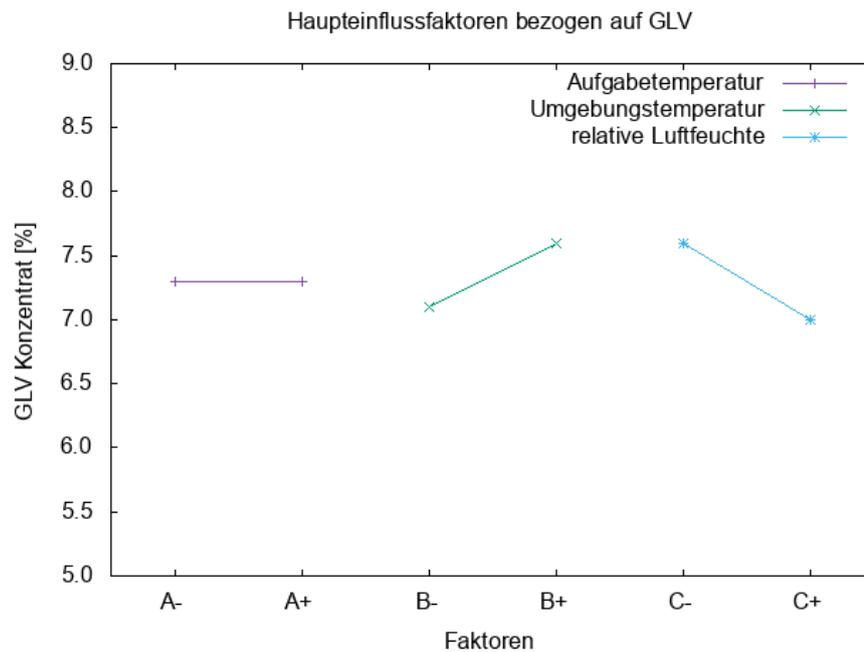


Abb. 17: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates (Qualität B)

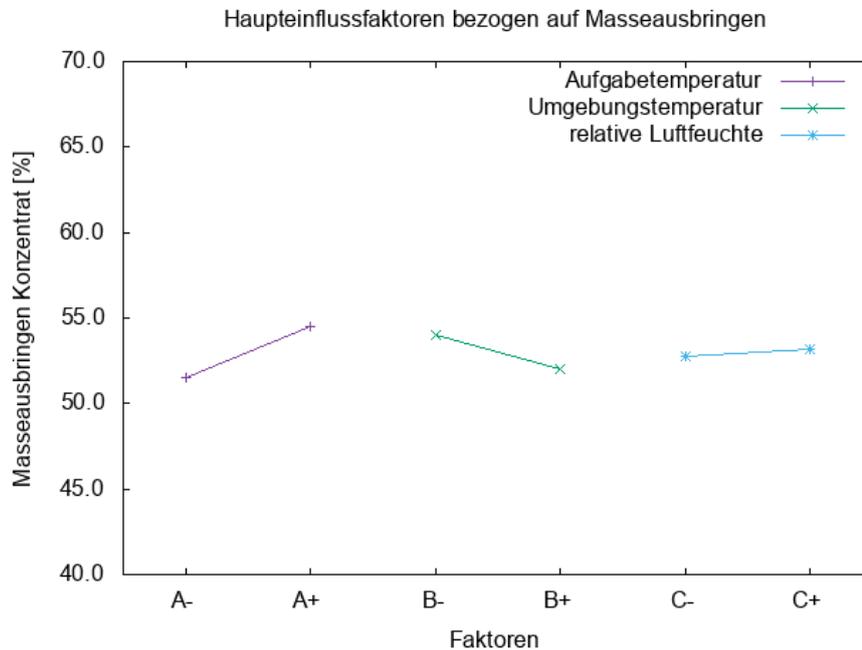


Abb. 18: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität B)

**Resümee:** In dieser Versuchsreihe liefern die Betrachtung von Einzelversuchsergebnissen und die aus den Versuchsergebnissen gebildeten Mittelwerte bei gleichen Faktoreinstellungen nicht immer dieselben Ergebnisse. Daher ist die Auswahl der besten Versuchseinstellung nicht allein durch die durchgeführten Auswertungsmethoden möglich, es werden ebenso die Reproduzierbarkeit, mögliche Genauigkeit der Durchführung und die praktischste Umsetzbarkeit unter realen Bedingungen berücksichtigt. Bei der Betrachtung all dieser Faktoren sind die bestmöglichen klimatischen Bedingungen eine niedrige Umgebungs- und Aufgabtemperatur, kombiniert mit einer hohen relativen Luftfeuchte.

## 2.8. MEHRSTUFIGE VERSUCHE

Um eine Verbesserung der Konzentratqualität zu erzielen bzw. den Talkverlust in den Bergen zu reduzieren wurden mehrstufige Versuche durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Produkte aus einer Grundstufe erneut dem ST Bandscheider aufgegeben.

Für diese Untersuchungen wurde der Rohtalk der Qualität *B* ausgewählt. Die Maschinenparameter am ST Bandscheider wurden gemäß Tab. 25 eingestellt.

### 2.8.1. MEHRSTUFIGER VERSUCH MIT *ROUGHER-* UND *SCAVENGER-STUFE*

Bei dieser Schaltungsvariante wurde der Rohtalk mit dem ST Bandscheider in einer *Rougher-Stufe* in ein Konzentrat (Konzentrat 1) und ein Bergeprodukt (Berge 1) getrennt. Das aus dieser Stufe erhaltene Bergeprodukt (Berge 1) wurde zur Nachreinigung erneut dem ST Bandscheider aufgegeben und in einer *Scavenger-Stufe* nachgereinigt. Das Konzentrat der *Scavenger-Stufe* (Konzentrat 2) wurde gemeinsam mit der Frischaufgabe wiederum der *Rougher-Stufe* zugeführt.

Dieser Ablauf wurde sieben Mal durchgeführt, um zu ermitteln, ob sich ein stabiler Zustand einstellt. Jedes vollständige Durchlaufen des Schaltungsschemas wird als Stufe bezeichnet. Das nachfolgende Fließbild (Abb. 19) zeigt das Schaltungsschema dieses mehrstufigen Versuchs mit den dabei erzeugbaren (Zwischen-)Produkten. Das gesamte Fließbild ist im Anhang in Abb. 28 ersichtlich.

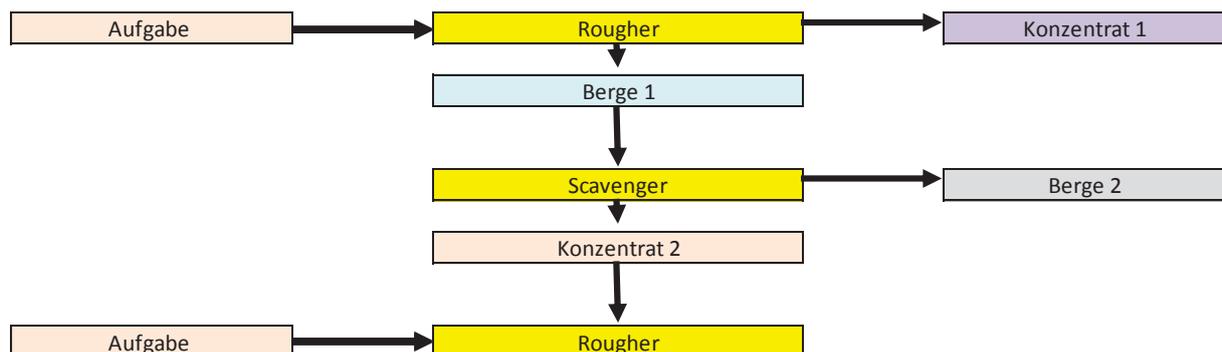


Abb. 19: Schaltungsschema eines mehrstufigen Versuchs mit *Rougher-* und *Scavenger-Stufe*

Aus Abb. 20 lässt sich erkennen, dass der Glühverlust kontinuierlich ansteigt, sich die Konzentratqualität somit zunehmend verschlechtert.

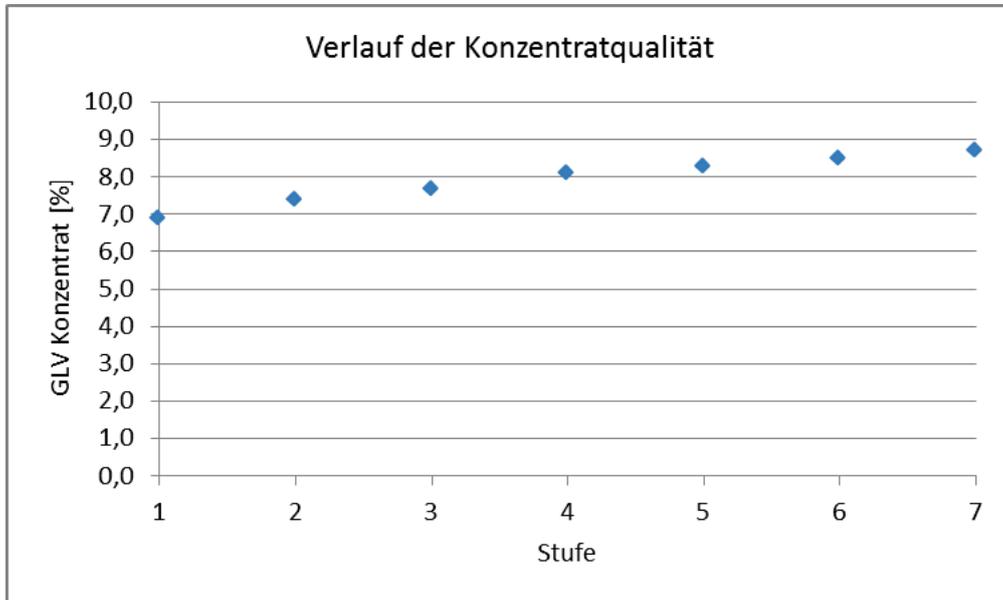


Abb. 20: Verlauf der Konzentratqualität über die sieben Stufen (mehrstufiger Versuch mit *Rougher-* und *Scavenger-Stufe*)

## 2.8.2. MEHRSTUFIGER VERSUCH MIT *ROUGHER-*, *CLEANER-* UND *SCAVENGER-STUFE*

Bei dieser Schaltungsvariante wurde die in Kapitel 2.8.1. beschriebene Schaltungsvariante um eine Nachreinigungsstufe für das Konzentrat ergänzt. Das Konzentrat der *Rougher-Stufe* wird dabei in einer *Cleaner-Stufe* nachgereinigt. Das Bergeprodukt der *Cleaner-Stufe* und das Konzentrat der *Scavenger-Stufe* werden gemeinsam mit Frischaufgabe abermals der *Rougher-Stufe* zugeführt.

Dieser Ablauf wird ebenfalls sieben Mal durchgeführt, um zu ermitteln, ob sich ein stabiler Zustand einstellt. Das nachfolgende Fließbild (Abb. 21) zeigt das Schaltungsschema des mehrstufigen Versuchs mit den dabei erzeugbaren Produkten. Das gesamte Fließbild ist im Anhang in Abb. 29 ersichtlich.

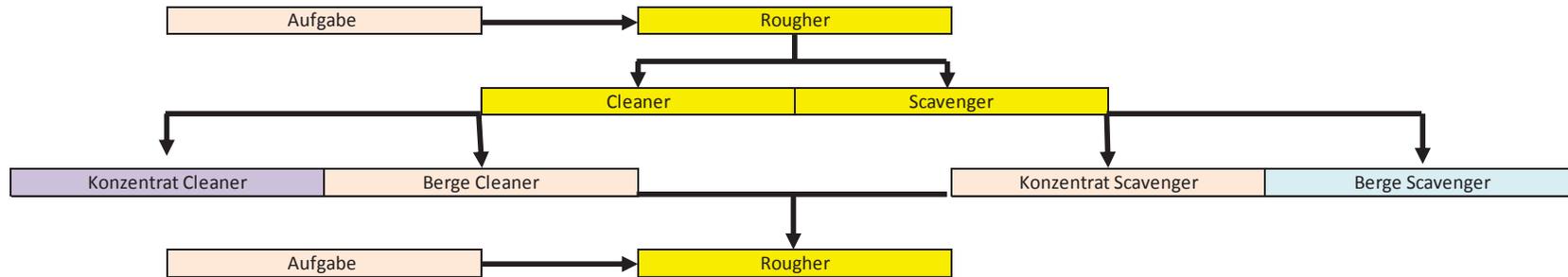


Abb. 21: Schaltungsschema eines mehrstufigen Versuchs mit *Rougher*-, *Cleaner*- und *Scavenger*-Stufe

Aus Abb. 22 geht hervor, dass der Glühverlust des Konzentrates zunächst ansteigt, in der siebten Stufe aber wieder sinkt. Das lässt vermuten, dass sich der Prozess ab dieser Stufe stabilisiert und sich die Konzentratqualität nicht weiter verschlechtert. Durch diese Schaltungsvariante mit einer *Rougher*-, *Cleaner*- und *Scavenger*-Stufe kann ein Konzentrat mit einem Glühverlust von etwa 7,2 % und einem Masseausbringen von 42,4 % erzeugt werden. Das dabei entstehende Bergeprodukt hat einen Glühverlust von 33,2 %.

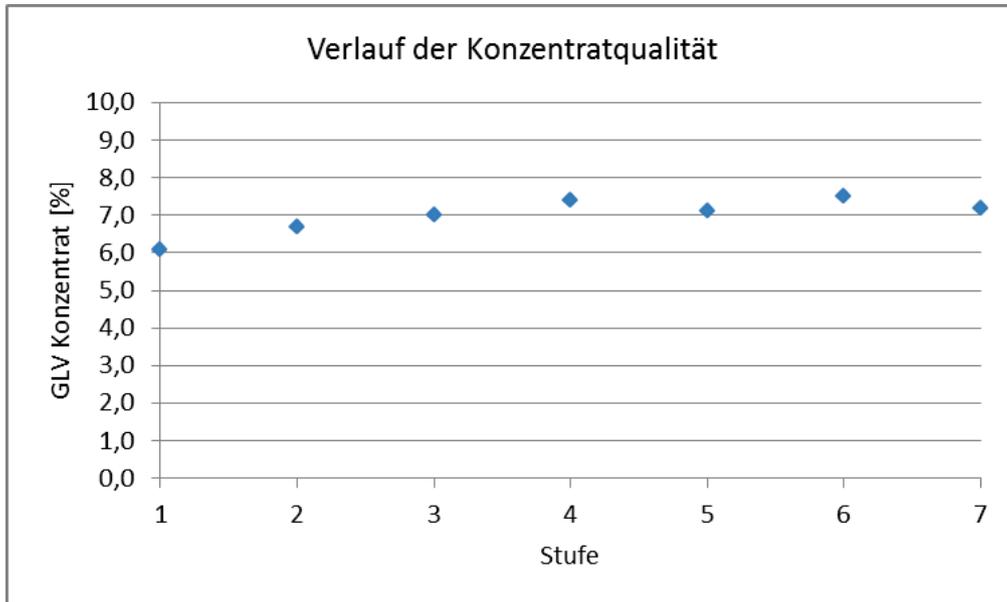


Abb. 22: Verlauf der Konzentratqualität über alle sieben Stufen (mehrstufiger Versuch mit *Rougher*-, *Cleaner*- und *Scavenger*-Stufe)

### 2.8.3. MEHRSTUFIGER VERSUCH MIT *ROUGHER*-, ZWEI *CLEANER*- UND *SCAVENGER*-STUFE

Bei dieser Schaltungsvariante wurde die in Kapitel 2.8.2. beschriebene Schaltungsvariante um eine weitere Nachreinigungsstufe für das Konzentrat ergänzt. Das Konzentrat der *Cleaner*-Stufe 1 wird dabei nochmal auf dem ST Bandscheider in der *Cleaner*-Stufe 2 nachgereinigt. Das Bergeprodukte aus der *Cleaner*-Stufe 1 und das Konzentrat aus dem *Scavenger* werden gemeinsam mit Frischaufgabe dem *Rougher* zugeführt. Das Bergeprodukt aus dem *Cleaner* 2 wird dem *Cleaner* 1 der nächsten Stufe zugeführt.

Dieser Ablauf wird ebenfalls sieben Mal durchgeführt, um zu ermitteln, ob sich ein stabiler Zustand einstellt. Das nachfolgende Fließbild (Abb. 23) zeigt das Schaltungsschema des mehrstufigen Versuchs mit den dabei erzeugbaren Produkten. Das gesamte Fließbild ist im Anhang in Abb. 30 ersichtlich.

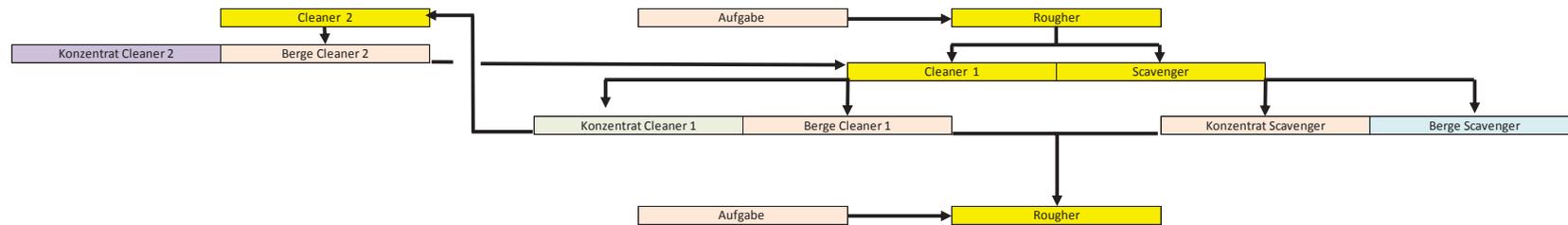


Abb. 23: Schaltungsschema eines mehrstufigen Versuchs mit *Rougher*-, zwei *Cleaner*- und *Scavenger*-Stufe

Aus Abb. 24 geht hervor, dass der Glühverlust des Konzentrates lediglich geringfügig bis hin zur sechsten Stufe ansteigt und sich um etwa 6 % einpendelt. Das lässt vermuten, dass sich die Konzentratqualität nicht weiter verschlechtert und mit dieser Schaltungsvariante – *Rougher*-Stufe, zwei *Cleaner*-Stufen und *Scavenger*-Stufe – ein Konzentrat mit einem Glühverlust von etwa 6,2 % und einem Masseausbringen von 41,4 % erzeugt werden kann. Das dabei entstehende Bergeprodukt hat einen Glühverlust von 34,0 %

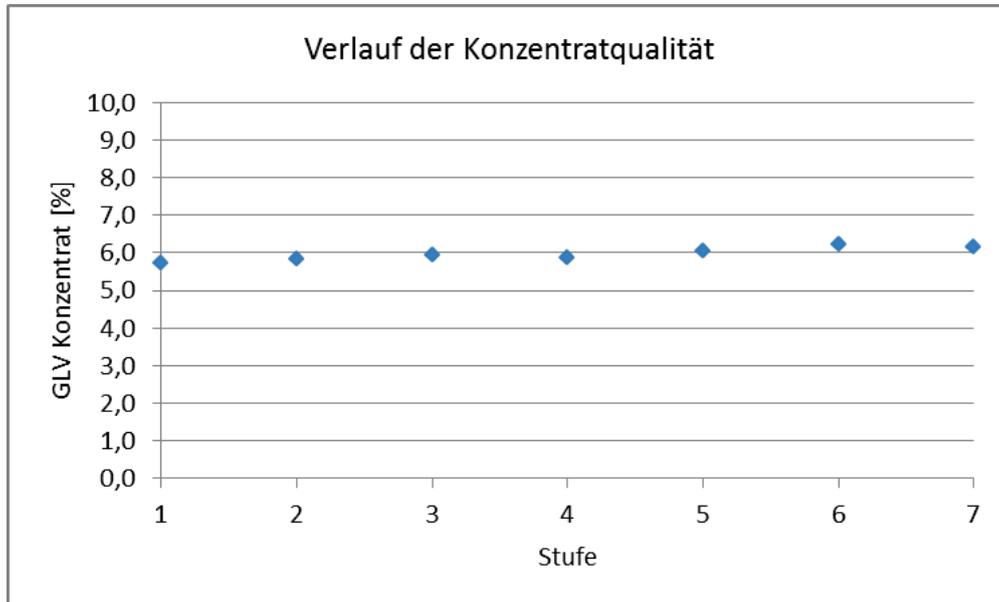


Abb. 24: Verlauf der Konzentratqualität über alle sieben Stufen (mehrstufiger Versuch mit *Rougher-*, zwei *Cleaner-* und *Scavenger-Stufe*)

#### 2.8.4. KORNGRÖßENVERTEILUNG DER PRODUKTE

Bei der siebten Wiederholung (Stufe Nr. 7) des mehrstufigen Versuchs mit der Schaltungsvariante, die aus einer *Rougher-*, *Cleaner-* und *Scavenger-Stufe* bestand, wurden Siebanalysen bei 63, 40 und 25  $\mu\text{m}$  an Konzentrat- und Bergeprodukt durchgeführt. An den erhaltenen Korngrößenklassen wurden der Glühverlust und in weiterer Folge der Talkgehalt, durch eine empirisch ermittelte Formel, berechnet. Die Korngrößenverteilungen der beiden Produkte mit den zugehörigen Glühverlusten und Talkgehalten sind in Tab. 30 und Tab. 31 zusammengefasst.

| Maschenweite      | Fraktion | R     | D    | GLV  | Talkgehalt |
|-------------------|----------|-------|------|------|------------|
| [ $\mu\text{m}$ ] | [%]      | [%]   | [%]  | [%]  | [%]        |
| 63                | 2,7      | 2,7   | 97,3 | 46,2 | 11,8       |
| 40                | 10,7     | 13,4  | 86,6 | 46,6 | 11,0       |
| 25                | 14,3     | 27,7  | 72,3 | 43,7 | 16,9       |
| 0                 | 72,3     | 100,0 | 0,0  | 27,1 | 51,4       |
|                   | 100,0    |       |      |      | 41,1       |

Tab. 30: Korngrößenverteilung und Talkgehalt in den Kornklassen des analysierten Bergeproduktes

| Maschenweite<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Fraktion<br>[%] | R<br>[%] | D<br>[%] | GLV<br>[%] | Talkgehalt<br>[%] |
|-----------------------------------|-----------------|----------|----------|------------|-------------------|
| 63                                | 3,2             | 3,2      | 96,8     | 18,4       | 69,4              |
| 40                                | 9,8             | 13,0     | 87,0     | 8,5        | 90,0              |
| 25                                | 13,3            | 26,3     | 73,7     | 6,3        | 94,7              |
| 0                                 | 73,7            | 100,0    | 0,0      | 7,1        | 92,8              |
|                                   | 100,0           |          |          |            | 92,1              |

Tab. 31: Korngrößenverteilung und Talkgehalt in den Kornklassen des analysierten Konzentrates

In Abb. 25 sind die Korngrößenverteilungen der Produkte im linearen Netz grafisch dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Korngrößenverteilungen annähernd ident verlaufen.

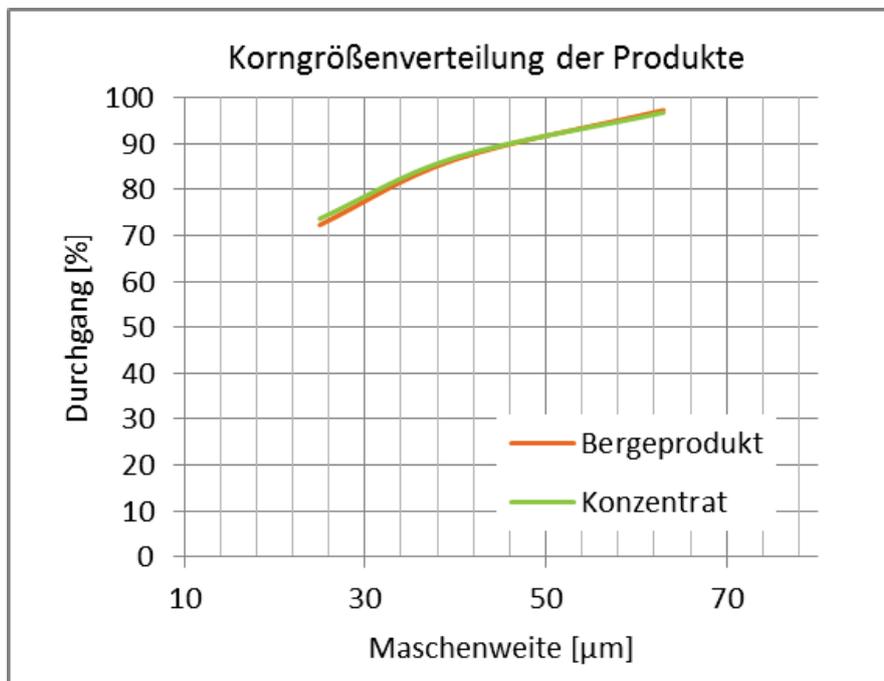


Abb. 25: Korngrößenverteilungen des Bergeproduktes und des Konzentrates im linearen Netz

## 2.8.5. TEILUNGSKURVE

In den durch die Siebanalyse erhaltenen Fraktionen wurden die Glühverluste bestimmt und damit in weiterer Folge die Talkgehalte berechnet. Aus diesen Ergebnissen wurden die Teilungszahlen in den Kornklassen berechnet. Diese Berechnung erfolgte gemäß der Formel [11]:

$$T = \frac{r_{mj} \cdot m_{\mu j}}{m_{\mu 0}} \quad [11]$$

Die konzentratbezogene Teilungskurve ist in der nachfolgenden Abbildung (Abb. 26) dargestellt. Der höchste Talkinhalt in der Aufgabe befindet sich in der Fraktion 25/0  $\mu\text{m}$ . In dieser Kornklasse wird eine konzentratbezogene Teilungszahl von 79,2 % ermittelt. Der Talkverlust im Bergeprodukt ist in dieser Fraktion am höchsten. In der Kornklasse 60/40  $\mu\text{m}$  ergibt sich die größte konzentratbezogene Teilungszahl mit 93,9 %.

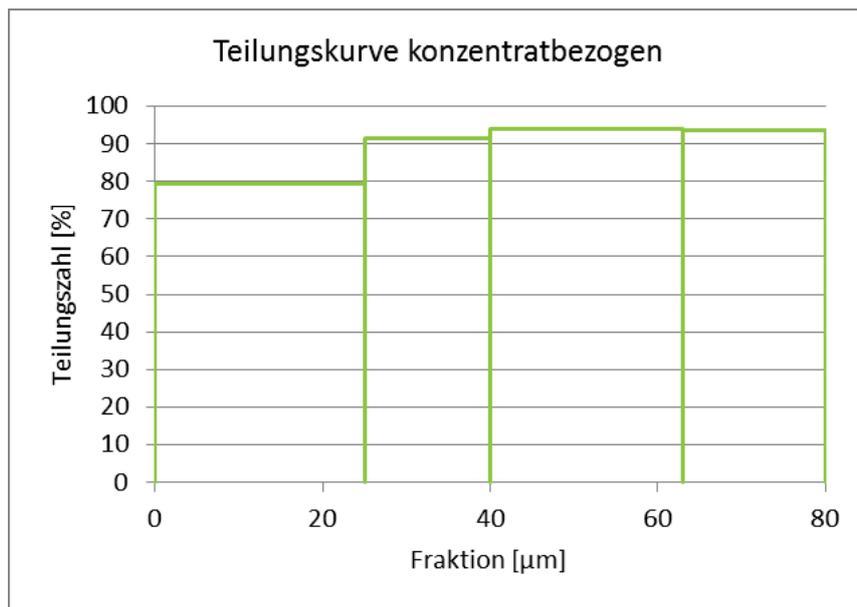


Abb. 26: Teilungskurve bezogen auf das Talkkonzentrat

## RESÜMEE

Die Untersuchungen bezüglich des Einflusses der klimatischen Bedingungen am Hamos Freifallscheider mit dem Rohtalk der Qualität A zeigen eine deutliche Tendenz zur Verschlechterung der Konzentratqualität mit steigender Temperatur und relativer Luftfeuchte. Mit der Erhöhung der relativen Luftfeuchte von 20 auf 60 % geht eine Erhöhung des Glühverlustes um immerhin 6 %-Punkte einher. Steigt die Raumtemperatur von 18 auf 32 °C, erhöht sich ebenfalls der Glühverlust um 1,6 %-Punkte.

Die Einstellung der Maschinenparameter am ST Bandscheider hängt von der eingesetzten Rohgutart und –qualität ab. Bei den beiden untersuchten Rohtalken unterscheiden sich diese nur in einem Punkt, der Aufgaberrate. Die ermittelten Maschinenparameter sind in Tab. 32 zusammengefasst.

| Rohgut     | Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberrate |
|------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|--------------|
|            | [fps]                    | [mm]                   | [kV]                  |           |              |
| Qualität A | 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 10           |
| Qualität B | 35,2                     | 9                      | 6                     | +         | 5            |

Tab. 32: Einstellungen für die Maschinenparameter am ST Bandscheider für die untersuchten Rohtalke zur Erreichung einer hohen Konzentratqualität

Für die Ermittlung der optimalen klimatischen Bedingungen für den Sortierprozess mittels ST Bandscheider wurden drei Parameter betrachtet, Aufgabertemperatur, relative Luftfeuchte und Umgebungstemperatur. Es stellte sich heraus, dass eine Erhöhung der Aufgabertemperatur sich nur in einem sehr geringen Ausmaß auf das Trennergebnis auswirkt. Aufgrund des im ST Bandscheider zum Einsatz gelangenden perforierten Kunststoffbandes darf das Rohgut nur bis ca. 60 °C erhitzt werden, um Schäden am Band hinten zu halten. Bei beiden Rohtalkqualitäten wirken sich eine niedrige Raumtemperatur und eine hohe relative Luftfeuchte in der Umgebung positiv auf den Trennerfolg aus. Bei diesen Bedingungen kann für den Rohtalk der Qualität A ein Glühverlust von 5,6 % und für den Rohtalk der Qualität B ein Glühverlust von 7,1 % erzielt werden.

Um den Talkverlust in den Bergen zu reduzieren, können die Produkte aus einer Grundstufe nachgereinigt werden. Die Schaltungsvariante mit einer *Rougher*-, zwei *Cleaner*- und einer *Scavenger*-Stufe (Abb. 27) ermöglicht die Erzeugung einer marktfähigen Konzentratqualität. So kann aus dem Rohtalk der Qualität *B* ein Konzentrat mit einem Glühverlust von ca. 6,2 % und einem Masseausbringen von 41,4 % erzeugt werden. Das aus dem Prozess entstehende Bergeprodukt hat einen Glühverlust von 34,0 %.

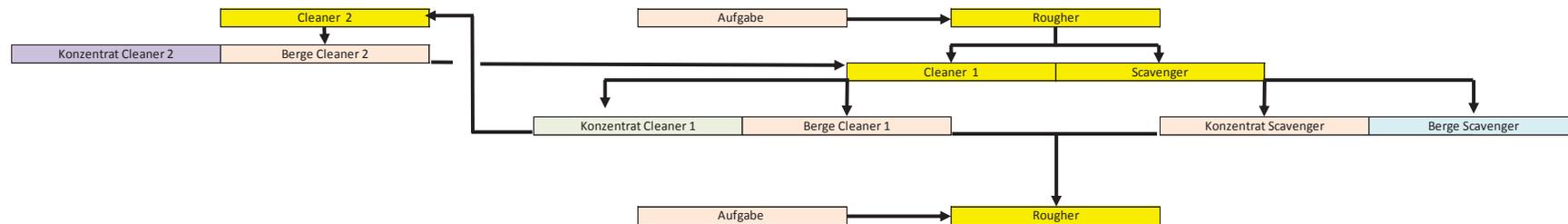


Abb. 27: mehrstufiger Versuch mit *Rougher*-, zwei *Cleaner*-, *Scavenger*-Stufe-

Der Nachweis der prinzipiellen Einsatztauglichkeit des ST Bandscheiders im Korngrößenbereich  $< 100 \mu\text{m}$  an den beiden Rohtalken unterschiedlicher Qualität konnte erbracht werden.

## TABELLENVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1: vollfaktorieller Versuchsplan vom Typ „2 <sup>3</sup> “ .....   | 18 |
| Tab. 2: vollfaktorieller Versuchsplan vom Typ „2 <sup>3</sup> “ mit Wechselwirkungen.....   | 19 |
| Tab. 3: teilfaktorieller Versuchsplan von Typ „2 <sup>4-1</sup> “ .....   | 20 |
| Tab. 4: teilfaktorieller Versuchsplan von Typ „2 <sup>5-1</sup> “ .....   | 22 |
| Tab. 5: Tabellarische Darstellung der Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität A vor der Klassierung .....                        | 28 |
| Tab. 6: Einteilung der Trennprodukte aus den 17 Bechern in Produkte A bis E für die Auswertung ...                                | 30 |
| Tab. 7: Einfluss der klimatischen Bedingungen auf den Glühverlust des Konzentrates .....  | 31 |
| Tab. 8: Einfluss der klimatischen Bedingungen auf das Masseausbringen des Konzentrates .....                                      | 31 |
| Tab. 9: Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität A .....  | 34 |
| Tab. 10: Korngrößenverteilung der Rohtalkqualität B .....   | 34 |
| Tab. 11: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung der Maschinenparameter (Qualität A).....                                    | 38 |
| Tab. 12: Beste Maschineneinstellungen für die Erzielung eines niedrigen Glühverlustes (Qualität A)                                | 38 |
| Tab. 13: Maschineneinstellungen für die Erzielung einer hohen Konzentratqualität (Qualität A) .....                               | 41 |
| Tab. 14: Bei der Versuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen eingestellte Maschinenparameter ..... | 43 |
| Tab. 15: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen (Qualität A).....               | 43 |
| Tab. 16: : Mittelwerte bei Betrachtung von relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperatur (Qualität A) .....                       | 44 |
| Tab. 17: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und Umgebungstemperatur (Qualität A) .....                             | 44 |
| Tab. 18: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte (Qualität A)...                              | 45 |
| Tab. 19: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit (Qualität A).....                                 | 49 |
| Tab. 20: Mittelwerte bei gemeinsamer Betrachtung von Rohtalktemperatur und -feuchte .....   | 49 |
| Tab. 21: Versuchsergebnisse der Tastversuche mit Rohtalk der Qualität B .....   | 52 |
| Tab. 22: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung des Einflusses der Maschinenparameter der Qualität B .....                  | 54 |
| Tab. 23: Bestmögliche Maschineneinstellungen für die Erzielung eines niedrigen Glühverlustes für die Qualität B .....             | 54 |
| Tab. 24: Bestmögliche Maschineneinstellungen für die Erzielung einer hohen Konzentratqualität für die Qualität B .....            | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Tab. 25: Bei der Versuchsreihe zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen eingestellte Maschinenparameter (Qualität B) .....        | 58 |
| Tab. 26: Mittelwerte der Ergebnisse, bei Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen für die Qualität B.....                             | 59 |
| Tab. 27: : Mittelwerte bei Betrachtung von relativer Luftfeuchte und Umgebungstemperatur (Qualität B) .....   | 59 |
| Tab. 28: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und Umgebungstemperatur (Qualität B) .....   | 60 |
| Tab. 29: Mittelwerte bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte (Qualität B)...  | 60 |
| Tab. 30: Korngrößenverteilung und Talkgehalt in den Kornklassen des analysierten Bergeproduktes   | 68 |
| Tab. 31: Korngrößenverteilung und Talkgehalt in den Kornklassen des analysierten Konzentrates ...   | 69 |
| Tab. 32: Einstellungen für die Maschinenparameter am ST Bandscheider für die untersuchten Rohtalke zur Erreichung einer hohen Konzentratqualität..... | 71 |
| Tab. 33: Versuchsplan zur Untersuchung von klimatischen Einflüssen am Hamos Freifallscheider mit Qualität A.....                                      | 83 |
| Tab. 34: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 1 .....   | 83 |
| Tab. 35: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 2 .....   | 84 |
| Tab. 36: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 3 .....   | 84 |
| Tab. 37: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 4 .....   | 84 |
| Tab. 38: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 5 .....   | 85 |
| Tab. 39: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 6 .....   | 85 |
| Tab. 40: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 7 .....   | 85 |
| Tab. 41: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 8 .....   | 86 |
| Tab. 42: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 9 .....   | 86 |
| Tab. 43: Versuchsplan zur Untersuchung der Maschinenparameter am Bandscheider .....   | 87 |
| Tab. 44: Versuchsplan zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen am Bandscheider.....   | 87 |
| Tab. 45: Versuchsplan zur Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit am Bandscheider.....   | 87 |
| Tab. 46: Versuchsplan zu den Tastversuchen am Bandscheider .....  | 88 |
| Tab. 47: Definition der Faktoren für weitere Tabellen .....   | 88 |
| Tab. 48: Mittelwerte der Wechselwirkungen bei Untersuchung der Maschinenparameter (Qualität A)  | 89 |
| Tab. 49: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf GLV (Qualität A) .....                                      | 90 |
| Tab. 50: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf Masseausbringen (Qualität A) .....                          | 90 |

|  |    |
|--|----|
| Tab. 51: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität A)  | 91 |
| Tab. 52: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)  | 91 |
| Tab. 53: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf GLV (Qualität A)             | 92 |
| Tab. 54: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A) | 92 |
| Tab. 55: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität A)  | 92 |
| Tab. 56: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)  | 93 |
| Tab. 57: Wechselwirkungen der Rohtalkbeschaffenheit bezogen auf GLV (Qualität A)   | 93 |
| Tab. 58: Wechselwirkungen der Rohtalkbeschaffenheit bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)   | 93 |
| Tab. 59: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität A)  | 94 |
| Tab. 60: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)  | 94 |
| Tab. 61: Mittelwerte der Wechselwirkungen bei Untersuchung der Maschinenparameter mit (Qualität B)   | 95 |
| Tab. 62: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf GLV (Qualität B)   | 96 |
| Tab. 63: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)   | 96 |
| Tab. 64: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität B)  | 97 |
| Tab. 65: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)  | 97 |
| Tab. 66: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf GLV (Qualität B)             | 98 |
| Tab. 67: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität B) | 98 |
| Tab. 68: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität B)  | 99 |
| Tab. 69: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)  | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 70: Erzeugbare Produktqualitäten.....   | 104 |
| Tab. 71: Siebanalyse der Teilprobe .....   | 106 |
| Tab. 72: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion >2 mm .....                               | 114 |
| Tab. 73: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 2/1 mm .....                              | 114 |
| Tab. 74: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 1/0,5 mm .....                            | 115 |
| Tab. 75: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 0,5/0,2 mm .....                          | 115 |
| Tab. 76: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 0,2/0,1 mm .....                          | 116 |
| Tab. 77: Einstellungen an der <i>Cemtec</i> Vertikalmühle VRM200 AV .....                        | 119 |
| Tab. 78: Tabellarische Darstellung der Korngrößenverteilung des Sichtergrobgutes .....           | 120 |
| Tab. 79: Korngrößenverteilung des Sichterfeingutes .....   | 121 |
| Tab. 80: Korngrößenverteilung der Aufgabe .....  | 122 |
| Tab. 81: Bezeichnung der Trennprodukte.....  | 126 |
| Tab. 82: Tabellarische Übersicht von bei den Versuchen eingestellten Parametern .....            | 129 |
| Tab. 83: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe, direkt nach der Zerkleinerung .....                | 130 |
| Tab. 84: Durchschnittswerte der Ergebnisse bei unterschiedlichen Parametern .....                | 131 |
| Tab. 85: Versuchsergebnisse mit Betrachtung von Zeitpunkt und Aufgabetemperatur.....             | 131 |
| Tab. 86: Versuchsergebnisse mit Betrachtung von Zeitpunkt und relativer Luftfeuchte.....         | 132 |
| Tab. 87: Versuchsergebnisse bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte..... | 132 |
| Tab. 88: Ergebnisse der Versuche 1-4.....  | 133 |
| Tab. 89: Ergebnisse der Versuchen 5-8.....   | 133 |
| Tab. 90: Ergebnisse der Grundstufe der mehrstufigen Versuche .....                               | 135 |
| Tab. 91: Ergebnisse der Nachreinigungsversuche des Konzentrates der Grundstufe .....             | 135 |
| Tab. 92: Ergebnisse der Nachreinigungsversuche des Mittelgutes der Grundstufe .....              | 136 |
| Tab. 93: Ergebnisse der Nachreinigungsversuche des Bergeproduktes der Grundstufe.....            | 136 |
| Tab. 94: Ergebnisse der Versuchsreihe bei verschiedenen Intensitäten .....                       | 137 |
| Tab. 95: Korngrößenverteilung der Produkte A-E .....   | 138 |
| Tab. 96: erzeugbare Produktqualitäten .....  | 140 |
| Tab. 97: Henry-/Reinhardt-Schaubild für die Klasse > 2 mm.....                                   | 142 |
| Tab. 98: Henry-/Reinhardt-Schaubild für die Klasse 2/1 mm.....                                   | 142 |
| Tab. 99: Henry-/Reinhardt-Schaubild für die Klasse 1/0,5 mm.....                                 | 143 |
| Tab. 100: Henry-/Reinhardt Schaubild für die Klasse 0,5/0,2 mm .....                             | 143 |
| Tab. 101: Henry-/Reinhardt Schaubild für die Klasse 0,2/0,1 mm .....                             | 144 |
| Tab. 102: Bilanz zu Versuch Nr. 1 .....  | 145 |
| Tab. 103: Bilanz zu Versuch Nr. 2 .....  | 145 |
| Tab. 104: Bilanz zu Versuch Nr. 3.....   | 146 |
| Tab. 105: Bilanz zu Versuch Nr. 4.....   | 146 |

|   |     |
|---|-----|
| Tab. 106: Bilanz zu Versuch Nr. 5.....                              | 147 |
| Tab. 107: Bilanz zu Versuch Nr. 6.....                              | 147 |
| Tab. 108: Bilanz zu Versuch Nr. 7.....                              | 148 |
| Tab. 109: Bilanz zu Versuch Nr. 8.....                              | 148 |
| Tab. 110: Bilanz zur Grundstufe der mehrstufigen Versuche .....     | 149 |
| Tab. 111: Bilanz zur Nachreinigung des Konzentrates .....           | 150 |
| Tab. 112: Bilanz zur Nachreinigung des Mittelgutes .....            | 151 |
| Tab. 113: Bilanz zur Nachreinigung der Berge .....                  | 151 |
| Tab. 114: Durchsatzversuch bei 40 % Intensität der Vibrorinne ..... | 152 |
| Tab. 115: Durchsatzversuch bei 60 % Intensität der Vibrorinne ..... | 152 |
| Tab. 116: Durchsatzversuch bei 80 % Intensität der Vibrorinne ..... | 153 |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| Abb. 1: Schematische Darstellung des <i>Bändermodells fester Körper</i> (11).....   | 8  |
| Abb. 2: Prinzipskizze eines Plattenscheiders (8) .....  | 10 |
| Abb. 3: Kräfte, die im Trennraum auf ein Korn wirken (13).....  | 11 |
| Abb. 4: Prinzipskizze eines Bandscheiders (13) .....  | 12 |
| Abb. 5: Faktorraum für drei Faktoren mit je zwei Levels (15) .....  | 14 |
| Abb. 6: Grafische Darstellung der Änderung des Qualitätsmerkmals (auf der Ordinate) in Abhängigkeit von der Faktor-Einstellung (auf der Abszisse) .....       | 26 |
| Abb. 7: Blick in den Prozessraum des Hamos Freifallscheiders EMS500 bei geöffneten Türen .....  | 27 |
| Abb. 8: Blick auf die 17 Becher im Trennraum des Hamos Freifallscheiders .....  | 30 |
| Abb. 9: Vorderansicht des ST Bandscheiders X2 .....   | 33 |
| Abb. 10: Korngrößenverteilungen der beiden Rohtalkqualitäten A und B im linearen Netz .....   | 34 |
| Abb. 11: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates .....  | 40 |
| Abb. 12: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität A) .....                                     | 40 |
| Abb. 13: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates .....  | 46 |
| Abb. 14: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität A) .....                                     | 46 |
| Abb. 15: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates .....  | 56 |
| Abb. 16: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität B) .....                                     | 56 |
| Abb. 17: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf den Glühverlust des Konzentrates .....  | 61 |
| Abb. 18: Effektdiagramm für die Haupteinflussfaktoren bezogen auf das Masseausbringen des Konzentrates (Qualität B) .....                                     | 62 |
| Abb. 19: Schaltungsschema eines mehrstufigen Versuchs mit <i>Rougher-</i> und <i>Scavenger-Stufe</i> .....  | 63 |
| Abb. 20: Verlauf der Konzentratqualität über die sieben Stufen (mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher-</i> und <i>Scavenger-Stufe</i> ).....                    | 64 |
| Abb. 21: Schaltungsschema eines mehrstufigen Versuchs mit <i>Rougher-</i> , <i>Cleaner-</i> und <i>Scavenger-</i> Stufe .....                                 | 65 |
| Abb. 22: Verlauf der Konzentratqualität über alle sieben Stufen (mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher-</i> , <i>Cleaner-</i> und <i>Scavenger-Stufe</i> )..... | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| Abb. 23: Schaltungsschema eines mehrstufigen Versuchs mit <i>Rougher</i> -, zwei <i>Cleaner</i> - und <i>Scavenger-Stufe</i> .....                                   | 67  |
| Abb. 24: Verlauf der Konzentratqualität über alle sieben Stufen (mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher</i> -, zwei <i>Cleaner</i> - und <i>Scavenger-Stufe</i> ) ..... | 68  |
| Abb. 25: Korngrößenverteilungen des Bergeproduktes und des Konzentrates im linearen Netz.....  | 69  |
| Abb. 26: Teilungskurve bezogen auf das Talkkonzentrat .....  | 70  |
| Abb. 27: mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher</i> -, zwei <i>Cleaner</i> -, <i>Scavenger-Stufe</i> .....  | 72  |
| Abb. 28: mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher</i> - und <i>Scavenger-Stufe</i> .....  | 100 |
| Abb. 29: mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher</i> -, <i>Cleaner</i> - und <i>Scavenger-Stufe</i> .....  | 101 |
| Abb. 30: mehrstufiger Versuch mit <i>Rougher</i> -, zwei <i>Cleaner</i> - und <i>Scavenger-Stufe</i> .....   | 102 |
| Abb. 31: Sortiervariante und erzeugbare Produkte .....   | 105 |
| Abb. 32: Korngrößenverteilung der Aufgabe im GGS-Netz .....  | 107 |
| Abb. 33: Glühverluste in den Korngrößenklassen.....  | 107 |
| Abb. 34: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion > 2 mm .....  | 109 |
| Abb. 35: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 2/1 mm .....  | 110 |
| Abb. 36: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 1/0,5 mm .....  | 111 |
| Abb. 37: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 0,5/0,2 mm .....  | 112 |
| Abb. 38: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 0,2/0,1mm .....   | 113 |
| Abb. 39: Schematische Darstellung der Prozessschritte in der Cemtec-Vertikalmühle VRM200 AV .  | 117 |
| Abb. 40: Blick auf die Cemtec-Vertikalmühle VRM2 AV .....  | 118 |
| Abb. 41: Aufbereitungsstammbaum der Rohgutvorbereitung im Rahmen des Projektes .....   | 119 |
| Abb. 42: Korngrößenverteilung des Sichtergrobgutes im GGS-Netz.....  | 121 |
| Abb. 43: Korngrößenverteilung des Sichterfeingutes im GGS-Netz .....   | 122 |
| Abb. 44: Korngrößenverteilung der Aufgabe im GGS-Netz .....  | 123 |
| Abb. 45: Fließbild zur Rohgutvorbehandlung .....   | 124 |
| Abb. 46: Blick in die Trennzone des Hamos-Freifallscheiders EMS500 mit eingestellten Bechern ...   | 125 |
| Abb. 47: Versuchsablauf mehrstufige Versuche .....   | 134 |
| Abb. 48: Korngrößenverteilungen der Produkte A-E im linearen Netz .....  | 138 |
| Abb. 49: Teilungskurve der Grundstufe.....   | 139 |
| Abb. 50: Sortierprozess mit erzeugbaren Produkten .....  | 141 |

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|             |   |                           |
|-------------|---|---------------------------|
| Abb.        | → | Abbildung                 |
| Tab.        | → | Tabelle                   |
| Nr.         | → | Nummer                    |
| GLV         | → | Glühverlust               |
| L           | → | Leiter                    |
| NL          | → | Nichtleiter               |
| HL          | → | Halbleiter                |
| MW          | → | Mittelwert                |
| $\Delta$ MW | → | Differenz der Mittelwerte |
| $r_m$       | → | Masseausbringen           |
| R           | → | Rückstand                 |
| D           | → | Durchgang                 |

## QUELLENVERZEICHNIS

1. **International Organizing Committee for the World Mining Congresses.** *World Mining Data.* s.l. : Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, 2016.
2. <http://www.lithos-minerals.at/>.
3. **Mitglieder des Programmbeirates Ressourcentechnologien des BMBF.** *Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland.* Forschungs- und Entwicklungsprogramm des BMBF für neue Rohstofftechnologien : s.n.
4. <http://www.aufbereitung.unileoben.ac.at/>.
5. **Mahmoud M. Ahmed, Galal A. Ibrahim and Mohamed M.A. Hassan .** *Beneficiation of Talc Ore .* Mining and Metallurgical Engineering Department, Faculty of Engineering, Assiut University, Assiut, Mining and Petroleum Engineering Department Faculty of Engineering, Al-Azhar University, Qena, Egypt : s.n.
6. <http://www.imerystalc.com/>.
7. **Baublatt Österreich.** *Voraufbereitung von Talk und Granit aus einer Hand.* März 2017.
8. **Schubert, Heinrich.** *Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe.* Stuttgart : Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1996. Bd. II: Sortierprozesse.
9. **Prof. K. Husemann, Prof. Urs A. Peuke, Dr. Frank Simon, Dr. Edith Reinsch, Dr. Victoria Albrecht .** *Entwicklung und Optimierung von Verfahren zur .* Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (IMVA) Agricolastraße 1, 09596 Freiberg : s.n.
10. **Tipler, Paul A.** *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure.* s.l. : Springer, 2005.
11. **Salzmann, Dr. Wiebke.** <http://www.physik.wissenstexte.de>.
12. **Hamid-Reza Manouchehri.** *Triboelectric Charge Characteristics and Electrical Separation of Industrial Minerals.* s.l. : Department of Chemical and Metallurgical Engineering .
13. **Dr. Mirkowska, Monika.** *Vorlesung zu Theorie der Aufbereitungsprozesse: Insight into electrostatic separation.* 2016.
14. **James D. Bittner, Kyle P. Flynn, and Frank J. Hrach .** *Expanding Applications in Dry Triboelectric Separation of Minerals .* International Mineral Processing Congress - Santiago, Chile : s.n., 2014.



15. **Karl Siebertz, David van Bebber, Thomas Hochkirchen.** *Statistische Versuchsplanung (DoE)*. Berlin Heidelberg : Springer , 2010.
16. **Montgomery, Douglas C.** *Design and Analysis of Experiments*. Wiley (New York NY) : s.n., 1997.
17. **Lehrstuhl für Mathematik und Statistik.** *Statistik*. Montanuniversität Leoben : s.n., 2011.

## ANHANG

### 2.9. FREIFALLSCHEIDER

#### 2.9.1. VERSUCHSPLAN

| Versuch Nr. | Umgebungs-<br>temperatur | relative Luftfeuchte |
|-------------|--------------------------|----------------------|
|             | [°C]                     | [%]                  |
| 1           | 18                       | 20                   |
| 2           |                          | 40                   |
| 3           |                          | 60                   |
| 4           | 25                       | 20                   |
| 5           |                          | 40                   |
| 6           |                          | 60                   |
| 7           | 32                       | 20                   |
| 8           |                          | 40                   |
| 9           |                          | 60                   |

Tab. 33: Versuchsplan zur Untersuchung von klimatischen Einflüssen am Hamos Freifallscheider mit Qualität A

#### 2.9.2. BILANZEN

| 1.) Umgebungstemperatur 18°C, relative Luftfeuchte 23,4% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 23,4  | 5,4  | 96,5       | 2263,1 | 29,1              |
| B  | 12,3  | 8,4  | 90,2       | 1111,3 | 14,3              |
| C  | 31,6  | 9,4  | 88,1       | 2783,8 | 35,8              |
| D  | 16,2  | 21,9 | 62,3       | 1007,3 | 12,9              |
| E  | 16,5  | 33,9 | 37,4       | 616,9  | 7,9               |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7782,3 | 100,0             |

Tab. 34: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 1

| 2.) Umgebungstemperatur 18°C, relative Luftfeuchte 44,9% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 20,4  | 7,2  | 92,7       | 1889,6 | 24,4              |
| B  | 11,8  | 7,3  | 92,6       | 1089,8 | 14,1              |
| C  | 32,9  | 10,8 | 85,4       | 2806,2 | 36,3              |
| D  | 16,0  | 19,1 | 68,1       | 1091,4 | 14,1              |
| E  | 18,9  | 30,2 | 45,1       | 853,5  | 11,0              |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7730,4 | 100,0             |

Tab. 35: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 2

| 3.) Umgebungstemperatur 18°C, relative Luftfeuchte 63,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 18,4  | 9,7  | 87,5       | 1611,8 | 18,1              |
| B  | 12,0  | 10,8 | 85,2       | 1019,8 | 11,4              |
| C  | 35,4  | 13,7 | 79,3       | 2810,9 | 31,5              |
| D  | 25,0  | 17,3 | 71,9       | 1794,2 | 20,1              |
| E  | 25,3  | 19,9 | 66,3       | 1674,5 | 18,8              |
| Summe  | 100,0 |      |            | 8911,2 | 100,0             |

Tab. 36: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 3

| 4.) Umgebungstemperatur 24,5°C, relative Luftfeuchte 17,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 21,3  | 5,2  | 96,8       | 2063,1 | 26,3              |
| B  | 11,8  | 5,8  | 95,6       | 1126,1 | 14,4              |
| C  | 31,5  | 8,9  | 89,1       | 2807,3 | 35,8              |
| D  | 16,7  | 20,2 | 65,7       | 1098,4 | 14,0              |
| E  | 18,7  | 32,7 | 39,8       | 743,9  | 9,5               |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7838,9 | 100,0             |

Tab. 37: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 4

| 5.) Umgebungstemperatur 24,5°C, relative Luftfeuchte 45,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 18,3  | 7,3  | 92,6       | 1694,7 | 21,9              |
| B  | 10,8  | 8,6  | 89,9       | 967,1  | 12,5              |
| C  | 30,5  | 12,1 | 82,5       | 2511,0 | 32,4              |
| D  | 19,6  | 17,4 | 71,6       | 1401,6 | 18,1              |
| E  | 20,9  | 25,0 | 55,7       | 1165,4 | 15,1              |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7739,7 | 100,0             |

Tab. 38: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 5

| 6.) Umgebungstemperatur 26,0°C, relative Luftfeuchte 62,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 14,3  | 11,3 | 84,3       | 1204,1 | 16,0              |
| B  | 11,3  | 12,3 | 82,0       | 923,9  | 12,3              |
| C  | 28,6  | 14,6 | 77,3       | 2211,7 | 29,4              |
| D  | 21,7  | 15,6 | 75,4       | 1636,9 | 21,7              |
| E  | 21,3  | 16,8 | 72,7       | 1550,2 | 20,6              |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7526,7 | 100,0             |

Tab. 39: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 6

| 7.) Umgebungstemperatur 32,5°C, relative Luftfeuchte 18,1% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 21,7  | 5,2  | 96,8       | 2100,7 | 27,2              |
| B  | 11,6  | 5,7  | 95,9       | 1112,1 | 14,4              |
| C  | 30,0  | 8,8  | 89,5       | 2688,9 | 34,8              |
| D  | 17,7  | 20,2 | 65,8       | 1167,2 | 15,1              |
| E  | 18,9  | 35,1 | 34,9       | 660,8  | 8,5               |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7729,7 | 100,0             |

Tab. 40: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 7

| 8.) Umgebungstemperatur 32,0°C, relative Luftfeuchte 42,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 16,9  | 9,5  | 88,0       | 1485,1 | 19,3              |
| B  | 10,5  | 10,8 | 85,2       | 895,1  | 11,6              |
| C  | 29,0  | 14,1 | 78,3       | 2273,2 | 29,5              |
| D  | 21,6  | 16,8 | 72,9       | 1573,7 | 20,4              |
| E  | 22,0  | 19,7 | 66,7       | 1468,8 | 19,1              |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7695,9 | 100,0             |

Tab. 41: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 8

| 9.) Umgebungstemperatur 32,0°C, relative Luftfeuchte 60,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 15,2  | 12,9 | 81,0       | 1229,0 | 15,9              |
| B  | 11,7  | 13,6 | 79,5       | 932,1  | 12,0              |
| C  | 30,6  | 14,7 | 77,2       | 2365,2 | 30,5              |
| D  | 23,2  | 14,9 | 76,7       | 1777,7 | 22,9              |
| E  | 19,4  | 15,9 | 74,7       | 1447,2 | 18,7              |
| Summe  | 100,0 |      |            | 7751,3 | 100,0             |

Tab. 42: Bilanz zu Freifallscheider-Versuch Nr. 9

## 2.10. BANDSCHEIDER

### 2.10.1. VERSUCHSPLÄNE

| Versuch Nr. | Band-<br>geschwindigkeit | Elektroden-<br>abstand | angelegte<br>Spannung | Polarität | Aufgaberate |
|-------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------|
| 1           | -                        | -                      | -                     | -         | +           |
| 2           | -                        | -                      | +                     | -         | -           |
| 3           | +                        | -                      | -                     | -         | -           |
| 4           | +                        | -                      | +                     | -         | +           |
| 5           | -                        | +                      | -                     | -         | -           |
| 6           | -                        | +                      | +                     | -         | +           |
| 7           | +                        | +                      | -                     | -         | +           |
| 8           | +                        | +                      | +                     | -         | -           |
| 9           | -                        | -                      | -                     | +         | -           |
| 10          | -                        | -                      | +                     | +         | +           |
| 11          | +                        | -                      | -                     | +         | +           |
| 12          | +                        | -                      | +                     | +         | -           |
| 13          | -                        | +                      | -                     | +         | +           |
| 14          | -                        | +                      | +                     | +         | -           |
| 15          | +                        | +                      | -                     | +         | -           |
| 16          | +                        | +                      | +                     | +         | +           |

Tab. 43: Versuchsplan zur Untersuchung der Maschinenparameter am Bandscheider

| Versuch Nr. | Aufgabe-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Umgebungs-<br>temperatur |
|-------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1           | -                      | -                       | -                        |
| 2           | +                      | -                       | -                        |
| 3           | -                      | -                       | +                        |
| 4           | +                      | -                       | +                        |
| 5           | -                      | +                       | -                        |
| 6           | +                      | +                       | -                        |
| 7           | -                      | +                       | +                        |
| 8           | +                      | +                       | +                        |

Tab. 44: Versuchsplan zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen am Bandscheider

| Versuch Nr. | Aufgabe-<br>temperatur | Aufgabefeuchte |
|-------------|------------------------|----------------|
| 1           | -                      | +              |
| 2           | -                      | -              |
| 3           | +                      | +              |
| 4           | +                      | -              |

Tab. 45: Versuchsplan zur Untersuchung der Rohtalkbeschaffenheit am Bandscheider

| Versuch Nr. | Aufgabe-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte |
|-------------|------------------------|-------------------------|
| 1           | -                      | +                       |
| 2           | +                      | +                       |
| 3           | -                      | -                       |
| 4           | +                      | -                       |

Tab. 46: Versuchsplan zu den Tastversuchen am Bandscheider

## 2.10.2. VERSUCHSERGEBNISSE UND AUSWERTUNGEN

| Definition der Faktoren für weiter Tabellen |                     |                      |                      |
|---|---------------------|----------------------|----------------------|
| Faktor                                      | Maschinenparameter  | Klimaparameter       | Rohgutbeschaffenheit |
| A   | Bandgeschwindigkeit | Aufgabetemperatur    | Aufgabetemperatur    |
| B   | Elektrodenabstand   | Umgebungstemperatur  | Rohgutfeuchte        |
| C   | Spannung            | relative Luftfeuchte |                      |
| D   | Polarität           |                      |                      |
| E   | Aufgaberate         |                      |                      |

Tab. 47: Definition der Faktoren für weitere Tabellen

| BE | B  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | CD | C  | D  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|----|----|----|-----|----------------------|--|----|----|----|-----|----------------------|
|    | -1 | -1 | 5,9 | 57,3                 |  |    | -1 | -1 | 6,6 | 51,1                 |
|    |    | 1  | 5,9 | 52,6                 |  |    |    | 1  | 6,4 | 59,6                 |
|    | 1  | -1 | 6,1 | 55,8                 |  |    | 1  | -1 | 6,0 | 49,2                 |
|    |    | 1  | 6,9 | 52,5                 |  |    |    | 1  | 5,7 | 58,2                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| CE | C  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | DE | D  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 6,4 | 60,9                 |  |    | -1 | -1 | 6,2 | 49,9                 |
|    |    | 1  | 6,6 | 49,8                 |  |    |    | 1  | 6,4 | 50,5                 |
|    | 1  | -1 | 5,6 | 52,2                 |  |    | 1  | -1 | 5,8 | 63,3                 |
|    |    | 1  | 6,2 | 55,2                 |  |    |    | 1  | 6,3 | 54,6                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| BC | B  | C  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | BD | B  | D  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 6,0 | 56,4                 |  |    | -1 | -1 | 6,1 | 49,9                 |
|    |    | 1  | 5,7 | 53,5                 |  |    |    | 1  | 5,6 | 60,0                 |
|    | 1  | -1 | 7,0 | 54,3                 |  |    | 1  | -1 | 6,5 | 50,5                 |
|    |    | 1  | 6,0 | 54,0                 |  |    |    | 1  | 6,5 | 57,8                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| AC | A  | C  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | AD | A  | D  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 6,4 | 56,3                 |  |    | -1 | -1 | 6,3 | 65,3                 |
|    |    | 1  | 5,7 | 56,7                 |  |    |    | 1  | 5,8 | 47,7                 |
|    | 1  | -1 | 6,6 | 54,5                 |  |    | 1  | -1 | 6,3 | 35,0                 |
|    |    | 1  | 6,0 | 50,7                 |  |    |    | 1  | 6,3 | 70,1                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| AE | A  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | AB | A  | B  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 5,8 | 58,3                 |  |    | -1 | -1 | 5,9 | 56,5                 |
|    |    | 1  | 6,3 | 54,7                 |  |    |    | 1  | 6,2 | 56,5                 |
|    | 1  | -1 | 6,2 | 54,8                 |  |    | 1  | -1 | 5,8 | 53,4                 |
|    |    | 1  | 6,4 | 50,4                 |  |    |    | 1  | 6,8 | 51,8                 |

Tab. 48: Mittelwerte der Wechselwirkungen bei Untersuchung der Maschinenparameter (Qualität A)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | D  | E  | AB | AC | AD | AE | BC | BD | BE | CD | CE | DE | GLV Konzentrat |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Run1           | Run 2 | total |
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | %              | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 6,6            | 5,9   | 12,4  |
| 2              | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 6,0            | 6,2   | 12,2  |
| 3              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 5,5            | 6,8   | 12,4  |
| 4              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 5,8            | 5,7   | 11,5  |
| 5              | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 6,5            | 6,6   | 13,1  |
| 6              | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 7,0            | 5,6   | 12,6  |
| 7              | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 7,4            | 7,2   | 14,6  |
| 8              | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 5,1            | 6,7   | 11,8  |
| 9              | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 5,6            | 5,6   | 11,1  |
| 10             | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 5,6            | 5,6   | 11,2  |
| 11             | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 5,7            | 5,8   | 11,5  |
| 12             | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 5,4            | 5,4   | 10,9  |
| 13             | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 7,3            | 6,8   | 14,1  |
| 14             | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 6,4            | 3,2   | 9,6   |
| 15             | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 6,8            | 7,4   | 14,2  |
| 16             | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 6,9            | 6,9   | 13,8  |

Tab. 49: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf GLV (Qualität A)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | D  | E  | AB | AC | AD | AE | BC | BD | BE | CD | CE | DE | rm Konzentrat |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Run1          | Run 2 | total |
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | %             | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 61,9          | 61,6  | 123,5 |
| 2              | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 60,6          | 59,9  | 120,6 |
| 3              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 43,4          | 39,6  | 83,0  |
| 4              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 37,0          | 34,6  | 71,6  |
| 5              | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 68,0          | 67,9  | 135,9 |
| 6              | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 73,6          | 68,5  | 142,1 |
| 7              | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 33,0          | 33,5  | 66,4  |
| 8              | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 29,8          | 29,4  | 59,2  |
| 9              | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 59,3          | 54,0  | 113,3 |
| 10             | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 45,2          | 48,9  | 94,1  |
| 11             | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 65,6          | 65,7  | 131,3 |
| 12             | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 70,3          | 71,0  | 141,3 |
| 13             | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 37,2          | 40,2  | 77,4  |
| 14             | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 47,5          | 49,2  | 96,6  |
| 15             | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 76,3          | 78,4  | 154,7 |
| 16             | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 67,9          | 65,7  | 133,6 |

Tab. 50: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0  |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|-----|---------------|
| A      | 4,1      | 0,3             | 0,5            | 1,0                | 0,5         | 1,0 | H0 angenommen |
| B      | 10,5     | 0,7             | 3,4            | 1,0                | 3,4         | 6,3 | H0 abgelehnt  |
| C      | -9,9     | -0,6            | 3,1            | 1,0                | 3,1         | 5,6 | H0 abgelehnt  |
| D      | -4,1     | -0,3            | 0,5            | 1,0                | 0,5         | 1,0 | H0 angenommen |
| E      | 6,4      | 0,4             | 1,3            | 1,0                | 1,3         | 2,3 | H0 angenommen |
| AB     | 5,6      | 0,4             | 1,0            | 1,0                | 1,0         | 1,8 | H0 angenommen |
| AC     | 0,4      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0 | H0 angenommen |
| AD     | 4,5      | 0,3             | 0,6            | 1,0                | 0,6         | 1,2 | H0 angenommen |
| AE     | -2,1     | -0,1            | 0,1            | 1,0                | 0,1         | 0,2 | H0 angenommen |
| BC     | -6,5     | -0,4            | 1,3            | 1,0                | 1,3         | 2,4 | H0 angenommen |
| BD     | 3,4      | 0,2             | 0,4            | 1,0                | 0,4         | 0,7 | H0 angenommen |
| BE     | 6,4      | 0,4             | 1,3            | 1,0                | 1,3         | 2,3 | H0 angenommen |
| CD     | -1,1     | -0,1            | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,1 | H0 angenommen |
| CE     | 2,6      | 0,2             | 0,2            | 1,0                | 0,2         | 0,4 | H0 angenommen |
| DE     | 3,1      | 0,2             | 0,3            | 1,0                | 0,3         | 0,6 | H0 angenommen |
| Error  |          |                 | 8,8            | 16,0               | 0,5         | 1,0 |               |
| Total  |          |                 | 22,9           | 31,0               |             |     |               |

Tab. 51: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität A)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0     |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------|---------------|
| A      | -62,3    | -3,9            | 121,4          | 1,0                | 121,4       | 35,4   | H0 abgelehnt  |
| B      | -12,6    | -0,8            | 4,9            | 1,0                | 4,9         | 1,4    | H0 angenommen |
| C      | -26,4    | -1,6            | 21,7           | 1,0                | 21,7        | 6,3    | H0 angenommen |
| D      | 140,2    | 8,8             | 614,0          | 1,0                | 614,0       | 178,8  | H0 abgelehnt  |
| E      | -64,6    | -4,0            | 130,4          | 1,0                | 130,4       | 38,0   | H0 abgelehnt  |
| AB     | -13,9    | -0,9            | 6,0            | 1,0                | 6,0         | 1,8    | H0 angenommen |
| AC     | -33,0    | -2,1            | 34,1           | 1,0                | 34,1        | 9,9    | H0 abgelehnt  |
| AD     | 421,3    | 26,3            | 5547,9         | 1,0                | 5547,9      | 1615,9 | H0 abgelehnt  |
| AE     | -6,0     | -0,4            | 1,1            | 1,0                | 1,1         | 0,3    | H0 angenommen |
| BC     | 20,5     | 1,3             | 13,1           | 1,0                | 13,1        | 3,8    | H0 angenommen |
| BD     | -22,4    | -1,4            | 15,7           | 1,0                | 15,7        | 4,6    | H0 angenommen |
| BE     | 11,0     | 0,7             | 3,8            | 1,0                | 3,8         | 1,1    | H0 angenommen |
| CD     | 4,2      | 0,3             | 0,6            | 1,0                | 0,6         | 0,2    | H0 angenommen |
| CE     | 112,0    | 7,0             | 392,3          | 1,0                | 392,3       | 114,3  | H0 abgelehnt  |
| DE     | -74,6    | -4,7            | 173,8          | 1,0                | 173,8       | 50,6   | H0 abgelehnt  |
| Error  |          |                 | 54,9           | 16,0               | 3,4         | 1,0    |               |
| Total  |          |                 | 7135,7         | 31,0               |             |        |               |

Tab. 52: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | AB | AC | BC | ABC | GLV Konzentrat |       |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|-----|----------------|-------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |     | Run 1          | Run 2 | Run 3 | Total |
|                | °C | °C | %  |    |    |    |     | %              | %     | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1  | 5,5            | 5,5   | 5,5   | 16,6  |
| 2              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1   | 5,8            | 5,8   | 6,0   | 17,6  |
| 3              | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1   | 5,7            | 5,6   | 5,6   | 16,9  |
| 4              | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1  | 5,7            | 5,9   | 5,8   | 17,4  |
| 5              | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1   | 5,5            | 5,5   | 5,8   | 16,8  |
| 6              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1  | 5,6            | 5,6   | 5,6   | 16,7  |
| 7              | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1  | 5,7            | 5,8   | 5,9   | 17,4  |
| 8              | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 5,7            | 5,6   | 5,5   | 16,8  |

Tab. 53: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf GLV (Qualität A)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | AB | AC | BC | ABC | rm Konzentrat |       |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|-----|---------------|-------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |     | Run 1         | Run 2 | Run 3 | Total |
|                | °C | °C | %  |    |    |    |     | %             | %     | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1  | 57,0          | 57,0  | 59,0  | 173,8 |
| 2              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1   | 57,0          | 55,0  | 56,0  | 168,3 |
| 3              | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1   | 58,0          | 59,0  | 59,0  | 176,7 |
| 4              | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1  | 62,0          | 61,0  | 59,0  | 181,3 |
| 5              | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1   | 55,0          | 56,0  | 57,0  | 168,8 |
| 6              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1  | 58,0          | 58,0  | 58,0  | 173,2 |
| 7              | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1  | 57,0          | 58,0  | 56,0  | 170,6 |
| 8              | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 56,0          | 55,0  | 57,0  | 168,1 |

Tab. 54: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0   |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|------|---------------|
| A      | 0,8      | 0,1             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 3,9  | H0 angenommen |
| B      | 0,8      | 0,1             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 3,4  | H0 angenommen |
| C      | -0,7     | -0,1            | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 2,6  | H0 angenommen |
| AB     | -1,0     | -0,1            | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 5,2  | H0 angenommen |
| AC     | -2,3     | -0,2            | 0,2            | 1,0                | 0,2         | 29,4 | H0 abgelehnt  |
| BC     | 0,5      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 1,2  | H0 angenommen |
| ABC    | 0,0      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0  | H0 angenommen |
| Error  |          |                 | 0,1            | 16,0               | 0,0         | 1,0  |               |
| Total  |          |                 | 0,5            | 23,0               |             |      |               |

Tab. 55: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität A)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0   |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|------|---------------|
| A      | 0,8      | 0,1             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0  | H0 angenommen |
| B      | 12,6     | 1,1             | 6,6            | 1,0                | 6,6         | 7,5  | H0 angenommen |
| C      | -19,3    | -1,6            | 15,6           | 1,0                | 15,6        | 17,6 | H0 abgelehnt  |
| AB     | 3,2      | 0,3             | 0,4            | 1,0                | 0,4         | 0,5  | H0 angenommen |
| AC     | 2,8      | 0,2             | 0,3            | 1,0                | 0,3         | 0,4  | H0 angenommen |
| BC     | -19,2    | -1,6            | 15,4           | 1,0                | 15,4        | 17,4 | H0 abgelehnt  |
| ABC    | -17,1    | -1,4            | 12,2           | 1,0                | 12,2        | 13,8 | H0 abgelehnt  |
| Error  |          |                 | 14,1           | 16,0               | 0,9         | 1,0  |               |
| Total  |          |                 | 64,7           | 23,0               |             |      |               |

Tab. 56: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)

| Versuch Nr. | A  | B  | AB | GLV Konzentrat |       |       |       |
|-------------|----|----|----|----------------|-------|-------|-------|
|             |    |    |    | Run 1          | Run 2 | Run 3 | Total |
|             | °C | %  |    | %              | %     | %     | %     |
| 1           | -1 | -1 | 1  | 5,6            | 5,5   | 5,5   | 16,7  |
| 2           | 1  | -1 | -1 | 5,8            | 5,9   | 5,9   | 17,6  |
| 3           | -1 | 1  | -1 | 5,5            | 5,4   | 5,6   | 16,5  |
| 4           | 1  | 1  | 1  | 5,8            | 6,0   | 6,1   | 17,9  |

Tab. 57: Wechselwirkungen der Rohtalkbeschaffenheit bezogen auf GLV (Qualität A)

| Versuch Nr. | A  | B  | AB | rm Konzentrat |       |       |       |
|-------------|----|----|----|---------------|-------|-------|-------|
|             |    |    |    | Run 1         | Run 2 | Run 3 | Total |
|             | °C | %  |    | %             | %     | %     | %     |
| 1           | -1 | -1 | 1  | 49,6          | 49,7  | 49,5  | 148,8 |
| 2           | 1  | -1 | -1 | 48,3          | 47,3  | 48,6  | 144,3 |
| 3           | -1 | 1  | -1 | 49,7          | 50,5  | 50,4  | 150,6 |
| 4           | 1  | 1  | 1  | 46,5          | 46,9  | 47,5  | 140,8 |

Tab. 58: Wechselwirkungen der Rohtalkbeschaffenheit bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0   |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|------|---------------|
| A      | 2,3      | 0,4             | 0,4            | 1,0                | 0,4         | 50,5 | H0 abgelehnt  |
| B      | 0,2      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,3  | H0 angenommen |
| AB     | 0,5      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 2,2  | H0 angenommen |
| Error  |          |                 | 0,1            | 8,0                | 0,0         | 1,0  |               |
| Total  |          |                 | 0,5            | 11,0               |             |      |               |

Tab. 59: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität A)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0   |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|------|---------------|
| A      | -14,2    | -2,4            | 16,8           | 1,0                | 16,8        | 73,6 | H0 abgelehnt  |
| B      | -1,7     | -2,4            | 0,2            | 1,0                | 0,2         | 1,0  | H0 angenommen |
| AB     | -5,2     | -0,3            | 2,3            | 1,0                | 2,3         | 9,9  | H0 abgelehnt  |
| Error  |          |                 | 1,8            | 8,0                | 0,2         | 1,0  |               |
| Total  |          |                 | 21,1           | 11,0               |             |      |               |

Tab. 60: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität A)

| BE | B  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | CD | C  | D  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|----|----|----|-----|----------------------|--|----|----|----|-----|----------------------|
|    | -1 | -1 | 7,3 | 50,0                 |  |    | -1 | -1 | 7,9 | 55,7                 |
|    |    | 1  | 7,6 | 49,7                 |  |    |    | 1  | 7,0 | 44,0                 |
|    | 1  | -1 | 8,1 | 52,1                 |  |    | 1  | -1 | 9,0 | 62,0                 |
|    |    | 1  | 8,7 | 49,5                 |  |    |    | 1  | 7,8 | 39,6                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| CE | C  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | DE | D  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 8,0 | 52,1                 |  |    | -1 | -1 | 9,5 | 69,2                 |
|    |    | 1  | 8,3 | 47,1                 |  |    |    | 1  | 6,8 | 33,5                 |
|    | 1  | -1 | 7,4 | 50,0                 |  |    | 1  | -1 | 7,4 | 48,5                 |
|    |    | 1  | 8,0 | 52,0                 |  |    |    | 1  | 8,0 | 50,0                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| BC | B  | C  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | BD | B  | D  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 7,6 | 50,2                 |  |    | -1 | -1 | 7,9 | 50,9                 |
|    |    | 1  | 7,2 | 49,5                 |  |    |    | 1  | 8,5 | 51,9                 |
|    | 1  | -1 | 8,7 | 49,1                 |  |    | 1  | -1 | 7,0 | 48,8                 |
|    |    | 1  | 8,1 | 52,6                 |  |    |    | 1  | 8,3 | 49,8                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| AC | A  | C  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | AD | A  | D  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 8,2 | 48,4                 |  |    | -1 | -1 | 3,9 | 27,9                 |
|    |    | 1  | 8,1 | 54,4                 |  |    |    | 1  | 3,5 | 22,0                 |
|    | 1  | -1 | 8,2 | 50,9                 |  |    | 1  | -1 | 4,5 | 31,0                 |
|    |    | 1  | 7,2 | 47,7                 |  |    |    | 1  | 3,9 | 19,8                 |
|    |    |    |     |                      |  |    |    |    |     |                      |
| AE | A  | E  | GLV | Masse-<br>ausbringen |  | AB | A  | B  | GLV | Masse-<br>ausbringen |
|    | -1 | -1 | 8,1 | 53,0                 |  |    | -1 | -1 | 4,8 | 34,6                 |
|    |    | 1  | 8,3 | 49,7                 |  |    |    | 1  | 3,4 | 16,8                 |
|    | 1  | -1 | 7,3 | 49,1                 |  |    | 1  | -1 | 3,7 | 24,3                 |
|    |    | 1  | 8,0 | 49,4                 |  |    |    | 1  | 4,0 | 25,0                 |

Tab. 61: Mittelwerte der Wechselwirkungen bei Untersuchung der Maschinenparameter mit (Qualität B)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | D  | E  | AB | AC | AD | AE | BC | BD | BE | CD | CE | DE | GLV Konzentrat |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Run1           | Run 2 | total |
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | %              | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 8,8            | 9,3   | 18,1  |
| 2              | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 9,3            | 8,8   | 18,0  |
| 3              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 6,7            | 6,6   | 13,4  |
| 4              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 6,6            | 6,8   | 13,4  |
| 5              | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 9,2            | 10,4  | 19,6  |
| 6              | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 9,4            | 10,8  | 20,2  |
| 7              | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 8,8            | 9,2   | 18,1  |
| 8              | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 7,1            | 6,8   | 13,9  |
| 9              | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 6,7            | 6,8   | 13,5  |
| 10             | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 6,6            | 6,5   | 13,1  |
| 11             | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 8,1            | 7,8   | 16,0  |
| 12             | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 6,7            | 6,6   | 13,3  |
| 13             | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 7,2            | 7,2   | 14,4  |
| 14             | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 6,9            | 6,7   | 13,6  |
| 15             | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 8,7            | 8,9   | 17,6  |
| 16             | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 8,5            | 8,3   | 16,8  |

Tab. 62: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf GLV (Qualität B)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | D  | E  | AB | AC | AD | AE | BC | BD | BE | CD | CE | DE | rm Konzentrat |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Run1          | Run 2 | total |
|                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | %             | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 64,7          | 64,4  | 129,2 |
| 2              | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 62,9          | 65,1  | 128,0 |
| 3              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 48,2          | 47,3  | 95,5  |
| 4              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 45,8          | 47,0  | 92,8  |
| 5              | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 70,8          | 71,2  | 142,0 |
| 6              | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 78,1          | 76,2  | 154,3 |
| 7              | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 54,5          | 52,0  | 106,5 |
| 8              | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 47,8          | 45,2  | 93,0  |
| 9              | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 39,1          | 36,6  | 75,7  |
| 10             | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 36,3          | 37,8  | 74,1  |
| 11             | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 50,0          | 51,1  | 101,1 |
| 12             | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 51,3          | 49,3  | 100,6 |
| 13             | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | 20,9          | 19,3  | 40,2  |
| 14             | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 39,5          | 38,8  | 78,3  |
| 15             | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 51,9          | 51,7  | 103,6 |
| 16             | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 45,9          | 48,8  | 94,8  |

Tab. 63: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Maschinenparameter bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0    |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|-------|---------------|
| A      | -8,2     | -0,5            | 2,1            | 1,0                | 2,1         | 14,8  | H0 abgelehnt  |
| B      | 15,5     | 1,0             | 7,5            | 1,0                | 7,5         | 53,1  | H0 abgelehnt  |
| C      | -8,4     | -0,5            | 2,2            | 1,0                | 2,2         | 15,8  | H0 abgelehnt  |
| D      | -16,4    | -1,0            | 8,4            | 1,0                | 8,4         | 59,6  | H0 abgelehnt  |
| E      | 7,2      | 0,4             | 1,6            | 1,0                | 1,6         | 11,4  | H0 abgelehnt  |
| AB     | 5,2      | 0,3             | 0,9            | 1,0                | 0,9         | 6,1   | H0 angenommen |
| AC     | -7,0     | -0,4            | 1,5            | 1,0                | 1,5         | 10,8  | H0 abgelehnt  |
| AD     | 26,3     | 1,6             | 21,6           | 1,0                | 21,6        | 153,5 | H0 abgelehnt  |
| AE     | 4,9      | 0,3             | 0,7            | 1,0                | 0,7         | 5,3   | H0 angenommen |
| BC     | -2,2     | -0,1            | 0,1            | 1                  | 0,1         | 1     | H0 angenommen |
| BD     | -2,3     | -0,1            | 0,2            | 1,0                | 0,2         | 1,2   | H0 angenommen |
| BE     | 2,3      | 0,1             | 0,2            | 1,0                | 0,2         | 1,1   | H0 angenommen |
| CD     | -1,0     | -0,1            | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,2   | H0 angenommen |
| CE     | 2,1      | 0,1             | 0,1            | 1,0                | 0,1         | 1,0   | H0 angenommen |
| DE     | -2,6     | -0,2            | 0,2            | 1,0                | 0,2         | 1,5   | H0 angenommen |
| Error  |          |                 | 2,3            | 16,0               | 0,1         | 1,0   |               |
| Total  |          |                 | 49,6           | 31,0               |             |       |               |

Tab. 64: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität B)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0     |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|--------|---------------|
| A      | -33,7    | -2,1            | 35,5           | 1,0                | 35,5        | 22,8   | H0 abgelehnt  |
| B      | 15,8     | 1,0             | 7,8            | 1,0                | 7,8         | 5,0    | H0 angenommen |
| C      | 22,1     | 1,4             | 15,2           | 1,0                | 15,2        | 9,8    | H0 abgelehnt  |
| D      | -272,9   | -17,1           | 2327,9         | 1,0                | 2327,9      | 1491,7 | H0 abgelehnt  |
| E      | -23,9    | -1,5            | 17,8           | 1,0                | 17,8        | 11,4   | H0 abgelehnt  |
| AB     | 0,1      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0    | H0 angenommen |
| AC     | -73,2    | -4,6            | 167,3          | 1,0                | 167,3       | 107,2  | H0 abgelehnt  |
| AD     | 297,6    | 18,6            | 2767,2         | 1,0                | 2767,2      | 1773,2 | H0 abgelehnt  |
| AE     | 28,7     | 1,8             | 25,8           | 1,0                | 25,8        | 16,5   | H0 abgelehnt  |
| BC     | 33,9     | 2,1             | 35,8           | 1                  | 35,8        | 23     | H0 abgelehnt  |
| BD     | -85,0    | -5,3            | 225,8          | 1,0                | 225,8       | 144,7  | H0 abgelehnt  |
| BE     | -18,4    | -1,2            | 10,6           | 1,0                | 10,6        | 6,8    | H0 angenommen |
| CD     | 32,3     | 2,0             | 32,5           | 1,0                | 32,5        | 20,8   | H0 abgelehnt  |
| CE     | 55,7     | 3,5             | 97,0           | 1,0                | 97,0        | 62,1   | H0 abgelehnt  |
| DE     | -72,4    | -4,5            | 163,7          | 1,0                | 163,7       | 104,9  | H0 abgelehnt  |
| Error  |          |                 | 25,0           | 16,0               | 1,6         | 1,0    |               |
| Total  |          |                 | 5955,0         | 31,0               |             |        |               |

Tab. 65: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | AB | AC | BC | ABC | Glühverlust Konzentrat |       |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|-----|------------------------|-------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |     | Run 1                  | Run 2 | Run 3 | Total |
|                | °C | °C | %  |    |    |    |     | %                      | %     | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1  | 7,0                    | 7,0   | 7,0   | 21,1  |
| 2              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1   | 7,5                    | 7,8   | 8,9   | 24,2  |
| 3              | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1   | 7,1                    | 7,3   | 7,2   | 21,6  |
| 4              | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1  | 8,0                    | 8,3   | 8,3   | 24,7  |
| 5              | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1   | 7,2                    | 7,0   | 7,1   | 21,4  |
| 6              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1  | 7,0                    | 7,1   | 7,1   | 21,1  |
| 7              | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1  | 7,0                    | 7,5   | 6,6   | 21,1  |
| 8              | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 6,6                    | 7,0   | 7,2   | 20,8  |

Tab. 66: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf GLV (Qualität B)

| Versuch<br>Nr. | A  | B  | C  | AB | AC | BC | ABC | rm Konzentrat |       |       |       |
|----------------|----|----|----|----|----|----|-----|---------------|-------|-------|-------|
|                |    |    |    |    |    |    |     | Run 1         | Run 2 | Run 3 | Total |
|                | °C | °C | %  |    |    |    |     | %             | %     | %     | %     |
| 1              | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | -1  | 56,3          | 53,5  | 56,0  | 165,8 |
| 2              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1   | 48,7          | 47,8  | 45,3  | 141,8 |
| 3              | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | -1 | 1   | 54,9          | 54,4  | 55,6  | 164,9 |
| 4              | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | -1  | 54,9          | 52,8  | 53,0  | 160,6 |
| 5              | -1 | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1   | 53,5          | 51,5  | 49,3  | 154,3 |
| 6              | 1  | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 | -1  | 50,3          | 52,2  | 53,0  | 155,5 |
| 7              | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  | -1  | 59,6          | 52,3  | 50,5  | 162,4 |
| 8              | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 56,0          | 56,4  | 53,3  | 165,6 |

Tab. 67: Wechselwirkungen und Einzelversuchsergebnisse der Versuchsreife zur Untersuchung des Einflusses der klimatischen Bedingungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0   |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|------|---------------|
| A      | 5,7      | 0,5             | 1,3            | 1,0                | 1,3         | 11,3 | H0 abgelehnt  |
| B      | 0,4      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0  | H0 angenommen |
| C      | -7,2     | -0,6            | 2,1            | 1,0                | 2,1         | 18,1 | H0 abgelehnt  |
| AB     | -0,2     | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0  | H0 angenommen |
| AC     | -6,7     | -0,6            | 1,9            | 1,0                | 1,9         | 15,7 | H0 abgelehnt  |
| BC     | -1,7     | -0,1            | 0,1            | 1,0                | 0,1         | 1,0  | H0 angenommen |
| ABC    | 0,0      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0  | H0 angenommen |
| Error  |          |                 | 1,9            | 16,0               | 0,1         |      |               |
| Total  |          |                 | 7,4            | 23,0               |             |      |               |

Tab. 68: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf GLV (Qualität B)

| Factor | Contrast | Effect Estimate | Sum of Squares | Degrees of freedom | Mean Square | F0   |               |
|--------|----------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|------|---------------|
| A      | -23,8    | -2,0            | 23,6           | 1,0                | 23,6        | 4,8  | H0 angenommen |
| B      | 36,0     | 3,0             | 53,9           | 1,0                | 53,9        | 10,9 | H0 abgelehnt  |
| C      | 4,8      | 0,4             | 0,9            | 1,0                | 0,9         | 0,2  | H0 angenommen |
| AB     | 21,8     | 1,8             | 19,8           | 1,0                | 19,8        | 4,0  | H0 angenommen |
| AC     | 32,6     | 2,7             | 44,2           | 1,0                | 44,2        | 8,9  | H0 abgelehnt  |
| BC     | 0,2      | 0,0             | 0,0            | 1,0                | 0,0         | 0,0  | H0 angenommen |
| ABC    | -17,8    | -1,5            | 13,2           | 1,0                | 13,2        | 2,7  | H0 angenommen |
| Error  |          |                 | 79,2           | 16,0               | 4,9         |      |               |
| Total  |          |                 | 234,8          | 23,0               |             |      |               |

Tab. 69: Berechnung der Haupteinflussfaktoren und Wechselwirkungen bezogen auf Masseausbringen (Qualität B)

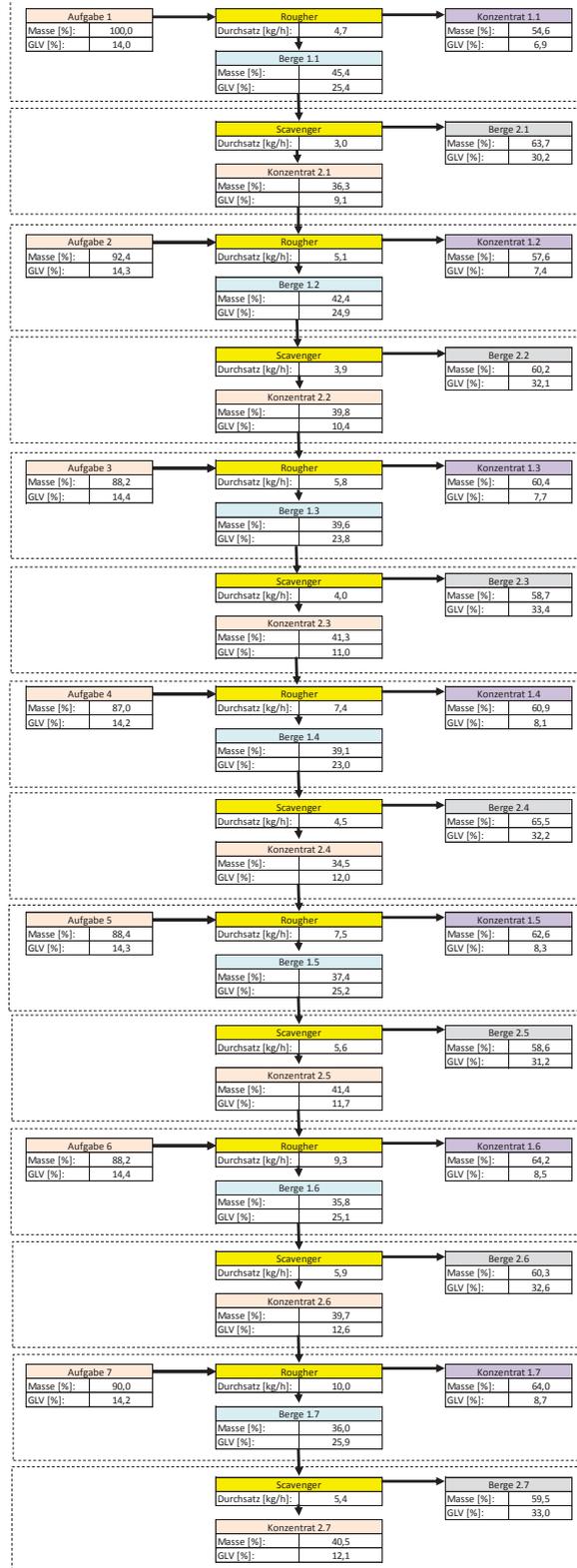


Abb. 28: mehrstufiger Versuch mit *Rougher*- und *Scavenger*-Stufe

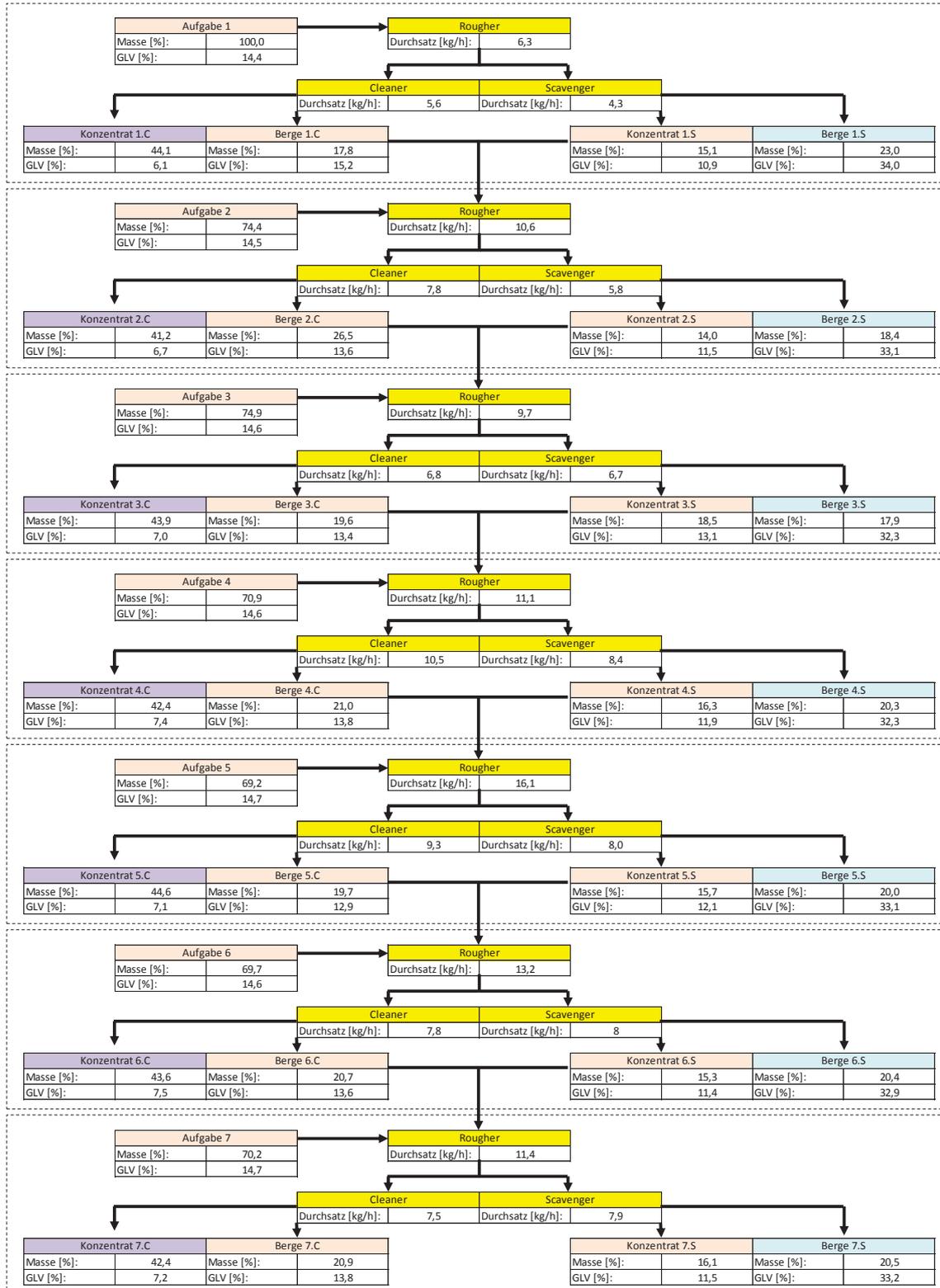


Abb. 29: mehrstufiger Versuch mit *Rougher*-, *Cleaner*- und *Scavenger*-Stufe

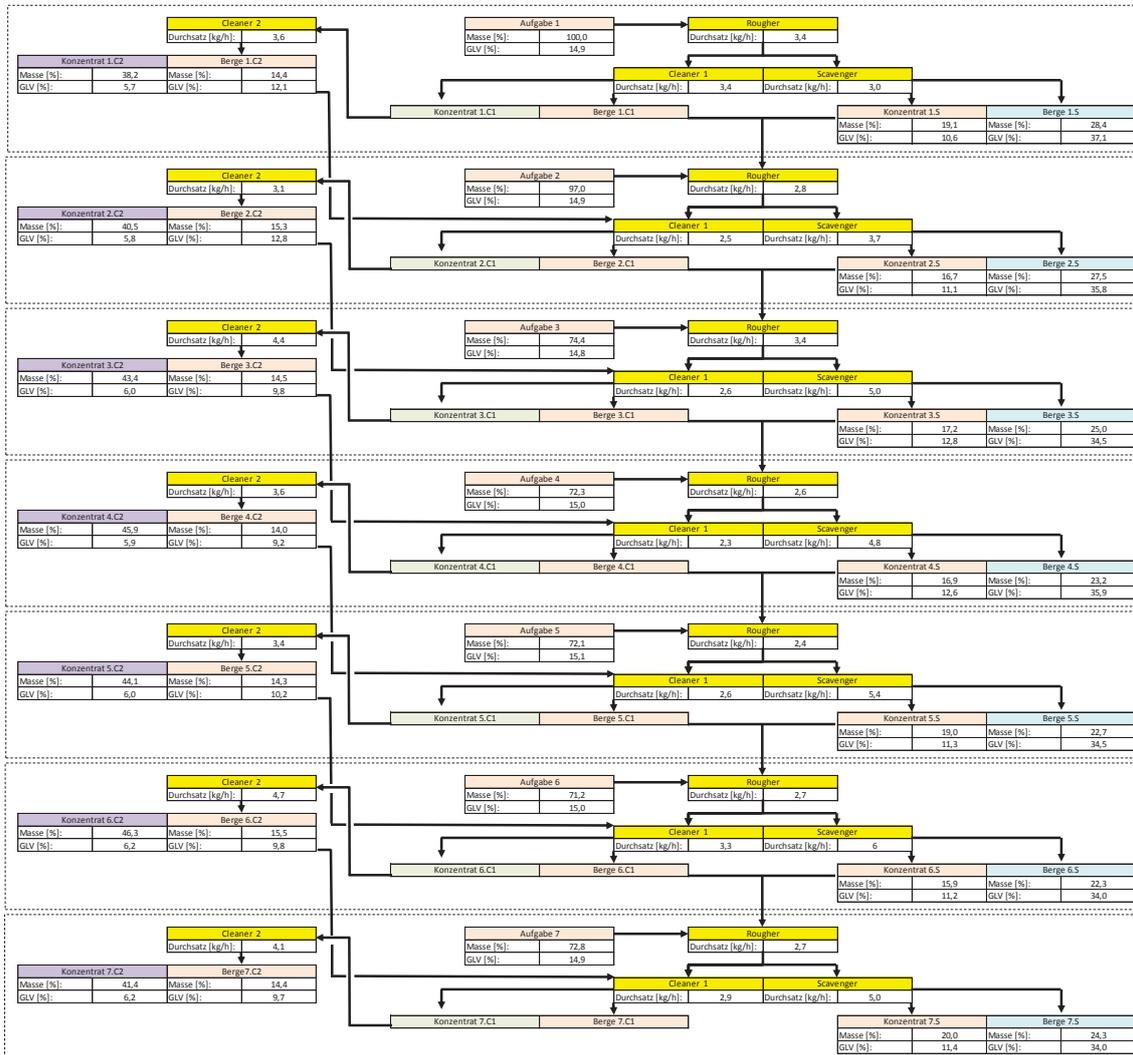


Abb. 30: mehrstufiger Versuch mit *Rougher*-, zwei *Cleaner*- und *Scavenger*-Stufe

## PROJEKTSTUDIE

### 1. AUFGABENSTELLUNG

Auf Basis von bisher am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung durchgeführten Untersuchungen im Rahmen des Dissertations-Projekts Luckeneder (Quartalbericht 04/2016) zur Sortierung einer mittleren Rohtalkqualität (etwa 75 % Talk) werden Versuche mit einem talkärmeren Rohgut mit etwa 60 bis 65 % Talk durchgeführt. Nach Trocknung und Beprobung des Rohgutes erfolgt die Aufgabe auf die *Cemtec* Vertikalmühle VRM 200 der Firma *CEMTEC Cement & Mining Technology GmbH (Cemtec)*. Ziel ist die Zerkleinerung des Rohgutes von  $< 7$  mm auf  $< 300$   $\mu\text{m}$  unter der Voraussetzung eines möglichst großen Anteils  $> 63$   $\mu\text{m}$  im Zerkleinerungsprodukt. In einem zweiten Schritt wird das Zerkleinerungsprodukt bei etwa 63  $\mu\text{m}$  klassiert. Die Fraktion  $> 63$   $\mu\text{m}$  wird für Versuche am Freifallscheider verwendet.

Ziel ist die Herstellung eines Talkkonzentrates mit einem GLV von  $< 6,0$  % mit einem möglichst hohen Inhaltsausbringen an Talk im Konzentrat. Die Versuche sind unter Berücksichtigung der bisher durchgeführten Untersuchungen auszulegen. Abschließend soll ein Verfahrensstrombaum inklusive der Auslegung der Aggregate für die Trocknung, Zerkleinerung und Sortierung von 10,0 t Rohgut pro Stunde unter der Voraussetzung, dass die Fraktion  $< 63$   $\mu\text{m}$  eine bestehende Flotation aufgegeben wird, erarbeitet werden.

## 2. ZUSAMMENFASSUNG

Diese Projektstudie umfasst die Untersuchung der Sortierbarkeit eines Talk und Magnesit haltigen Rohgutes mittels Elektro-Freifallscheider.

Zu Beginn wird eine Merkmalsklassenanalyse durchgeführt, um Kenntnis über die Verwachsungsverhältnisse zu erhalten. Anschließend wird das Rohgut mittels der Vertikalmühle VRM 200 zerkleinert und bei 63  $\mu\text{m}$  gesichtet. Das Sichtergrobgut wird mittels Taumelsieb erneut klassiert. Die Kornklasse 500/63  $\mu\text{m}$  wird auf den Hamos-Freifallscheider aufgegeben.

Bei den Elektroscheidungsversuchen werden die Wechselwirkungen zwischen Aufgabetemperatur, Luftfeuchte und Aufgabe Zeitpunkt und die Aufladeintensität untersucht. Die Versuche mit einer relativen Luftfeuchte von 20-30 % und die Versuche mit einer Aufgabetemperatur von 120 °C liefern im Durchschnitt und in Kombination die besten Ergebnisse hinsichtlich Masseausbringen und Produktqualität. Durch die Erhöhung der Aufladeintensität kann der Durchsatz gesteigert und der Glühverlust gesenkt werden. Die Durchführung von mehrstufigen Versuchen zeigt, dass sich bei erneuter Aufgabe der Produkte aus einer Grundstufe die Qualität nochmals verbessern lässt. Mittels der gewählten Sortiervariante (Abb. 31) können zwei Produkte von hoher Qualität, eines von mittlerer Qualität und ein Bergeprodukt erzeugt werden. Das beste erzielte Talkprodukt hat einen Glühverlust von 6,0 % und macht 8,3 % der Aufgabemasse aus. Das zweite Produkt der hohen Qualität hat einen Glühverlust von 7,4 % und macht 19,0 % der Gesamtmasse aus. In Tabelle 70 sind die erzeugbaren Produktqualitäten zusammengefasst.

|           | Masse-<br>ausbringen | GLV  | Talkgehalt | Inhalts-<br>ausbringen |
|-----------|----------------------|------|------------|------------------------|
|           | [%]                  | [%]  | [%]        | [%]                    |
| Produkt 1 | 8,3                  | 6,0  | 95,3       | 13,4                   |
| Produkt 2 | 19,0                 | 7,4  | 92,2       | 29,8                   |
| Produkt 3 | 34,9                 | 18,3 | 69,7       | 41,3                   |
| Berge     | 37,8                 | 40,3 | 24,1       | 15,5                   |
| Summe     | 100,0                | 23,5 | 58,9       | 100,0                  |

Tab. 70: Erzeugbare Produktqualitäten

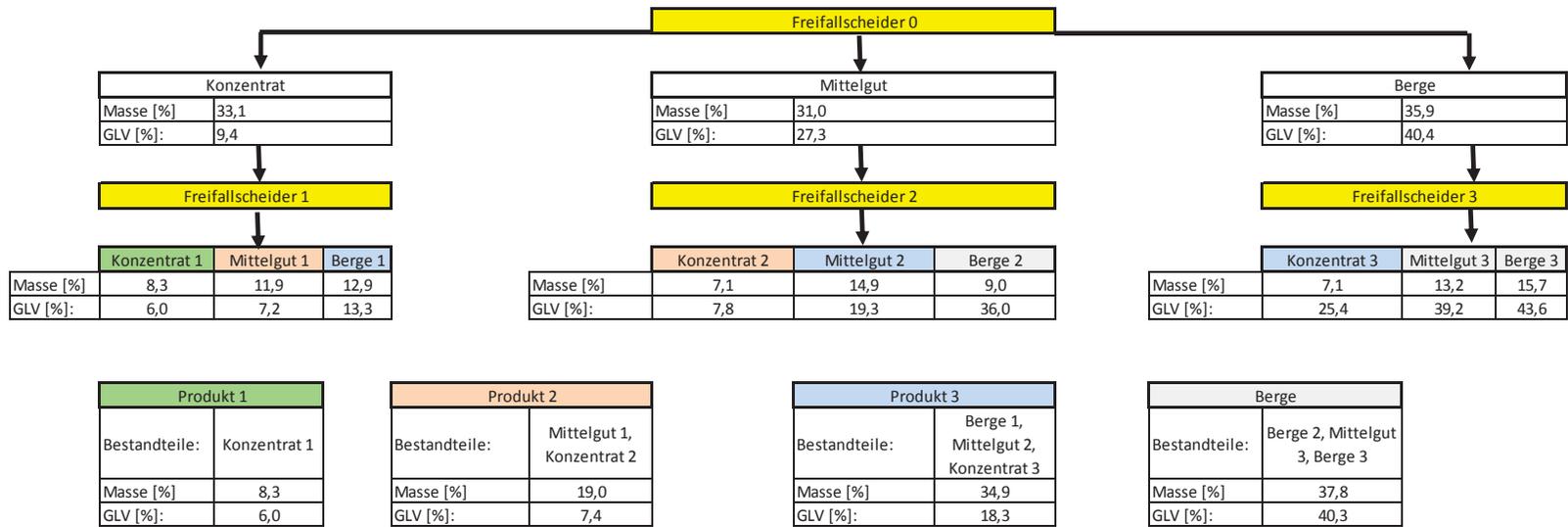


Abb. 31: Sortiervariante und erzeugbare Produkte

### 3. ROHGUTANALYSE

Um Informationen über die Verwachsungsverhältnisse des gegebenen Rohgutes zu erhalten, wurde eine Merkmalsklassenanalyse durchgeführt. Dazu wurde dieses vorab getrocknet und beprobt. An der entnommenen Teilprobe wurden eine Siebanalyse und anschließend eine Schwimm-/Sink-Analyse in den Fraktionen durchgeführt.

#### 3.1. SIEBANALYSE

Um einen ersten Eindruck über die Mineralphasenverteilung in den Korngrößenklassen zu erhalten, wurde an den durch die Siebanalyse hergestellten Fraktionen vorab der Glühverlust bestimmt. Die daraus erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 71 zusammengefasst.

| Fraktion | Masse | R     | D    |
|----------|-------|-------|------|
| [mm]     | [%]   | [%]   | [%]  |
| 2        | 35,0  | 35,0  | 65,0 |
| 1        | 17,0  | 52,0  | 48,0 |
| 0,5      | 11,8  | 63,9  | 36,1 |
| 0,2      | 13,0  | 76,8  | 23,2 |
| 0,1      | 8,0   | 84,9  | 15,1 |
| 0,063    | 5,2   | 90,1  | 9,9  |
| 0,025    | 2,0   | 92,0  | 8,0  |
| 0        | 8,0   | 100,0 | 0,0  |
|          | 100,0 |       |      |

Tab. 71: Siebanalyse der Teilprobe

In Abbildung 32 ist die Korngrößenverteilung grafisch dargestellt.

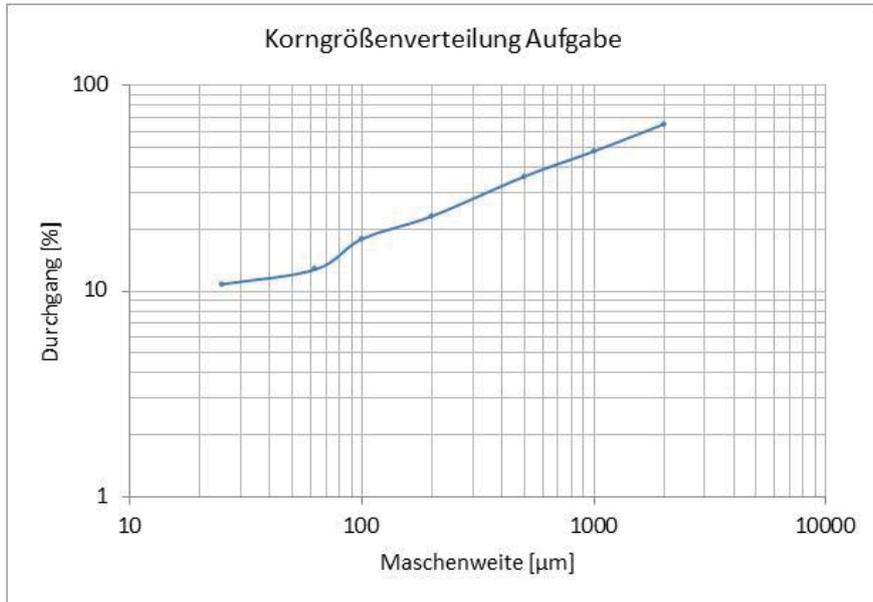


Abb. 32: Korngrößenverteilung der Aufgabe im GGS-Netz

Aus diesen Ergebnissen lässt sich die klare Tendenz erkennen, dass der Glühverlust in der Fraktion  $< 0,025$  mm am geringsten ist und somit den höchsten Talkgehalt aufweist. Allein durch Klassierung des Rohgutes kann jedoch kein vermarktbare Produkt gewonnen werden.

Die Änderung des Glühverlustes in den Korngrößenklassen ist in Abbildung 33 veranschaulicht.

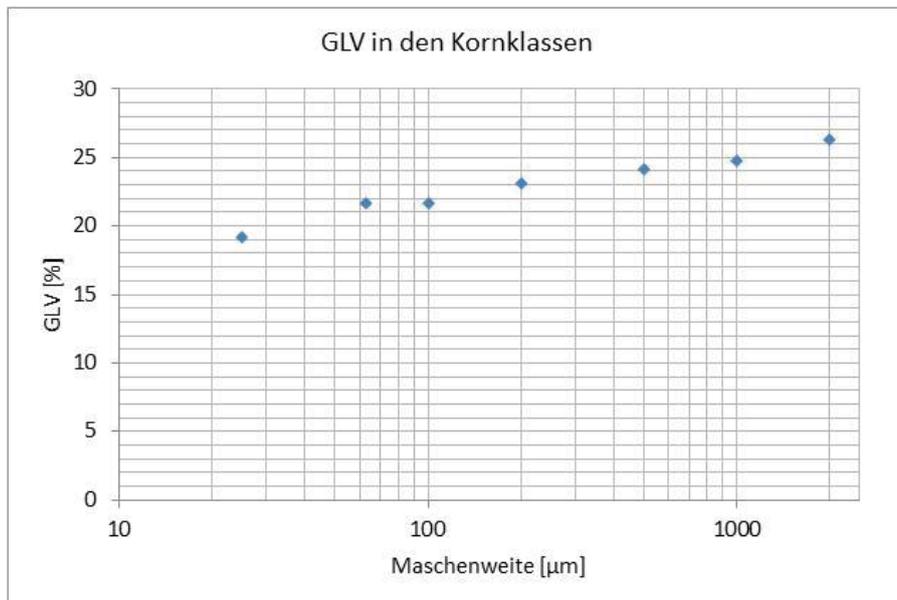


Abb. 33: Glühverluste in den Korngrößenklassen

## 3.2. SCHWIMM-/SINK-ANALYSE

Die mittels Natriumpolywolframatlösungen durchgeführte Schwimm-/Sink-Analyse wurde in den Fraktionen >2,0, 2,0/1,0, 1,0/0,5, 0,5/0,2 und 0,2/0,1 mm durchgeführt. Hierauf wurden die Fraktionen bei 3 und 2,85 g/cm<sup>3</sup> abgeschwommen und damit drei Dichteklassen – >3,00, 3,00/2,85 und <2,85 g/cm<sup>3</sup> – hergestellt. In allen erhaltenen Dichteklassen wurde zusätzlich die Korndichte mit dem Glühverlust verglichen. An den Dichteklassen wurde der Glühverlust bestimmt und die Ergebnisse in Henry-/Reinhardt-Schaubildern dargestellt.

### 3.2.1. HENRY-/REINHARDT-SCHAUBILDER

Aus den Henry-/Reinhardt-Schaubildern ist ersichtlich, dass sich der mittlere Glühverlust von 26,3 % in der Kornklasse > 2,0 mm auf 21,8 % in der Klasse 0,2/0,1 mm verringert. Ab der Fraktion 1,0/0,5 mm ist der Glühverlust des Leichtgutes deutlich geringer. Die Klasse 0,2/0,1 mm weist den größten Anteil an Leichtgut und des geringsten Anteil an Schwergut auf. Die Schaubilder zeigen deutlich, dass das Rohgut aufbereitbar ist und dass ein Produkt mit einem Glühverlust von < 10 % gewinnbar ist. Die zugehörigen Berechnungen finden sich im Anhang.

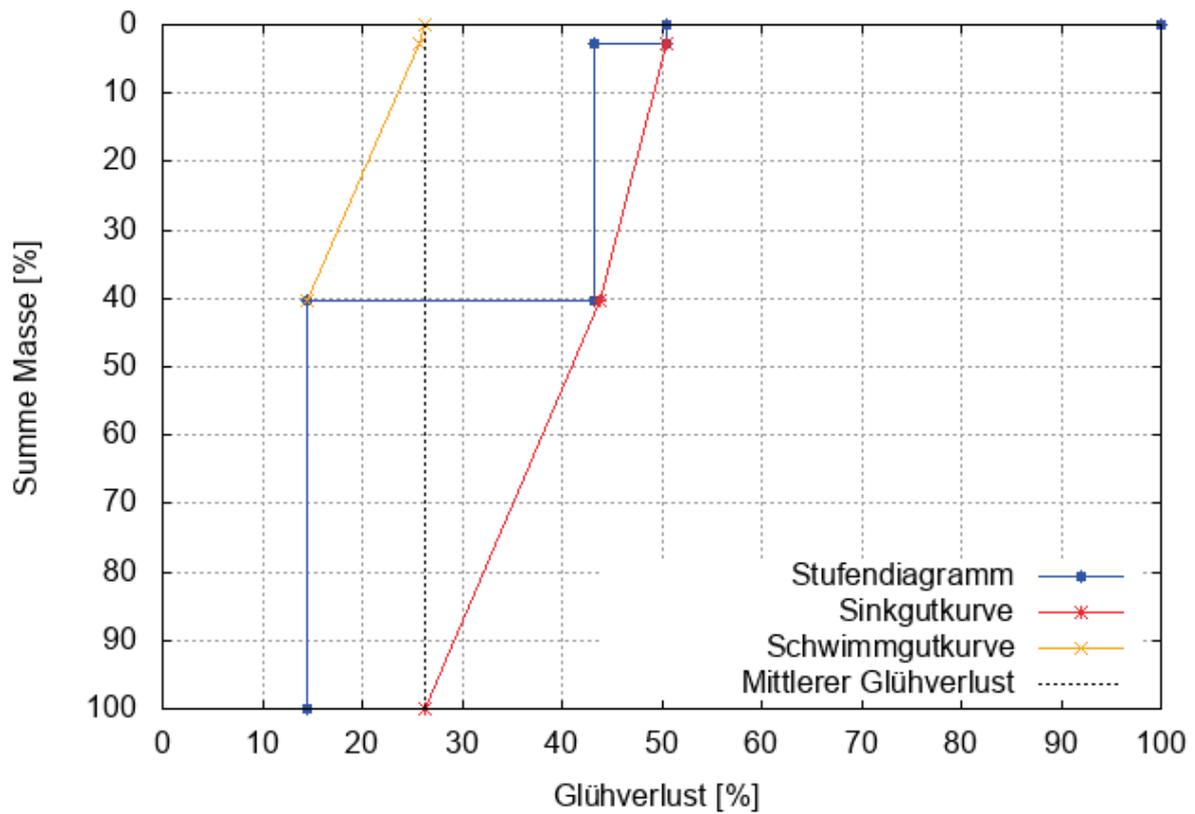


Abb. 34: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion > 2 mm

In der Fraktion > 2,0 mm liegen 37,7 % im verwachsenen Zustand, als Mittelgut (Dichteklasse 3,00/2,85 g/cm<sup>3</sup>) mit einem Glühverlust von 43,3 %, vor. Das Masseausbringen in der Dichteklasse >3,00 g/cm<sup>3</sup> beträgt 2,7 %, mit einem Glühverlust von 50,4 %. Die Dichteklasse < 2,85 g/cm<sup>3</sup> macht 59,6 % der Aufgabemasse aus und hat einen Glühverlust von 14,5 %.

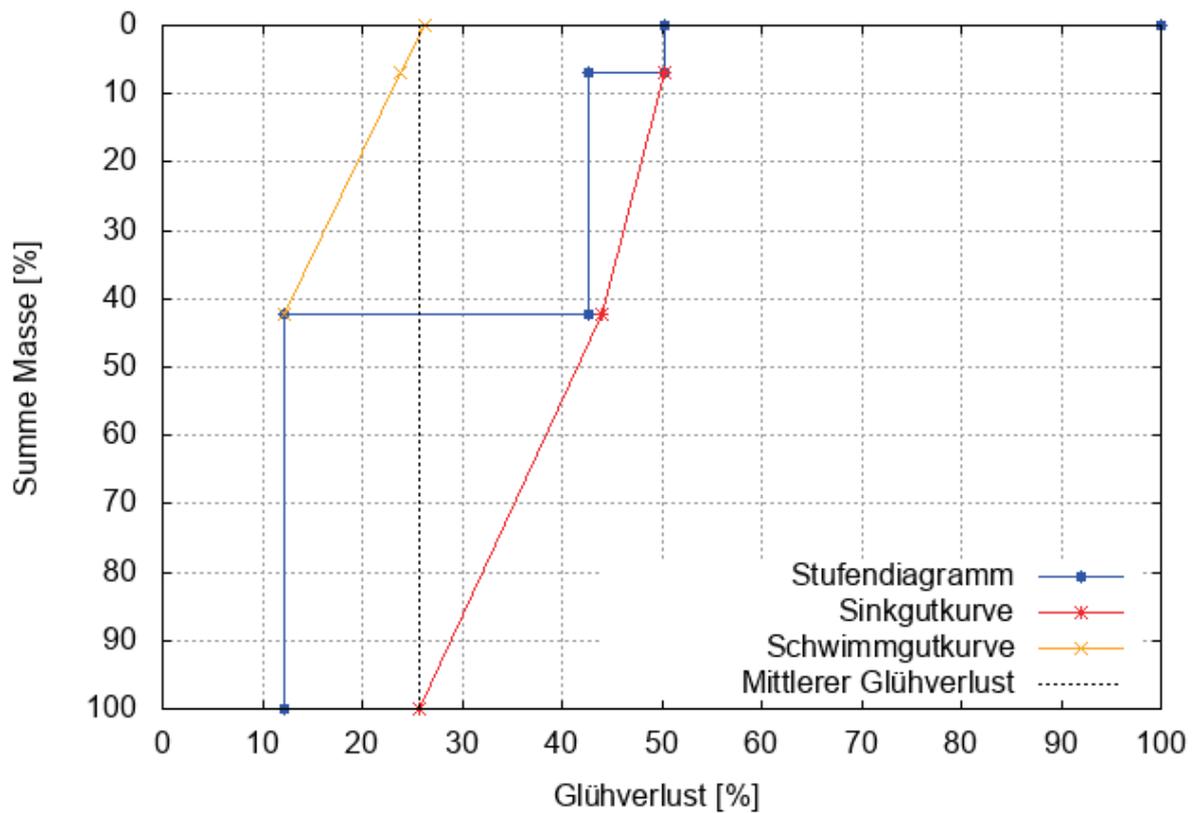


Abb. 35: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 2/1 mm

Der mittlere Glühverlust in der Fraktion 2/1 mm beträgt 25,7 %. 7,0 % sind Schwergut mit einem Glühverlust von 50,2 %. Das Masseausbringen von Mittelgut beträgt 35,3 %, dieses weist einen Glühverlust von 42,9 % auf. Das Masseausbringen an Leichtgut beträgt 57,8 % mit einem Glühverlust von 12,2 %.

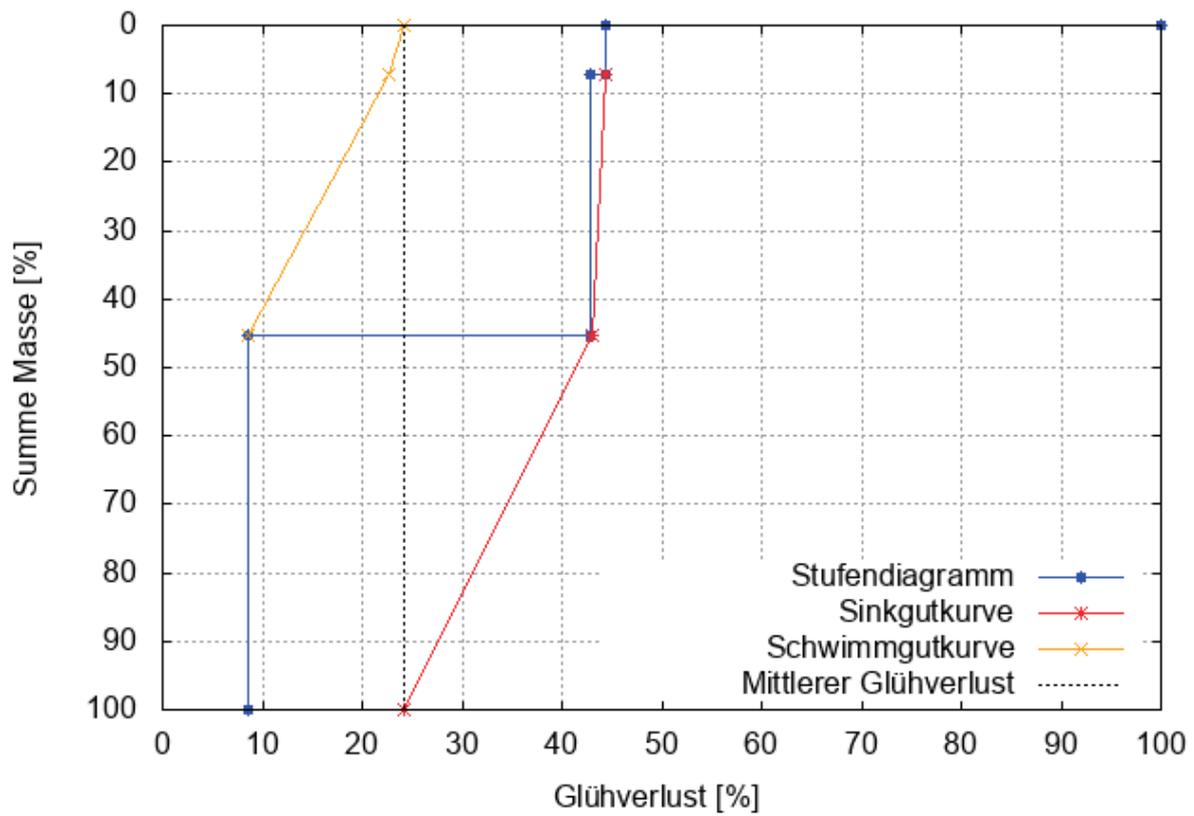


Abb. 36: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 1/0,5 mm

Die Kornklasse 1/0,5 mm hat einen Leichtgutanteil von 54,7 %. Der Glühverlust des Leichtgutes beträgt 8,6 %. Der mittlere Glühverlust beträgt 24,2 %. Das Masseausbringen an Schwergut beträgt 7,2 %, jenes des Mittelgutes 38,1 %, die erzielten Glühverluste betragen 44,4 % und 42,8 %.

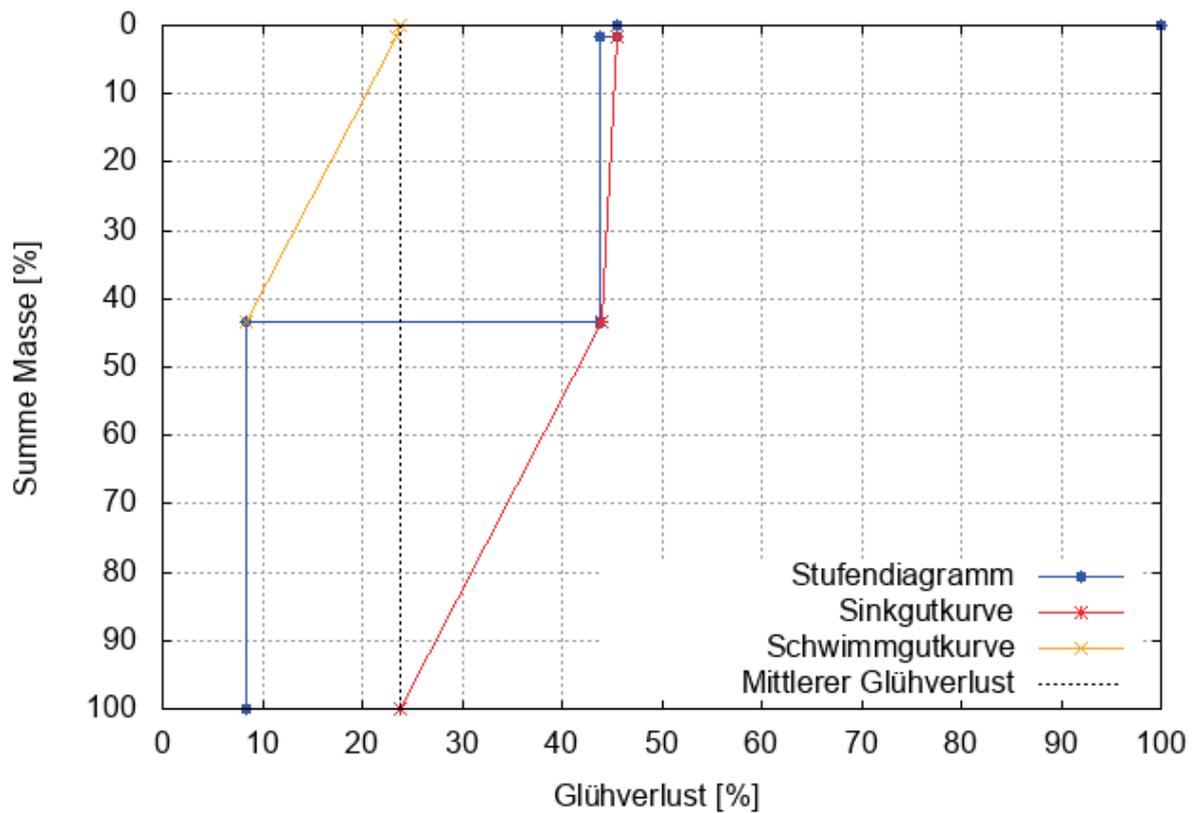


Abb. 37: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 0,5/0,2 mm

In der Fraktion 0,5/0,2 mm beträgt der mittlere Glühverlust 23,8 %. Der Schwergutanteil ist mit 1,6 % deutlich geringer als in den gröberen Fraktionen. Der Glühverlust des Schwergutes beträgt 45,5 %. Das Masseausbringen an Mittelgut beträgt 41,6 % mit einem Glühverlust von 43,9 % und jenes des Leichtgutes 56,7 % mit einem Glühverlust von 8,4 %.

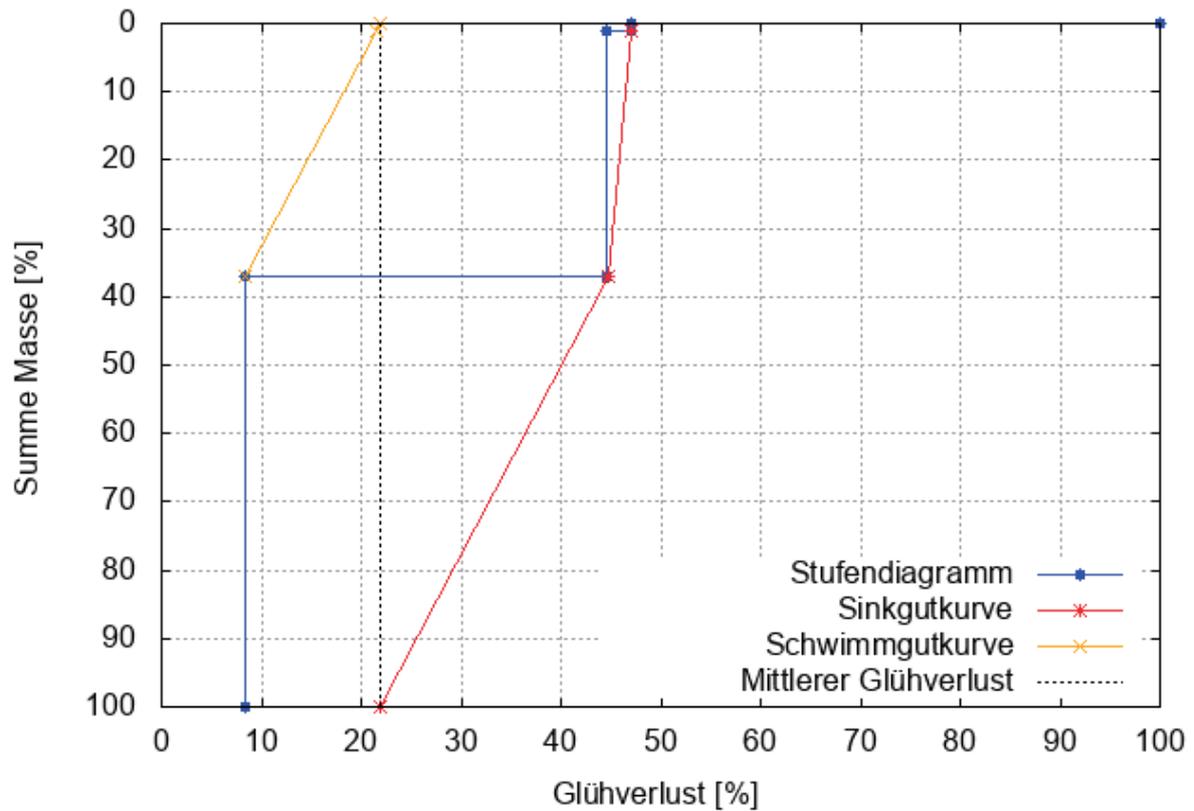


Abb. 38: Henry-/Reinhardt-Schaubild der Fraktion 0,2/0,1mm

In der Kornklasse 0,2/0,1 mm ist der Anteil von Leichtgut mit 63,1 % am höchsten, der Glühverlust beträgt 8,4 %. Der mittlere Glühverlust dieser Fraktion wird mit 21,8 % ermittelt. Das Masseausbringen an Schwergut beträgt 1,2 % mit einem Glühverlust von 47,0 %, jenes des Mittelgutes 35,8 % mit einem Glühverlust von 44,7 %.

### 3.2.2. KORNDICHTEN IN DEN DICHTEKLASSEN

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Gegenüberstellung der Glühverluste und der Korndichten in den durch die Schwimm-/Sink-Analysen erhaltenen Dichteklassen. Der mittlere Glühverlust wurde zur Kontrolle berechnet und mit dem Glühverlust, der in den Korngrößenklassen der Siebanalyse ermittelt wurde, verglichen. Die Korndichte wurde mittels Helium-Pyknometer bestimmt. Die Bestimmung erfolgte in den Dichteklassen aus der Merkmalsklassenanalyse und in den Fraktionen der Siebanalyse. Auch die mittlere Dichte der Dichteklassen wurde zur Kontrolle zusätzlich berechnet.

Die nach der Merkmalsklassenanalyse berechneten mittleren Dichten und die nach der Siebanalyse gemessenen Korndichten sind annähernd gleich. Bei den berechneten und gemessenen Glühverlusten gibt es geringe Abweichungen.

| Dichteklasse         | Masse | GLV  | Korndichte           |
|----------------------|-------|------|----------------------|
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]   | [%]  | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| > 3,00               | 2,7   | 50,4 | 3,01                 |
| 3,00/2,85            | 37,7  | 43,3 | 2,96                 |
| < 2,85               | 59,6  | 14,5 | 2,79                 |
| Summe                | 100,0 | 26,3 | 2,86                 |
| Siebanalyse          |       | 26,3 | 2,91                 |

Tab. 72: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion >2 mm

Der nach der Siebanalyse in der Fraktion > 2 mm bestimmte Glühverlust beträgt gemäß Tabelle 71 26,3 % und stimmt daher mit dem errechneten Glühverlust aus der Schwimm-/Sink-Analyse überein. Die mittlere Dichte wird mit 2,86 g/cm<sup>3</sup> berechnet und mit 2,91 g/cm<sup>3</sup> bestimmt.

| Dichteklasse         | Masse | GLV  | Korndichte           |
|----------------------|-------|------|----------------------|
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]   | [%]  | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| > 3,00               | 7,0   | 50,2 | 3,03                 |
| 3,00/2,85            | 35,3  | 42,9 | 2,96                 |
| < 2,85               | 57,7  | 12,2 | 2,8                  |
| Summe                | 100,0 | 25,7 | 2,87                 |
| Siebanalyse          |       | 24,8 | 2,83                 |

Tab. 73: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 2/1 mm

Der nach der Siebanalyse bestimmte Glühverlust dieser Fraktion beträgt 24,8 %. Der aus der Merkmalsklassenanalyse errechnete Glühverlust ist mit 25,7 % etwas höher. Die mittlerer Korndichte beträgt, wie in der Fraktion > 2 mm, 2,87 g/cm<sup>3</sup>. Die gemessene Korndichte in dieser Klasse 2/1 mm beträgt 2,83 g/cm<sup>3</sup>.

| Dichteklasse         | Masse | GLV  | Korndichte           |
|----------------------|-------|------|----------------------|
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]   | [%]  | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| > 3,00               | 7,2   | 44,4 | 3,08                 |
| 3,00/2,85            | 38,1  | 42,8 | 2,96                 |
| < 2,85               | 54,7  | 8,6  | 2,8                  |
| Summe                | 100,0 | 20,1 | 2,88                 |
| Siebanalyse          |       | 24,1 | 2,84                 |

Tab. 74: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 1/0,5 mm

Der berechnete mittlere Glühverlust dieser Fraktion ist mit 20,1 % geringer als jener, der nach der Siebanalyse mit 24,1 % bestimmt wird. Die berechnete mittlere Dichte beträgt 2,88 g/cm<sup>3</sup>, die gemessene Dichte beträgt 2,84 g/cm<sup>3</sup>.

| Dichteklasse         | Masse | GLV  | Korndichte           |
|----------------------|-------|------|----------------------|
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]   | [%]  | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| > 3,00               | 1,6   | 45,5 | 3,03                 |
| 3,00/2,85            | 41,6  | 43,9 | 2,93                 |
| < 2,85               | 56,7  | 8,4  | 2,8                  |
| Summe                | 100,0 | 23,8 | 2,86                 |
| Siebanalyse          |       | 23,1 | 2,9                  |

Tab. 75: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 0,5/0,2 mm

Der nach der Siebanalyse bestimmte Glühverlust beträgt 23,1 %. Aus den Dichteklassen wird der Glühverlust mit 23,8 % berechnet. Die Korndichte beträgt 2,90 g/cm<sup>3</sup>. Die mittlere Dichte wird mit 2,86 g/cm<sup>3</sup> berechnet.

| Dichteklasse         | Masse | GLV  | Korndichte           |
|----------------------|-------|------|----------------------|
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]   | [%]  | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| > 3,00               | 1,2   | 47,0 | 3,05                 |
| 3,00/2,85            | 35,8  | 44,7 | 2,98                 |
| < 2,85               | 63,1  | 8,4  | 2,81                 |
| Summe                | 100,0 | 21,8 | 2,87                 |
| Siebanalyse          |       | 21,7 | 2,82                 |

Tab. 76: Korndichten in den Dichteklassen der Fraktion 0,2/0,1 mm

Der gemessenen und der berechnete Glühverlust sind mit 21,7 % und 21,8 % beinahe gleich. Die Korndichte wird 2,82 g/cm<sup>3</sup> gemessen. Die mittlere Dichte wird mit 2,87 g/cm<sup>3</sup> berechnet.

Bei der Betrachtung der Glühverluste und der Korndichten über alle Korngrößenklassen ist ersichtlich, dass sowohl die mittleren Glühverluste als auch die mittlere Korndichten in den kleineren Fraktionen sinken. Zwischen den gemessenen und den berechneten Werten gibt es geringe Abweichungen, dies hat aber keinen Einfluss auf die beobachtete Tendenz.

## 4. ZERKLEINERUNG/ KLASSIERUNG

In diesem Kapitel wird das eingesetzte Zerkleinerungsaggregat und die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Zerkleinerung und Klassierung des gegebenen Rohgutes beschrieben.

### 4.1. VERTIKALMÜHLE

Die Zerkleinerung erfolgt mit einer Cemtec-Vertikalmühle Modell VRM 200 AV (Abb. 40). Das Rohgut wird von oben auf die Mühle aufgegeben, anschließend fällt es durch einen Schacht in den Mahlraum, wo es von zwei Walzen zerkleinert wird. Nach der Zerkleinerung gelangt das Mahlgut auf den Sichter. Der Trennschnitt zwischen Sichtergrubgut und Sichterfeingut wird durch die Drehzahl des Sichters und den Luftvolumenstrom geregelt. Bei der Sichtung wird das Sichterfeingut durch einen Luftstrom ausgetragen. Das Sichtergrubgut wird über den Grießerücklauftrichter in den Mahlraum zurückgeführt. Am Grießerücklauftrichter besteht die Möglichkeit der Probenahme. Im nachfolgenden Abbild ist dieser Prozess veranschaulicht.

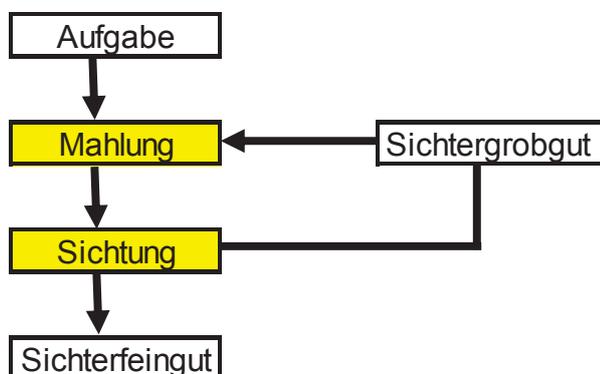


Abb. 39: Schematische Darstellung der Prozessschritte in der Cemtec-Vertikalmühle VRM200 AV



Abb. 40: Blick auf die Cemtec-Vertikalmühle VRM2 AV

## 4.2. ROHGUTVORBEREITUNG IM RAHMEN DES PROJEKTES

Als Vorbereitung für die Zerkleinerung und Klassierung wird das Rohgut getrocknet. Das Ziel der Mahlung ist, einen möglichst großen Anteil der Fraktion 500/63  $\mu\text{m}$  zu erhalten. Körner  $< 63 \mu\text{m}$  führen zu Verwirbelungen bei der Sortierung am Freifallscheider. Bei dieser Korngröße sind die Coulombkraft und Gewichtskraft so klein, dass die Bewegung dieser Körner hauptsächlich von vorhandenem Luftstrom bestimmt wird, und diese dadurch in falsche Produkte gelangen. Bei Körnern  $> 500 \mu\text{m}$  ist die Coulombkraft nicht groß genug, um einen Sortiereffekt zu erzielen. Durch das Überwiegen der Gewichtskraft werden die Körner nicht mehr stark genug von den Elektroden angezogen.

Bei der Zerkleinerung im Rahmen dieses Projektes wurde der Grießerücklauf blockiert und das Sichtergrubgut ( $> 63 \mu\text{m}$ ) durch die Schnecke abgezogen und anschließend mittels Taumelsieb bei  $500 \mu\text{m}$  klassiert. Die Kornklasse  $500/63 \mu\text{m}$  wurde direkt für die Versuche am Hamos-Freifallscheider verwendet, die Kornklasse  $> 500 \mu\text{m}$  erneut der Vertikalmühle aufgegeben. Der Prozess ist in der nachfolgenden Abbildung 41 dargestellt.

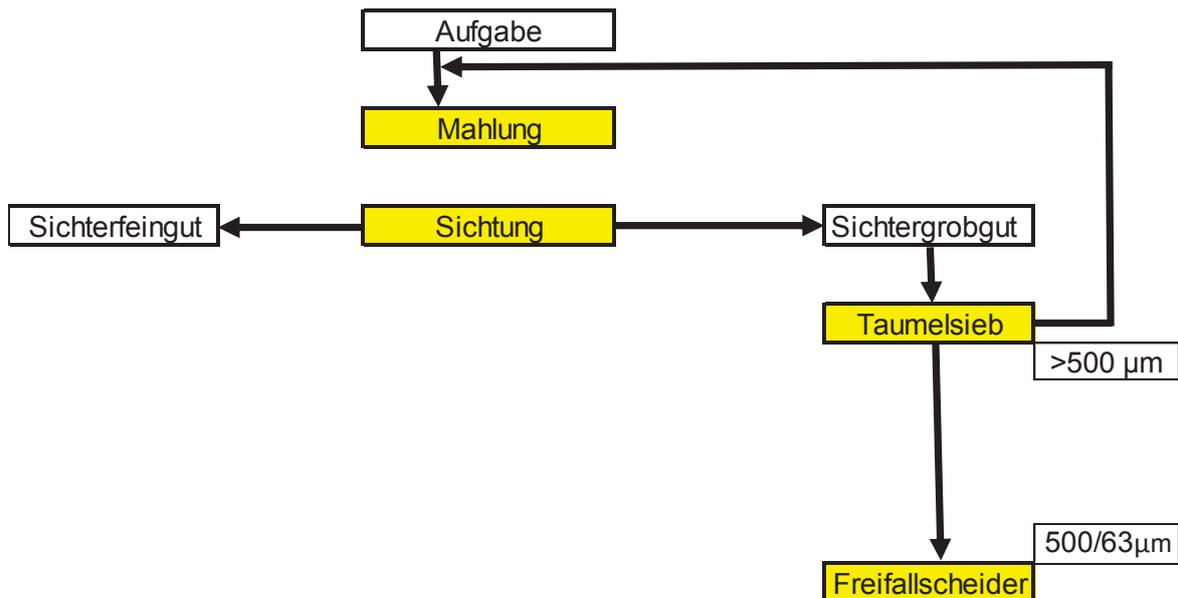


Abb. 41: Aufbereitungsstammbaum der Rohgutvorbereitung im Rahmen des Projektes

Die an der *Cemtec* Vertikalmühle gewählten Einstellungen sind in der nachfolgenden Tabelle 77 zusammengefasst.

|                     |       |         |
|---------------------|-------|---------|
| Aufgabedrehzahl     | 20    | [U/min] |
| Tellerdrehzahl      | 65    | [U/min] |
| Mahldruck           | 30/11 | [bar]   |
| Ventilator-drehzahl | 1500  | [U/min] |
| Sichterdrehzahl     | 400   | [U/min] |
| Walzenabstand       | 0,5   | mm      |

Tab. 77: Einstellungen an der *Cemtec* Vertikalmühle VRM200 AV

Bei den gewählten Einstellungen wurden 70,4 kg Sichtergrubgut und 19,7 kg Sichterfeingut pro Stunde erzeugt. Als Sichtergrub wird hierbei das Produkt > 63 µm bezeichnet, welches vor den Sortiersuchen am Hamos-Freifallscheider bei 500 µm klassiert wird. Als Feingut wird das Produkt < 63 µm bezeichnet. An beiden Produkten wurde eine Siebanalyse durchgeführt.

In der nachfolgenden Tabelle 78 ist die Korngrößenverteilung des Sichtergrubgutes dargestellt.

| Fraktion | Masse | R     | D    |
|----------|-------|-------|------|
| [mm]     | [%]   | [%]   | [%]  |
| 1        | 6,7   | 6,7   | 93,3 |
| 0,5      | 24,1  | 30,7  | 69,3 |
| 0,2      | 31,8  | 62,5  | 37,5 |
| 0,1      | 19,0  | 81,5  | 18,5 |
| 0,063    | 8,5   | 90,1  | 9,9  |
| 0,025    | 7,7   | 97,8  | 2,2  |
| 0        | 2,2   | 100,0 | 0,0  |
| Summe    | 100,0 |       |      |

Tab. 78: Tabellarische Darstellung der Korngrößenverteilung des Sichtergrubgutes

Den größten Anteil hierbei bildet die Kornklasse 0,5/0,2 mm mit 31,8 %. Der Anteil an Feinkorn (< 63 µm) beträgt 9,9 %. Der Glühverlust des Sichtergrubgutes beträgt 26,5 %. In Abb. 42 ist die Korngrößenverteilung grafisch dargestellt.

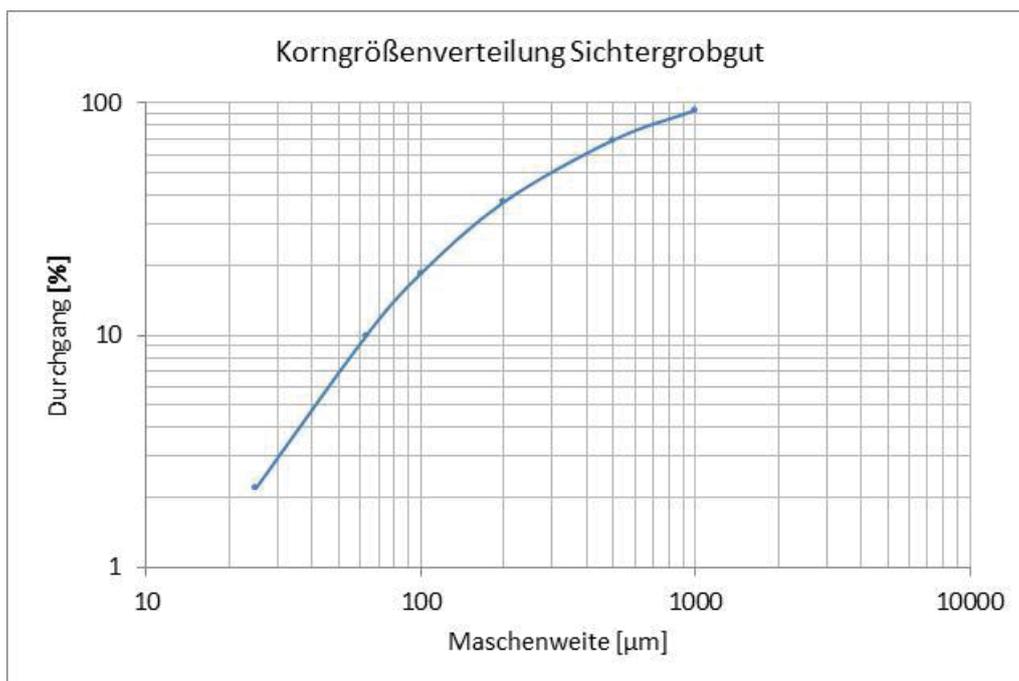


Abb. 42: Korngrößenverteilung des Sichterroggutes im GGS-Netz

In Tab. 79 ist die Korngrößenverteilung des Sichterfeingutes zusammengefasst.

| Fraktion<br>[mm] | Masse<br>[%] | R<br>[%] | D<br>[%] |
|------------------|--------------|----------|----------|
| 0,1              | 0,7          | 0,7      | 99,3     |
| 0,063            | 0,9          | 1,6      | 98,4     |
| 0,025            | 13,5         | 15,1     | 84,9     |
| 0                | 84,9         | 100,0    | 0,0      |
| Summe            | 100,0        |          |          |

Tab. 79: Korngrößenverteilung des Sichterfeingutes

Der Anteil an Grobkorn (> 63 µm) ist mit 1,6 % sehr gering. Den größten Anteil bildet mit 84,9 % die Fraktion < 25 µm. Der Glühverlust des Sichterfeingutes beträgt 11,07 %. In der nachfolgenden Grafik ist die Korngrößenverteilung des Sichterfeingutes ersichtlich.

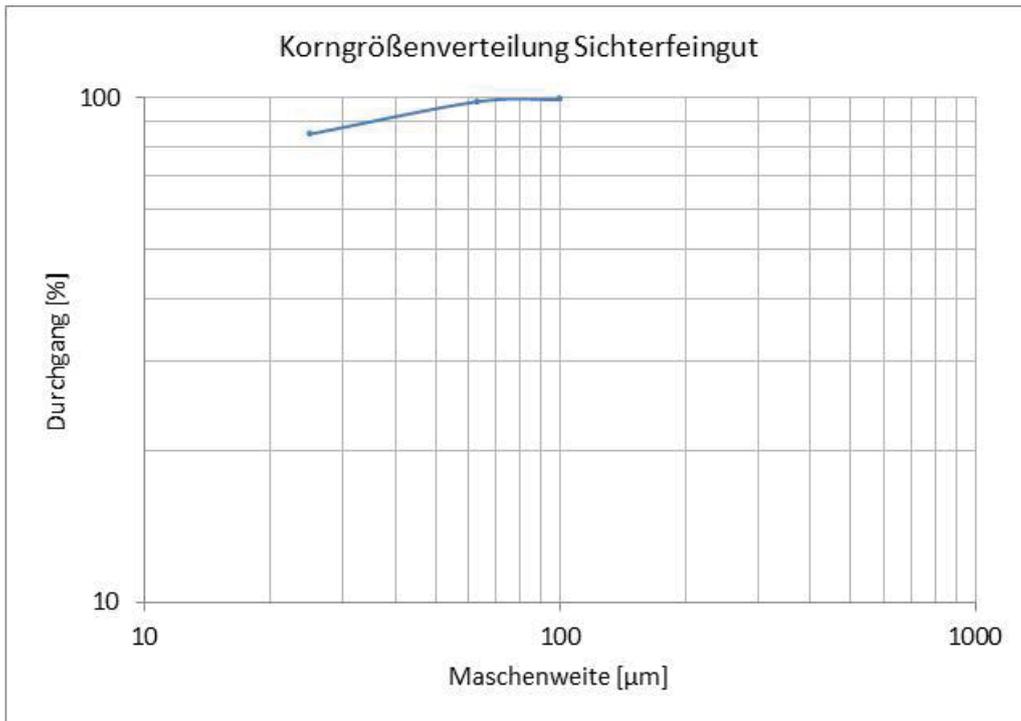


Abb. 43: Korngrößenverteilung des Sichterfeingutes im GGS-Netz

Aus den Korngrößenverteilungen der beiden Sichterprodukte kann auf die Korngrößenverteilung der Aufgabe rückgerechnet werden. Diese Korngrößenverteilung ist in der nachfolgenden Tabelle 80 zusammengefasst.

| Fraktion<br>[mm] | Masse<br>[%] | R<br>[%] | D<br>[%] |
|------------------|--------------|----------|----------|
| 1                | 5,2          | 5,2      | 94,8     |
| 0,5              | 18,8         | 24,0     | 76,0     |
| 0,2              | 24,9         | 48,9     | 51,1     |
| 0,1              | 15,0         | 63,9     | 36,1     |
| 0,063            | 6,9          | 70,8     | 29,2     |
| 0,025            | 9,0          | 79,8     | 20,2     |
| 0                | 20,2         | 100,0    | 0,0      |
| Summe            | 100,0        |          |          |

Tab. 80: Korngrößenverteilung der Aufgabe

Im nachfolgenden Abbild ist die errechnete Korngrößenverteilung grafisch dargestellt.

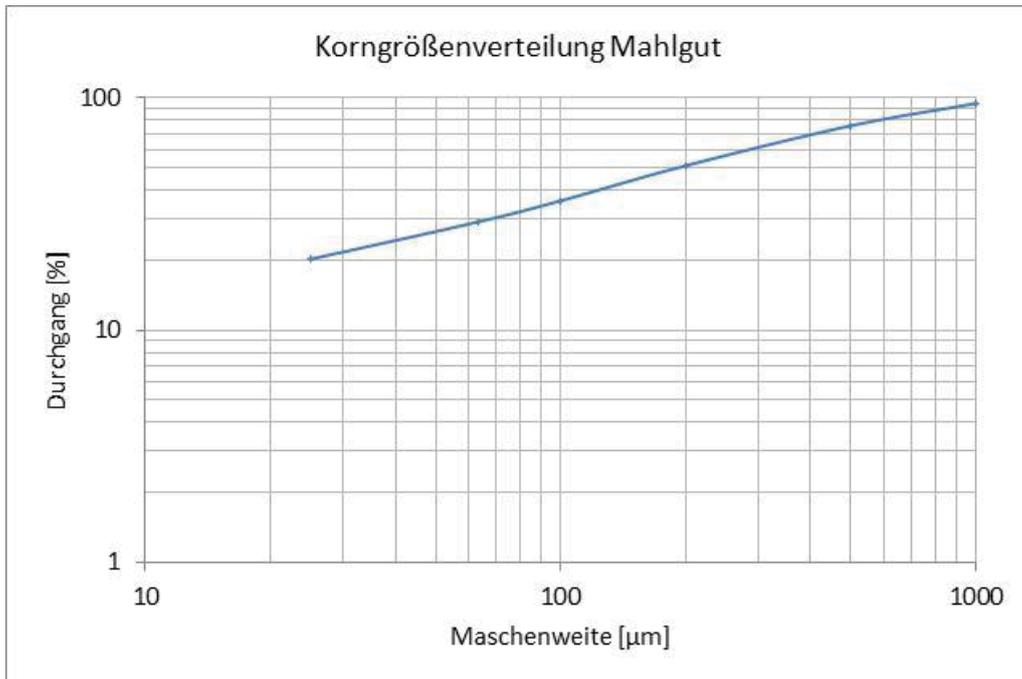


Abb. 44: Korngrößenverteilung der Aufgabe im GGS-Netz

### 4.3. FLIEßBILD ZUR ROHGUTVORBEHANDLUNG

Das Fließbild zur Rohgutvorbehandlung ist in Abb. 45 dargestellt. Zuerst wird das Rohgut getrocknet, anschließend wird es der Vertikalmühle aufgegeben. In diesem Schritt wird das Rohgut gemahlen und bei 63 µm gesichtet. Das bei der Sichtung erzeugte Grobgut (> 63 µm) wird mittels Taumelsieb klassiert. Die bei der Siebung erhaltenen Fraktionen > 1000 µm und 1000/500 µm werden erneut der Vertikalmühle aufgeben. Die Fraktion 500/63 µm) wird für die Versuche am Hamos-Freifallscheider eingesetzt.

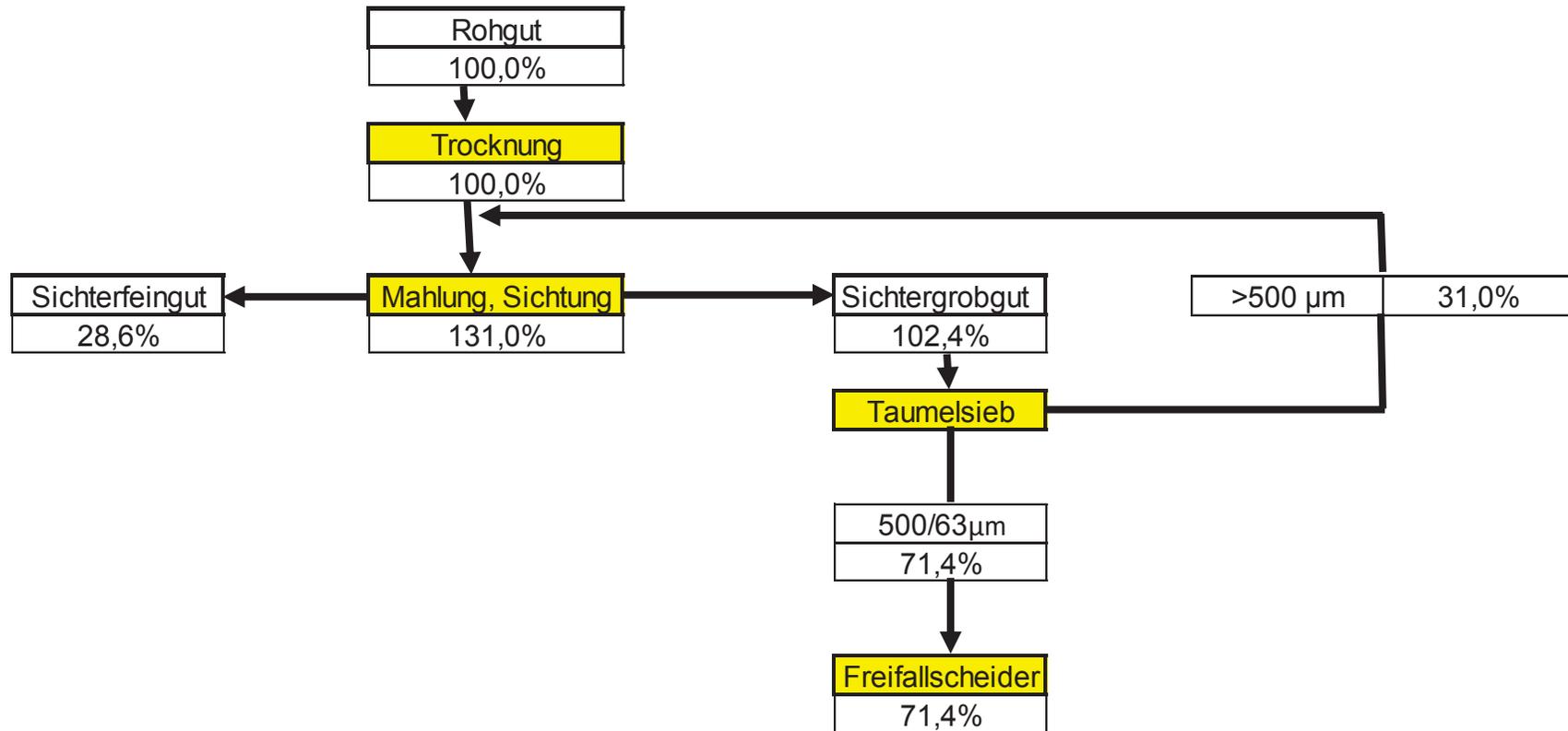


Abb. 45: Fließbild zur Rohgutvorbehandlung

## 5. SORTIERVERSUCHE

In diesem Kapitel sind der für die Sortierversuche eingesetzte Apparat, der Versuchsaufbau, die Beurteilung der Trennprodukte und die eingestellten Versuchsparemeter beschrieben.

### 5.1. SORTIERAPPARAT

Alle Versuche wurden am Hamos-Freifallscheider der Type EMS500, welcher sich in einem Klimaraum im Technikum des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung befindet, durchgeführt (Abb. 32). Standardmäßig werden mit dem Freifallscheider 3 Produkte (Konzentrat, Mittelgut, Berge) erzeugt. Um eine umfassende Aussage über das Trennverhalten zu erhalten, wurden die Produkte der Trennung in 17 Bechern mit 5 cm Breite aufgefangen (Abb. 15). Dabei bildeten die Becher 1-3 das Produkt A, die Becher 4-6 das Produkt B, die Becher 7-11 das Produkt C, die Becher 12-14 das Produkt D und die Becher 15-17 als Produkt E. In der nachfolgenden Tabelle ist die Aufteilung der Produkte zur Übersicht dargestellt.



Abb. 46: Blick in die Trennzone des Hamos-Freifallscheiders EMS500 mit eingestellten Bechern

|           |           |
|-----------|-----------|
| Becher 1  | Produkt A |
| Becher 2  |           |
| Becher 3  |           |
| Becher 4  | Produkt B |
| Becher 5  |           |
| Becher 6  |           |
| Becher 7  | Produkt C |
| Becher 8  |           |
| Becher 9  |           |
| Becher 10 |           |
| Becher 11 |           |
| Becher 12 | Produkt D |
| Becher 13 |           |
| Becher 14 |           |
| Becher 15 | Produkt E |
| Becher 16 |           |
| Becher 17 |           |

Tab. 81: Bezeichnung der Trennprodukte

## 5.2. BEURTEILUNG DER TRENNPRODUKTE

Die Beurteilung der Qualität der Trennprodukte erfolgte durch Bestimmung des Glühverlustes, da damit auf den Talkgehalt geschlossen werden kann. Hierfür wurden die durch die Trennung erhaltenen Produkte A-E mittels Planetenkugelmühle auf  $< 63 \mu\text{m}$  gemahlen und anschließend im Muffelofen bei  $1.050 \text{ }^\circ\text{C}$  unter Luftzutritt für 30 min geglüht.

## 5.3. VERSUCHSPARAMETER

Auf Basis der Erfahrungen mit dem triboelektrischen Aufladeverhalten, die im Rahmen des Dissertations-Projektes Luckeneder bislang erzielt wurden, wird der Einfluss folgender Parameter auf die Trenngüte untersucht:

- a. Aufgabetemperatur
- b. relative Luftfeuchte
- c. Probenvorgeschichte
- d. Korngrößenverteilung der Aufgabe
- e. Umgebungstemperatur
- f. Auskleidung und Type der Aufladeeinheit
- g. angelegte Spannung
- h. Intensität der Vibrorinne der Aufladeeinheit

## 6. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

Um umfassende Kenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen den in Kapitel 6.3 aufgelisteten Parametern zu erhalten, wurden acht Elektroscheidungsversuche mit dem zerkleinerten und klassierten Rohgut durchgeführt. Die Aufgabetemperatur des Rohgutes wurde dabei zwischen Umgebungstemperatur (ca. 25 °C) und 120 °C variiert. Der Einfluss der relativen Luftfeuchte wurde mit zwei Extremwerten ermittelt. Um zu überprüfen, ob sich das Rohgut im Zuge der Rohgutvorbehandlung auflädt, wurde das Rohgut zum einen sofort und zum anderen 14 Tage nach der Rohgutvorbehandlung auf den Freifallscheider aufgegeben. Die Aufgabekorngrößenverteilung wurde mit 500/63 µm vorgegeben. Die Umgebungstemperatur wurde nicht verändert. Als Aufladeeinheit wurde eine mit Teflonplatten ausgekleidete Schüttelrinne verwendet. Die angelegte Spannung betrug 70 kV. Die Intensität der Vibrorinne der Aufladeeinheit wurde mit 40 % eingestellt. Die nachfolgende Tabelle 82 gibt einen Überblick über die bei den Versuchen gewählten Einstellungen.

| Versuch Nr. | a.    | b.     | c.                             | d.        | e.   | f.                   | g.    | h.   |
|-------------|-------|--------|--------------------------------|-----------|------|----------------------|-------|------|
| 1           | 25°C  | 20-30% | am Tag der Zerkleinerung       | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 2           | 120°C | 20-30% | am Tag der Zerkleinerung       | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 3           | 25°C  | 50-60% | am Tag der Zerkleinerung       | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 4           | 120°C | 50-60% | am Tag der Zerkleinerung       | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 5           | 25°C  | 20-30% | 14 Tage nach der Zerkleinerung | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 6           | 120°C | 20-30% | 14 Tage nach der Zerkleinerung | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 7           | 25°C  | 50-60% | 14 Tage nach der Zerkleinerung | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |
| 8           | 120°C | 50-60% | 14 Tage nach der Zerkleinerung | 500/63 µm | 25°C | Teflon/Schüttelrinne | 70 kV | 40 % |

Tab. 82: Tabellarische Übersicht von bei den Versuchen eingestellten Parametern

## 6.1. ERMITTLUNG DER EINFLÜSSE DER PARAMETER

Die ersten Versuchsreihen wurden zur Ermittlung der Einflüsse der einzelnen Parameter durchgeführt. Hierbei wurden die in Kapitel 6.3 aufgelisteten Parameter variiert. Die besten Ergebnisse lieferte der Versuch Nr. 2 mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 20-30 % und einer Aufgabetemperatur von 120 °C. Die Unterschiede zwischen den direkt nach der Mahlung durchgeführten Versuchen (Versuch Nr. 1-4) und den Versuchen, die zwei Wochen nach der Zerkleinerung durchgeführt (Versuch Nr. 5-8) wurden, kann kein maßgeblicher Unterschied festgestellt werden. Für die Beurteilung wurden die Produkte A und B (Becher 1 bis 6) als Konzentrat zusammengefasst. In Tab. 83 sind die bei den Versuchen 1-8 erzielten Ergebnisse zusammengefasst.

| Versuch Nr. | Umgebungs-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Material<br>Temperatur | Masseausbringen<br>Konzentrat | GLV<br>Konzentrat |
|-------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|
|             | [°C]                     | [%]                     | [°C]                   | [%]                           | [%]               |
| 1           | 26,3                     | 25,7                    | 25,0                   | 25,5                          | 9,7               |
| 2           | 27,9                     | 24,0                    | 120,0                  | 34,1                          | 8,6               |
| 3           | 28,9                     | 59,7                    | 25,0                   | 27,4                          | 22,9              |
| 4           | 28,1                     | 55,6                    | 120,0                  | 30,5                          | 9,6               |
| 5           | 27,6                     | 28,3                    | 25,0                   | 22,7                          | 10,0              |
| 6           | 29,3                     | 26,0                    | 120,0                  | 31,7                          | 7,7               |
| 7           | 24,2                     | 61,5                    | 25,0                   | 17,9                          | 18,0              |
| 8           | 23,2                     | 55,0                    | 120,0                  | 30,6                          | 9,2               |

Tab. 83: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe, direkt nach der Zerkleinerung

Das höchste Masseausbringen an Konzentrat lieferte Versuch Nummer 2 mit 34,1 %. Der dabei erreichte Glühverlust ist mit 8,6 % ebenfalls am geringsten. Die gesamten Daten der Versuchsergebnisse finden sich im Anhang.

In Tab. 84 sind die durchschnittlichen Werte des Masseausbringens und der Glühverluste berechnet, die in den Versuchen 1-8 erzielt wurden. Durch die Berechnung der Durchschnitte ist klar ersichtlich, dass sich eine hohe Aufgabetemperatur und eine niedrige relative Luftfeuchte positiv sowohl auf das Masseausbringen als auch den Glühverlust auswirken. Bei der Erhöhung der Aufgabetemperatur von 25 auf 120 °C kann das Masseausbringen um 8,3 % gesteigert und der Glühverlust auf 8,8 % gesenkt werden. Bei einer relativen Luftfeuchte von 20-30 % ist das Masseausbringen um 1,9 %-Punkte höher und der Glühverlust um 5,9 %-Punkte niedriger. Die Versuche, die sofort nach der Zerkleinerung

durchgeführt wurden, weisen durchschnittlich bessere Ergebnisse hinsichtlich Masseausbringen und Glühverlust auf. Der Durchschnitt über alle Versuche liefert ein Masseausbringen von 27,6 % und einen Glühverlust von 12,0 %.

| Parameter              | Einstellung                | Masseausbringen [%] | GLV [%] |
|------------------------|----------------------------|---------------------|---------|
| Aufgabetemperatur [°C] | 25                         | 23,4                | 15,1    |
|                        | 120                        | 31,7                | 8,8     |
| Luftfeuchte [%]        | 20-30                      | 28,5                | 9,0     |
|                        | 50-60                      | 26,6                | 14,9    |
| Zeitpunkt              | sofort nach Zerkleinerung  | 29,4                | 12,7    |
|                        | 14 Tage nach Zerkleinerung | 25,7                | 11,2    |
| Durchschnitt           |                            | 27,6                | 12,0    |

Tab. 84: Durchschnittswerte der Ergebnisse bei unterschiedlichen Parametern

In der nachfolgenden Tabelle 85 sind die gemittelten Versuchsergebnisse von den Versuchen, die sofort durchgeführt werden, und von jenen, die 14 Tage nach der Zerkleinerung durchgeführt wurden, bei variierenden Aufgabetemperaturen zusammengefasst. Bei beiden Versuchsreihen lieferten die Versuche mit der hohen Aufgabetemperatur ein besseres Masseausbringen und einen niedrigeren Glühverlust.

| Zeitpunkt                  | Aufgabetemperatur [°C] | Masseausbringen [%] | GLV [%] |
|----------------------------|------------------------|---------------------|---------|
| sofort nach Zerkleinerung  | 25                     | 26,5                | 16,3    |
|                            | 120                    | 32,3                | 9,1     |
| Durchschnitt               |                        | 29,4                | 12,7    |
| 14 Tage nach Zerkleinerung | 25                     | 20,3                | 14,0    |
|                            | 120                    | 31,2                | 8,4     |
| Durchschnitt               |                        | 25,7                | 11,2    |

Tab. 85: Versuchsergebnisse mit Betrachtung von Zeitpunkt und Aufgabetemperatur

In der nachfolgenden Tabelle 86 sind die Mittelwerte der Versuchsergebnisse von den Versuchen, die sofort durchgeführt werden, und von jenen, die 14 Tage nach der Zerkleinerung durchgeführt werden, bei unterschiedlichen relativen Luftfeuchten zusammengefasst. Bei beiden Versuchsreihen lieferten die Versuche mit der niedrigen relativen Luftfeuchte ein besseres Masseausbringen und einen geringeren Glühverlust.

| Zeitpunkt                  | relative Luftfeuchte [%] | Masseausbringen [%] | GLV [%] |
|----------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| sofort nach Zerkleinerung  | 20-30                    | 29,8                | 9,1     |
|                            | 50-60                    | 28,9                | 16,2    |
| Durchschnitt               |                          | 29,4                | 12,7    |
| 14 Tage nach Zerkleinerung | 20-30                    | 27,2                | 8,9     |
|                            | 50-60                    | 24,2                | 13,6    |
| Durchschnitt               |                          | 25,7                | 11,2    |

Tab. 86: Versuchsergebnisse mit Betrachtung von Zeitpunkt und relativer Luftfeuchte

In der nachfolgenden Tabelle 87 sind die gemittelten Versuchsergebnisse von den Versuchen mit hohen und niedrigen Aufgabetemperatur bei unterschiedlichen relativen Luftfeuchten zusammengefasst. Die besten Ergebnisse wurden durch niedrige Luftfeuchte und hohe Aufgabetemperatur erzielt.

| Aufgabetemperatur [°C] | relative Luftfeuchte [%] | Masseausbringen [%] | GLV [%] |
|------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| 25                     | 20-30                    | 24,1                | 9,9     |
|                        | 50-60                    | 22,6                | 20,4    |
| 120                    | 20-30                    | 32,9                | 8,1     |
|                        | 50-60                    | 30,5                | 9,4     |
| Durchschnitt           |                          | 27,6                | 12,0    |

Tab. 87: Versuchsergebnisse bei Betrachtung von Aufgabetemperatur und relativer Luftfeuchte

In Tab. 88 sind die Ergebnisse der Versuche, die direkt nach der Zerkleinerung durchgeführt werden, zusammengefasst. Es ist deutlich zu erkennen, dass sowohl das höchste Masseausbringen und der niedrigste Glühverlust bei dem Versuch mit niedriger Luftfeuchte und hoher Aufgabetemperatur erzielt wurden. Dies entspricht den Einstellungen bei Versuch Nr. 2.

| Zeitpunkt                     | Aufgabetemperatur [°C] | relative Luftfeuchte [%] | Masseausbringen [%] | GLV [%] |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| sofort nach der Zerkleinerung | 25                     | 20-30                    | 25,5                | 9,7     |
|                               |                        | 50-60                    | 27,4                | 22,8    |
|                               | 120                    | 20-30                    | 34,1                | 8,6     |
|                               |                        | 50-60                    | 30,5                | 9,6     |
| Durchschnitt                  |                        |                          | 29,4                | 12,7    |

Tab. 88: Ergebnisse der Versuche 1-4

In Tab. 89 sind die Ergebnisse der Versuche, die 14 Tage nach der Zerkleinerung durchgeführt werden, zusammengefasst. Hier liefert ebenfalls der Versuch mit der niedrigen Luftfeuchte und der hohen Aufgabetemperatur das höchste Masseausbringen und den niedrigsten Glühverlust. Diese Einstellungen entsprechen dem Versuch Nr. 6.

| Zeitpunkt                     | Aufgabetemperatur [°C] | relative Luftfeuchte [%] | Masseausbringen [%] | GLV [%] |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| sofort nach der Zerkleinerung | 25                     | 20-30                    | 22,7                | 10,0    |
|                               |                        | 50-60                    | 17,9                | 17,9    |
|                               | 120                    | 20-30                    | 31,7                | 7,7     |
|                               |                        | 50-60                    | 30,6                | 9,2     |
| Durchschnitt                  |                        |                          | 25,7                | 11,2    |

Tab. 89: Ergebnisse der Versuchen 5-8

## 6.2. MEHRSTUFIGE VERSUCHE

Um eine Verbesserung der Konzentratqualität zu erzielen, bzw. den Talkverlust in den Bergen und im Mittelgut zu minimieren, werden die Produkte A bis E der Grundstufe zu drei Produkten zusammengeführt und zur Nachreinigung nochmals dem Hamos-Freifallscheider aufgegeben. Produkt 1 wird als Konzentrat bezeichnet. Dieses setzt sich aus den Bechern 1 bis 6 zusammen (davor Produkt A und B). Produkt 2, ist das Mittelgut und besteht aus den Bechern 7 bis 11 (Produkt C der Grundstufe). Das Produkt 3, das Bergeprodukt, wird aus den Bechern 12 bis 17 gebildet (Produkte D und E der Grundstufe). Bei den Versuchen wird ebenfalls die Einstellung mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 20-30 % und einer Aufgabetemperatur von 120 °C gewählt. In Abb. 47 ist der Versuchsablauf bei den mehrstufigen Versuchen veranschaulicht.

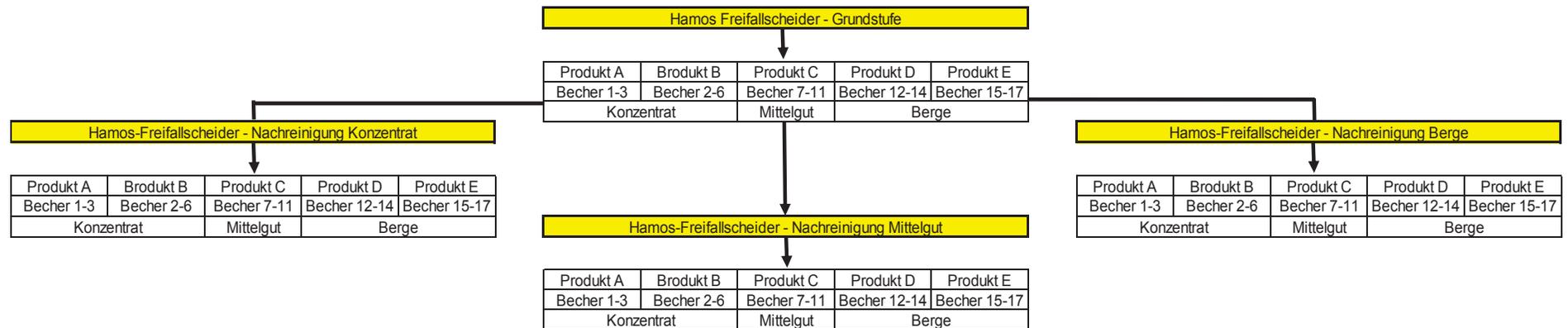


Abb. 47: Versuchsablauf mehrstufige Versuche

In Tab. 90 sind die Ergebnisse der Grundstufe der mehrstufigen Versuche dargestellt, die gesamte Bilanz ist im Anhang enthalten.

| Produkt    | Umgebungs-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Aufgabe<br>Temperatur | Masse | GLV  |
|------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|------|
|            | [°C]                     | [%]                     | [°C]                  | [%]   | [%]  |
| Konzentrat | 28,2                     | 25                      | 120                   | 30,2  | 10,1 |
| Mittelgut  | 28,2                     | 25                      | 120                   | 26,4  | 21,1 |
| Berge      | 28,2                     | 25                      | 120                   | 43,5  | 38,4 |
| Summe      |                          |                         | 120                   | 100,0 | 25,3 |

Tab. 90: Ergebnisse der Grundstufe der mehrstufigen Versuche

Es ist ersichtlich, dass die Ergebnisse sehr ähnlich denen des Einstellungsversuches Versuch Nr. 2 sind, was die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bestätigt.

In der nachfolgenden Tabellen (Tab. 91 bis Tab. 93) sind die Ergebnisse der Nachreinigung der Konzentrat-, Mittelgut- und Berge-Produkte aus der Grundstufe zusammengefasst. Durch die Nachreinigung lässt sich die Qualität der einzelnen Produkte nochmals steigern.

| Produkt    | Umgebungs-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Aufgabe<br>Temperatur | Masse | GLV  |
|------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|------|
|            | [°C]                     | [%]                     | [°C]                  | [%]   | [%]  |
| Konzentrat | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 25,0  | 6,0  |
| Mittelgut  | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 36,0  | 7,2  |
| Berge      | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 39,0  | 13,3 |
| Summe      |                          |                         |                       | 100,0 | 9,3  |

Tab. 91: Ergebnisse der Nachreinigungsversuche des Konzentrates der Grundstufe

Bei Nachreinigung des Konzentrates der Grundstufe sinkt der Glühverlust von 10,1 % auf 6,0 %, das Masseausbringen sinkt von 39,0 % um 14 %-Punkte auf 25,0 %.

| Produkt    | Umgebungs-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Aufgabe<br>Temperatur | Masse | GLV  |
|------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|------|
|            | [°C]                     | [%]                     | [°C]                  | [%]   | [%]  |
| Konzentrat | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 22,8  | 7,8  |
| Mittelgut  | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 48,2  | 19,3 |
| Berge      | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 29,0  | 36,0 |
| Summe      |                          |                         |                       | 100,0 | 21,6 |

Tab. 92: Ergebnisse der Nachreinigungsversuche des Mittelgutes der Grundstufe

Der Glühverlust des Mittelgutes sinkt von 21,1 % auf beachtliche 7,8 %, dabei sinkt das Masseausbringen an Konzentrat von 36 % um 13,2 %-Punkte auf 22,8 %.

| Produkt    | Umgebungs-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Aufgabe<br>Temperatur | Masse | GLV  |
|------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|------|
|            | [°C]                     | [%]                     | [°C]                  | [%]   | [%]  |
| Konzentrat | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 19,7  | 25,4 |
| Mittelgut  | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 36,7  | 39,2 |
| Berge      | 30,1                     | 24,1                    | 120                   | 43,6  | 43,6 |
| Summe      |                          |                         |                       | 100,0 | 38,4 |

Tab. 93: Ergebnisse der Nachreinigungsversuche des Bergeproduktes der Grundstufe

Das Masseausbringen an Konzentrat des Bergeproduktes reduziert sich von 43,5 % um 23,8 %-Punkte auf 19,7 %, dabei sinkt Glühverlust von 38,4 % auf 25,4 %.

### 6.3. AUFGABERATE

Zur Ermittlung der maximal möglichen Durchsatzrate wurden die Versuche mit den Parametern aus Versuch Nr. 2 erneut durchgeführt. Dabei wurde je Durchlauf eine Menge von ca. 20 kg aufgegeben. Bei dieser Versuchsreihe wurde der Versuchsaufbau, mit den 17 Bechern, entfernt. Die Produkte wurden mittels zweier Trennbleche in Konzentrat, Mittelgut und Berge geteilt. Die Intensität der Vibrorinne der Aufladeeinheit wurde dabei auf 40 %, 60 % und 80 % eingestellt. Von allen, aus den drei durchgeführten Versuchen erhaltenen Produkte wurden die Glühverluste bestimmt, um festzustellen, ob sich durch die Intensität der Vibration der Aufladeeinheit der Trennerfolg verändert. Die dabei erzielten Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 94 dargestellt. Die zugehörige Bilanz ist im Anhang enthalten.

| Intensität | Umgebungs-<br>temperatur | relative<br>Luftfeuchte | Aufgabe<br>Temperatur | Masse-<br>ausbringen<br>Konzentrat | GLV<br>Konzentrat | Durchsatz |
|------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|-----------|
|            | [°C]                     | [%]                     | [°C]                  | [%]                                | [%]               | [kg/h]    |
| 40 %       | 29,2                     | 25,8                    | 120                   | 30,1                               | 10,2              | 214,5     |
| 60 %       | 29,2                     | 25,8                    | 120                   | 32,9                               | 9,9               | 328,5     |
| 80 %       | 29,2                     | 25,8                    | 120                   | 33,1                               | 9,4               | 370,4     |

Tab. 94: Ergebnisse der Versuchsreihe bei verschiedenen Intensitäten

Die bei diesen Versuchen ermittelten Durchsatzraten wurden mit dem Hamos Freifallscheider mit einer aktiven Elektrodenbreite von 0,5 m erzielt, welcher sich im Technikum des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredlung befindet.

Durch die Verdoppelung der Intensität kann der Durchsatz um 42,1 % gesteigert werden. Dabei erhöht sich auch das Masseausbringen an Konzentrat von 30,1 % auf 33,1 %, und ebenso kann der Glühverlust im Konzentrat von 10,2 % auf 9,4 % gesenkt werden. Durch die stärkere Vibration wird zum einen die Aufgaberate erhöht, zum anderen haben die Körner einen stärkeren Kontakt zu einander. Durch diesen Effekt verbessert sich die Aufladung und in weiterer Folge auch die Konzentratqualität.

## 6.4. KORNGRÖßENVERTEILUNGEN DER PRODUKTE/ TEILUNGSKURVE

Die Grundstufe der mehrstufigen Sortiersuche wurde für die Ermittlung der Korngrößenverteilungen der Produkte herangezogen. Zu diesem Zweck wurden die Produkte A bis E bei 63, 100, 200 und 315  $\mu\text{m}$  gesiebt. In Tab. 95 sind die Korngrößenverteilungen der Produkte A bis E zusammengefasst. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Produkte A und E, welche sich am nächsten zu den Elektroden befinden, deutlich feiner sind als die anderen Produkte. Bei Produkt C, welches sich in der Mitte des Freifallscheiders befindet, wurde die größte Korngrößenverteilung ermittelt.

|                   | Produkt A | Produkt B | Produkt C | Produkt D | Produkt E |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fraktion          | D         | D         | D         | D         | D         |
| [ $\mu\text{m}$ ] | [%]       | [%]       | [%]       | [%]       | [%]       |
| 315               | 90,2      | 73,5      | 60,7      | 64,2      | 87,2      |
| 200               | 61,6      | 46,0      | 33,0      | 38,2      | 68,0      |
| 100               | 18,0      | 17,7      | 13,4      | 14,7      | 34,5      |
| 63                | 7,3       | 6,9       | 5,9       | 5,8       | 16,8      |
| 0                 | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |

Tab. 95: Korngrößenverteilung der Produkte A-E

In der nachfolgenden Abbildung 48 sind die Korngrößenverteilungen der Produkte A bis E grafisch dargestellt.

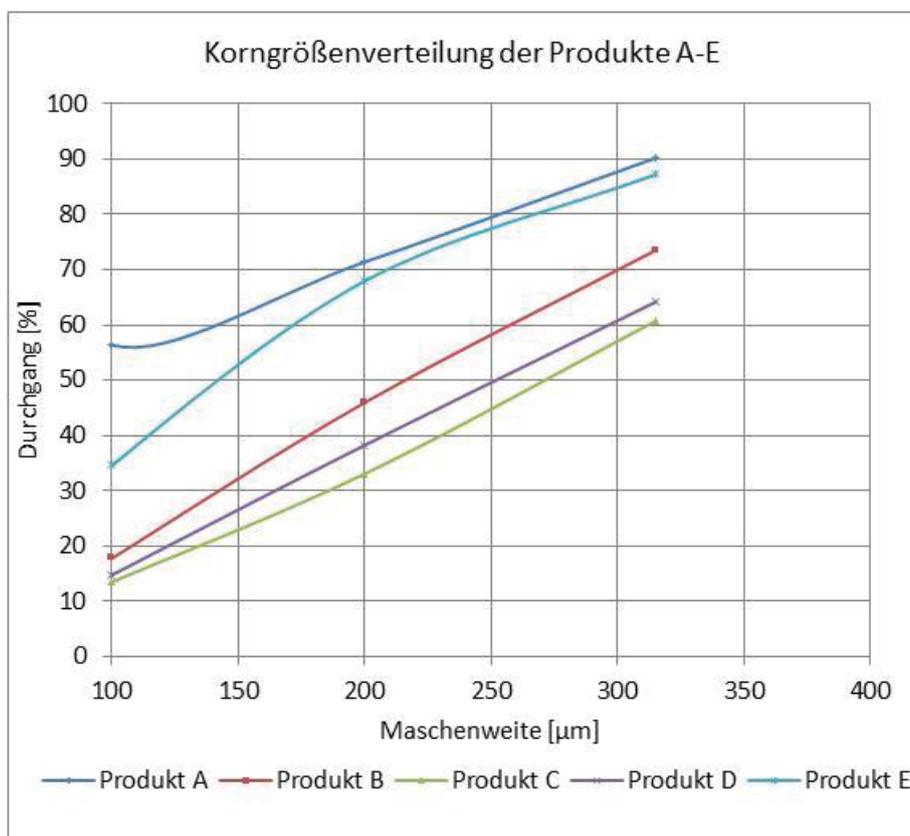


Abb. 48: Korngrößenverteilungen der Produkte A-E im linearen Netz

In den durch die Siebanalyse erhaltenen Fraktionen wurden die Glühverluste und damit in weiterer Folge der Talkgehalte bestimmt. Die Produkte A und B wurden für die Erstellung einer Teilungskurve zusammengefasst und als Konzentrat bezeichnet. Die Teilungskurve bezogen auf das Inhaltsausbringen an Talk ist in der nachfolgenden Abbildung 49 dargestellt.

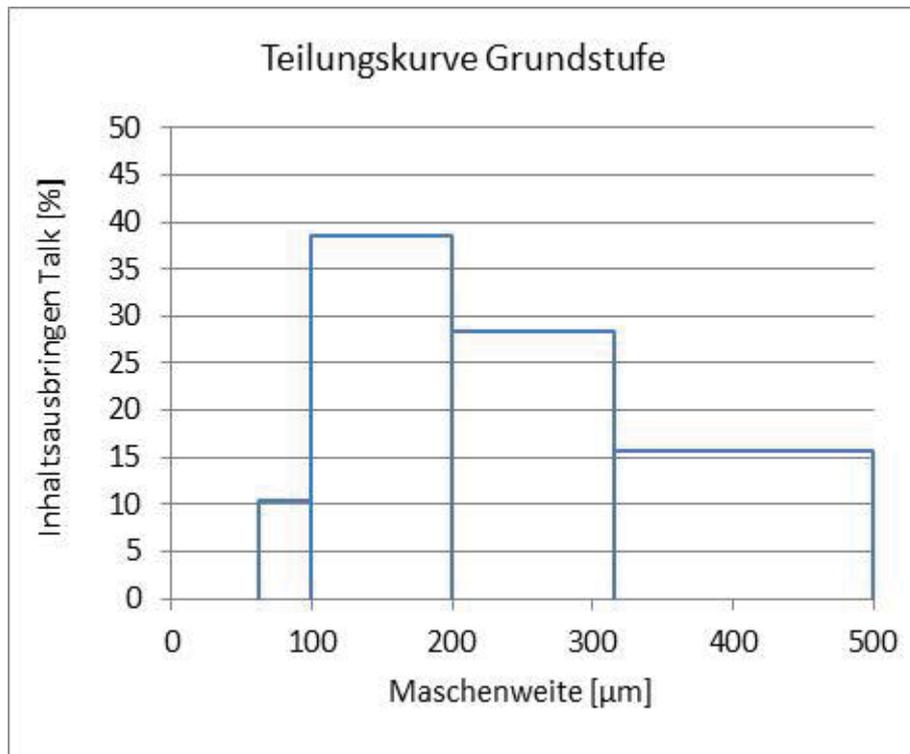


Abb. 49: Teilungskurve der Grundstufe

Aus der Teilungskurve ist ersichtlich, dass das höchste Inhaltsausbringen an Talk, mit 38,6 %, in der Fraktion 200/100 µm erzielt wird. In der Fraktion 300/200 µm kann noch ein Inhaltsausbringen von 28,4 % erreicht werden. In der Fraktion > 300 µm sinkt das Inhaltsausbringen auf 15,7 %. In der Fraktion 100/63 µm wird das geringste Inhaltsausbringen mit 10,4 % ermittelt. Die Betrachtung der Teilungskurve macht deutlich, dass die für den Freifallscheider optimale Aufgabekorngröße für dieses Rohgut in einem Bereich von 100 bis 300 µm liegt.

## 7. RESÜMEE

Die Untersuchung der Wechselwirkungen der Versuchsparameter macht deutlich, dass sich eine hohe Aufgabetemperatur und eine niedrige Luftfeuchte positiv auf das Masseausbringen und die Produktqualität auswirken. Die Versuche mit der Aufgabetemperatur von 120 °C erzielen im Durchschnitt betrachtet das höchste Masseausbringen an Konzentrat bei geringstem Glühverlust. Das Gleiche gilt für die Versuche mit der Luftfeuchte von 20-30 %. Kombiniert man die hohe Aufgabetemperatur mit der geringen Luftfeuchte, führt dies zu den besten Ergebnissen. Bei dieser Kombination werden das höchste Masseausbringen an Konzentrat der geringste Glühverlust erzielt. Zwischen den Versuchen, die sofort nach der Zerkleinerung und jenen, die 14 Tage nach der Zerkleinerung durchgeführt wurden, ist kein nennenswerter Unterschied zu erkennen. Allerdings wird durch die Versuchsreihe, die 14 Tage nach der Zerkleinerung durchgeführt wurde bestätigt, dass die Kombination von hoher Aufgabetemperatur und geringer Luftfeuchte die besten Ergebnisse erzielt.

Die Ermittlung der Aufgaberate zeigt, dass bei der Verdoppelung der Intensität der Vibrorinne von 40 % auf 80 %, der Durchsatz um 42,1 % gesteigert werden kann. Bei der Steigerung der Intensität verbessern sich auch das Masseausbringen und die Produktqualität des Konzentrates.

Die Durchführung der mehrstufigen Versuche zeigt, dass sich durch die erneute Aufgabe der Produkte der Grundstufe auf den Freifallscheider deren Qualitäten nochmals verbessern lassen. Die aus den mehrstufigen Versuchen erhaltenen Zwischenprodukte werden zu drei Endprodukten zusammengefasst. Die durch die gewählte Schaltungsvariante erzeugbaren Produktqualitäten sind in Tabelle 96 zusammengefasst.

|           | Masse-<br>ausbringen | GLV  | Talkgehalt | Inhalts-<br>ausbringen |
|-----------|----------------------|------|------------|------------------------|
|           | [%]                  | [%]  | [%]        | [%]                    |
| Produkt 1 | 8,3                  | 6,0  | 95,3       | 13,4                   |
| Produkt 2 | 19,0                 | 7,4  | 92,2       | 29,8                   |
| Produkt 3 | 34,9                 | 18,3 | 69,7       | 41,3                   |
| Berge     | 37,8                 | 40,3 | 24,1       | 15,5                   |
| Summe     | 100,0                | 23,5 | 58,9       | 100,0                  |

Tab. 96: erzeugbare Produktqualitäten

Im nachfolgenden Fließbild ist die für den Sortierprozesses gewählte Schaltungsvariante mit den dabei entstehenden Produkten dargestellt.

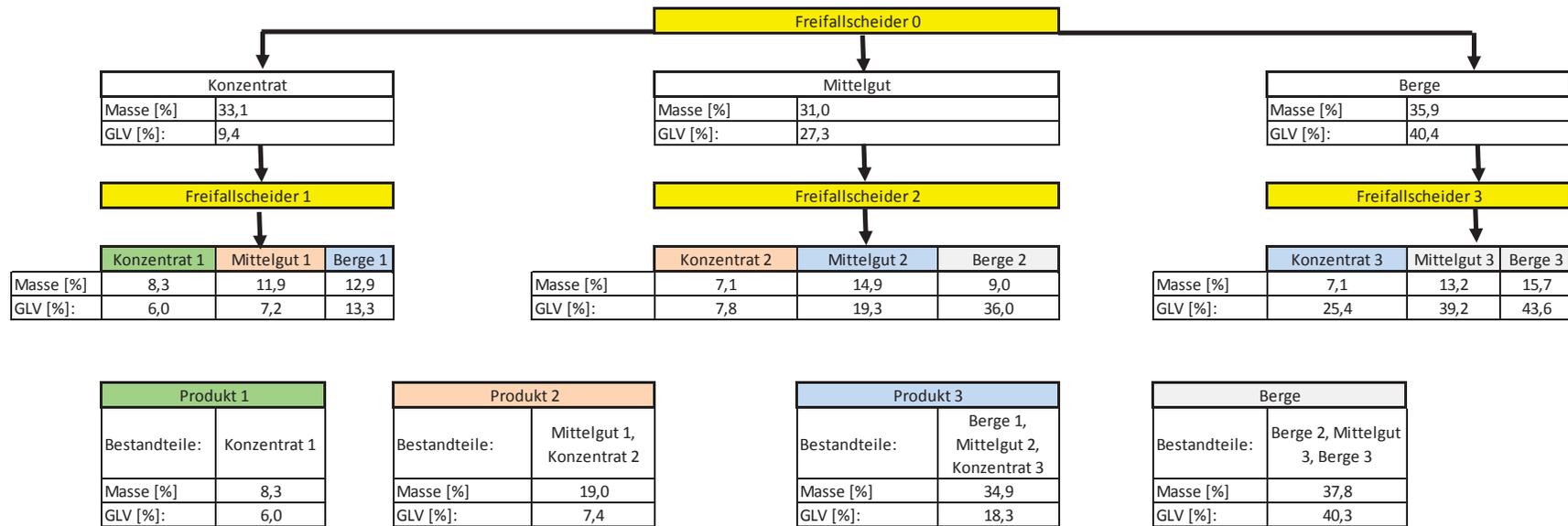


Abb. 50: Sortierprozess mit erzeugbaren Produkten

## 8. ANHANG ZUR PROJEKTSTUDIE

### 8.1. BERECHNUNGEN DER HENRY-/REINHARDT-SCHAUBILDER

| Dichteklasse         | Verwachsungscharakteristik |      |        |       | Sinkgutkurve |               |              | Schwimmgutkurve |               |                           |
|----------------------|----------------------------|------|--------|-------|--------------|---------------|--------------|-----------------|---------------|---------------------------|
|                      | Masse                      | GLV  | lij    | rij   | Summe Masse  | Mittlerer GLV | Summe Inhalt | 100-Summe rmj   | Mittlerer GLV | Gesamtinhalt-Summe Inhalt |
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]                        | [%]  | [%%]   | [%]   | [%]          | [%]           | [%%]         | [%]             | [%]           | [%%]                      |
|                      |                            |      |        |       | 0,0          |               |              | 100,0           | 26,3          | 2633,6                    |
| > 3,00               | 2,7                        | 50,4 | 135,7  | 5,2   | 2,7          | 50,4          | 135,7        | 97,3            | 25,7          | 2497,9                    |
| 3/2,85               | 37,7                       | 43,3 | 1633,0 | 62,0  | 40,4         | 43,7          | 1768,7       | 59,6            | 14,5          | 865,0                     |
| < 2,85               | 59,6                       | 14,5 | 865,0  | 32,8  | 100,0        | 26,3          | 2633,6       | 0,0             | 0,0           | 0,0                       |
| Summe                | 100,0                      | 26,3 | 2633,6 | 100,0 |              |               |              |                 |               |                           |

Tab. 97: Henry-/Reinhardt-Schaubild für die Klasse > 2 mm

| Dichteklasse         | Verwachsungscharakteristik |      |        |       | Sinkgutkurve |               | Schwimmgutkurve |               |               | Gesamtinhalt-Summe Inhalt |
|----------------------|----------------------------|------|--------|-------|--------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------------------|
|                      | Masse                      | GLV  | lij    | rij   | Summe Masse  | Mittlerer GLV | Summe Inhalt    | 100-Summe rmj | Mittlerer GLV |                           |
| [g/cm <sup>3</sup> ] | [%]                        | [%]  | [%%]   | [%]   | [%]          | [%]           | [%%]            | [%]           | [%]           | [%%]                      |
|                      |                            |      |        |       | 0,0          |               |                 | 100,0         | 25,7          | 2566,6                    |
| > 3,00               | 7,0                        | 50,2 | 350,6  | 13,7  | 7,0          | 50,2          | 350,6           | 93,0          | 23,8          | 2215,9                    |
| 3/2,85               | 35,3                       | 42,9 | 1511,5 | 58,9  | 42,3         | 44,1          | 1862,2          | 57,7          | 12,2          | 704,4                     |
| < 2,85               | 57,7                       | 12,2 | 704,4  | 27,4  | 100,0        | 25,7          | 2566,6          | 0,0           | 0,0           | 0,0                       |
| Summe                | 100,0                      | 25,7 | 2566,6 | 100,0 |              |               |                 |               |               |                           |

Tab. 98: Henry-/Reinhardt-Schaubild für die Klasse 2/1 mm

| Verwachsungscharakteristik |       |      |        |      | Sinkgutkurve |               |        | Schwimmgutkurve |               |               |
|----------------------------|-------|------|--------|------|--------------|---------------|--------|-----------------|---------------|---------------|
| Dichteklasse               | Masse | GLV  | lij    | rij  | Summe        | Mittlerer GLV | Summe  | 100-            | Mittlerer GLV | Gesamtinhalt- |
|                            |       |      |        |      | Masse        |               | Inhalt | Summe rmj       |               | Summe Inhalt  |
| [g/cm3]                    | [%]   | [%]  | [%%]   | [%]  | [%]          | [%]           | [%%]   | [%]             | [%]           | [%%]          |
|                            |       |      |        |      | 0,0          |               |        | 100,0           | 24,2          | 2422,5        |
| > 3,00                     | 7,2   | 44,4 | 320,1  | 12,2 | 7,2          | 44,4          | 320,1  | 92,8            | 22,7          | 2102,4        |
| 3/2,85                     | 38,1  | 42,8 | 1630,7 | 61,9 | 45,3         | 43,1          | 1950,7 | 54,7            | 8,6           | 471,7         |
| < 2,85                     | 54,7  | 8,6  | 471,7  | 17,9 | 100,0        | 24,2          | 2422,5 | 0,0             | 0,0           | 0,0           |
| Summe                      | 100,0 | 24,2 | 2422,5 | 92,0 |              |               |        |                 |               |               |

Tab. 99: Henry-/Reinhardt-Schaubild für die Klasse 1/0,5 mm

| Verwachsungscharakteristik |       |      |        |      | Sinkgutkurve |               |        | Schwimmgutkurve |               |               |
|----------------------------|-------|------|--------|------|--------------|---------------|--------|-----------------|---------------|---------------|
| Dichteklasse               | Masse | GLV  | lij    | rij  | Summe        | Mittlerer GLV | Summe  | 100-            | Mittlerer GLV | Gesamtinhalt- |
|                            |       |      |        |      | Masse        |               | Inhalt | Summe rmj       |               | Summe Inhalt  |
| [g/cm3]                    | [%]   | [%]  | [%%]   | [%]  | [%]          | [%]           | [%%]   | [%]             | [%]           | [%%]          |
|                            |       |      |        |      | 0,0          |               |        | 100,0           | 23,8          | 2376,9        |
| > 3,00                     | 1,6   | 45,5 | 74,4   | 2,8  | 1,6          | 45,5          | 74,4   | 98,4            | 23,4          | 2302,5        |
| 3/2,85                     | 41,6  | 43,9 | 1825,9 | 69,3 | 43,3         | 43,9          | 1900,3 | 56,7            | 8,4           | 476,6         |
| < 2,85                     | 56,7  | 8,4  | 476,6  | 18,1 | 100,0        | 23,8          | 2376,9 | 0,0             | 0,0           | 0,0           |
| Summe                      | 100,0 | 23,8 | 2376,9 | 90,3 |              |               |        |                 |               |               |

Tab. 100: Henry-/Reinhardt Schaubild für die Klasse 0,5/0,2 mm

| Verwachsungscharakteristik |       |      |        |      | Sinkgutkurve | Schwimmgutkurve |        |           |               |               |
|----------------------------|-------|------|--------|------|--------------|-----------------|--------|-----------|---------------|---------------|
| Dichteklasse               | Masse | GLV  | lij    | rij  | Summe        | Mittlerer GLV   | Summe  | 100-      | Mittlerer GLV | Gesamtinhalt- |
| [g/cm <sup>3</sup> ]       | [%]   | [%]  | [%%]   | [%]  | Masse        | [%]             | Inhalt | Summe rmj | [%]           | Summe Inhalt  |
|                            |       |      |        |      | [%]          |                 | [%%]   | [%]       |               | [%%]          |
|                            |       |      |        |      | 0,0          |                 |        | 100,0     | 21,8          | 2182,6        |
| > 3,00                     | 1,2   | 47,0 | 55,0   | 2,1  | 1,2          | 47,0            | 55,0   | 98,8      | 21,5          | 2127,6        |
| 3/2,85                     | 35,8  | 44,7 | 1596,8 | 60,6 | 36,9         | 44,7            | 1651,8 | 63,1      | 8,4           | 530,8         |
| < 2,85                     | 63,1  | 8,4  | 530,8  | 20,2 | 100,0        | 21,8            | 2182,6 | 0,0       | 0,0           | 0,0           |
| Summe                      | 100,0 | 21,8 | 2182,6 | 82,9 |              |                 |        |           |               |               |

Tab. 101: Henry-/Reinhardt Schaubild für die Klasse 0,2/0,1 mm

## 8.2. BILANZEN DER EINSTELLUNGSVERSUCHE DIREKT NACH DER MAHLUNG

| 1.) Aufgabe bei Umgebungstemperatur, Umgebungstemperatur 26,3°C, relative Luftfeuchte 25,7% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 17,1  | 8,1  | 90,9       | 1556,6 | 28,6              |
| B   | 8,4   | 13,0 | 80,7       | 678,6  | 12,5              |
| C   | 27,7  | 22,1 | 61,8       | 1712,0 | 31,5              |
| D   | 25,0  | 32,7 | 39,9       | 996,7  | 18,3              |
| E   | 21,7  | 41,0 | 22,6       | 491,1  | 9,0               |
| Summe   | 100,0 |      | 54,4       | 5435,0 | 100,0             |

Tab. 102: Bilanz zu Versuch Nr. 1

| 2.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 27,9°C, relative Luftfeuchte 24% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 25,3  | 7,4  | 92,3       | 2335,9 | 44,2              |
| B   | 8,8   | 11,9 | 83,0       | 728,4  | 13,8              |
| C   | 20,5  | 21,7 | 62,6       | 1283,8 | 24,3              |
| D   | 16,7  | 38,4 | 28,0       | 467,1  | 8,8               |
| E   | 28,7  | 44,1 | 16,2       | 465,3  | 8,8               |
| Summe   | 100,0 |      | 52,8       | 5280,5 | 100,0             |

Tab. 103: Bilanz zu Versuch Nr. 2

| 3.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 28,9°C, relative Luftfeuchte 59,7% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 13,3  | 21,6 | 62,8       | 834,4  | 15,6              |
| B   | 14,1  | 24,0 | 57,9       | 815,8  | 15,2              |
| C   | 30,6  | 26,1 | 53,5       | 1637,6 | 30,5              |
| D   | 23,4  | 27,4 | 50,9       | 1187,9 | 22,1              |
| E   | 18,6  | 28,9 | 47,7       | 889,7  | 16,6              |
| Summe   | 100,0 |      | 53,7       | 5365,4 | 100,0             |

Tab. 104: Bilanz zu Versuch Nr. 3

| 4.) Aufgabe ca. 120°C, Umgebungstemperatur 28,1°C, relative Luftfeuchte 55,6% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 20,2  | 8,3  | 90,5       | 1824,9 | 35,0              |
| B   | 10,3  | 12,3 | 82,2       | 848,3  | 16,3              |
| C   | 23,7  | 20,4 | 65,3       | 1550,5 | 29,7              |
| D   | 20,0  | 39,4 | 25,9       | 517,7  | 9,9               |
| E   | 25,8  | 43,0 | 18,4       | 474,6  | 9,1               |
| Summe   | 100,0 |      | 52,2       | 5216,1 | 100,0             |

Tab. 105: Bilanz zu Versuch Nr. 4

### 8.3. BILANZEN DER EINZELVERSUCHE 14 TAGE NACH DER MAHLUNG

| 5.) Aufgabel bei Umgebungstemperatur, Umgebungstemperatur 27,6°C, relative Luftfeuchte 28,3% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 14,5  | 8,7  | 89,6       | 1296,5 | 24,2              |
| B  | 8,3   | 12,4 | 82,0       | 678,0  | 12,6              |
| C  | 27,3  | 21,6 | 62,9       | 1714,9 | 32,0              |
| D  | 26,7  | 32,2 | 40,8       | 1088,1 | 20,3              |
| E  | 23,3  | 39,7 | 25,2       | 587,7  | 11,0              |
| Summe  | 100,0 |      | 53,7       | 5365,2 | 100,0             |

Tab. 106: Bilanz zu Versuch Nr. 5

| 6.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 29,3°C, relative Luftfeuchte 26% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 23,3  | 7,0  | 93,2       | 2171,6 | 36,1              |
| B   | 8,4   | 9,9  | 87,1       | 732,6  | 12,2              |
| C   | 24,1  | 15,8 | 74,8       | 1799,6 | 29,9              |
| D   | 19,4  | 32,9 | 39,5       | 764,4  | 12,7              |
| E   | 24,9  | 41,3 | 22,0       | 547,8  | 9,1               |
| Summe   | 100,0 |      | 60,2       | 6016,1 | 100,0             |

Tab. 107: Bilanz zu Versuch Nr. 6

| 7.) Aufgabe bei Umgebungstemperatur, Umgebungstemperatur 24,2°C, relative Luftfeuchte 61,5% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 9,1   | 16,1 | 74,3       | 674,7  | 12,4              |
| B   | 8,8   | 19,9 | 66,4       | 583,3  | 10,8              |
| C   | 34,0  | 25,5 | 54,7       | 1859,0 | 34,3              |
| D   | 31,2  | 27,8 | 50,0       | 1560,3 | 28,8              |
| E   | 16,9  | 30,7 | 44,0       | 745,2  | 13,7              |
| Summe   | 100,0 |      | 54,2       | 5422,5 | 100,0             |

Tab. 108: Bilanz zu Versuch Nr. 7

| 8.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 23,2°C, relative Luftfeuchte 55% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 21,0  | 7,7  | 91,7       | 1922,5 | 33,8              |
| B   | 9,6   | 12,3 | 82,0       | 790,2  | 13,9              |
| C   | 30,6  | 22,0 | 61,9       | 1895,1 | 33,3              |
| D   | 19,4  | 36,0 | 33,0       | 640,4  | 11,3              |
| E   | 19,4  | 41,0 | 22,7       | 438,8  | 7,7               |
| Summe   | 100,0 |      | 56,9       | 5687,0 | 100,0             |

Tab. 109: Bilanz zu Versuch Nr. 8

## 8.4. BILANZEN DER MEHRSTUFIGEN VERSUCHE

| Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 28,2°C, relative Luftfeuchte 25% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 20,8  | 8,2  | 90,6       | 1883,6 | 34,1              |
| B   | 9,4   | 14,4 | 77,8       | 728,7  | 13,2              |
| C   | 26,4  | 21,1 | 63,9       | 1683,7 | 30,5              |
| D   | 23,7  | 36,6 | 31,8       | 755,6  | 13,7              |
| E   | 19,7  | 40,5 | 23,6       | 465,8  | 8,4               |
| Summe   | 100,0 |      | 55,2       | 5517,4 | 100,0             |

Tab. 110: Bilanz zur Grundstufe der mehrstufigen Versuche

| Nachreinigung Konzentrat (A+B), Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 30,7°C, relative Luftfeuchte 24,2% |       |      |            |        |                   |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A   | 15,5  | 5,8  | 95,7       | 1486,4 | 16,8              |
| B   | 9,5   | 6,3  | 94,6       | 898,3  | 10,2              |
| C   | 36,0  | 7,2  | 92,7       | 3335,5 | 37,7              |
| D   | 25,3  | 10,1 | 86,7       | 2196,4 | 24,8              |
| E   | 13,6  | 19,1 | 68,0       | 928,3  | 10,5              |
| Summe   | 100,0 | 9,3  | 88,4       | 8844,8 | 100,0             |

Tab. 111: Bilanz zur Nachreinigung des Konzentrates

| Nachreinigung Mittelgut (C), Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 30,1°C, relative Luftfeuchte 25,1% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 12,6  | 7,1  | 93,0       | 1171,4 | 18,6              |
| B  | 10,2  | 8,8  | 89,4       | 912,0  | 14,5              |
| C  | 48,2  | 19,3 | 67,6       | 3257,8 | 51,8              |
| D  | 16,9  | 34,6 | 35,8       | 605,5  | 9,6               |
| E  | 12,1  | 38,0 | 28,8       | 348,5  | 5,5               |
| Summe  | 100,0 | 21,6 | 63,0       | 6295,3 | 100,0             |

Tab. 112: Bilanz zur Nachreinigung des Mittelgutes

| Nachreinigung Berge (D+E), Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 30,1°C, relative Luftfeuchte 25,0% |       |      |            |        |                   |
|--|-------|------|------------|--------|-------------------|
| Produkt  | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen |
|  | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               |
| A  | 11,3  | 21,2 | 63,7       | 722,6  | 25,8              |
| B  | 8,4   | 31,2 | 43,0       | 358,8  | 12,8              |
| C  | 36,7  | 39,2 | 26,3       | 965,3  | 34,5              |
| D  | 27,7  | 44,1 | 16,2       | 447,6  | 16,0              |
| E  | 15,9  | 42,8 | 19,0       | 302,2  | 10,8              |
| Summe  | 100,0 | 38,4 | 28,0       | 2796,6 | 100,0             |

Tab. 113: Bilanz zur Nachreinigung der Berge

## 8.5. BILANZEN DER DURCHSATZVERSUCHE

| 1.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 29,2°C, relative Luftfeuchte 25,8% |       |      |            |        |                   |       |           |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|-------|-----------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen | Zeit  | Durchsatz |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               | [s]   | [kg/h]    |
| Konzentrat  | 30,1  | 10,2 | 86,5       | 2598,4 | 47,9              |       |           |
| Mittelgut   | 26,0  | 22,1 | 61,7       | 1602,4 | 29,5              |       |           |
| Berge   | 44,0  | 38,4 | 27,9       | 1229,1 | 22,6              |       |           |
| Summe   | 100,0 |      |            | 5429,9 | 100,0             | 322,0 | 214,5     |

Tab. 114: Durchsatzversuch bei 40 % Intensität der Vibrorinne

| 2.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 29,2°C, relative Luftfeuchte 25,8% |       |      |            |        |                   |       |           |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|-------|-----------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen | Zeit  | Durchsatz |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               | [s]   | [kg/h]    |
| Konzentrat  | 32,9  | 9,1  | 88,8       | 2921,1 | 54,1              |       |           |
| Mittelgut   | 28,0  | 26,1 | 53,5       | 1497,6 | 27,8              |       |           |
| Berge   | 39,1  | 39,9 | 24,9       | 975,9  | 18,1              |       |           |
| Summe   | 100,0 |      |            | 5394,6 | 100,0             | 210,0 | 328,5     |

Tab. 115: Durchsatzversuch bei 60 % Intensität der Vibrorinne

| 3.) Aufgabe bei ca. 120°C, Umgebungstemperatur 29,2°C, relative Luftfeuchte 25,8% |       |      |            |        |                   |       |           |
|---|-------|------|------------|--------|-------------------|-------|-----------|
| Produkt   | Masse | GLV  | Talkgehalt | Inhalt | Inhaltsausbringen | Zeit  | Durchsatz |
|   | [%]   | [%]  | [%]        | [%%]   | [%]               | [s]   | [kg/h]    |
| Konzentrat  | 33,1  | 9,4  | 88,1       | 2919,7 | 54,5              |       |           |
| Mittelgut   | 31,0  | 27,3 | 51,0       | 1578,6 | 29,5              |       |           |
| Berge   | 35,9  | 40,4 | 23,9       | 857,4  | 16,0              |       |           |
| Summe   | 100,0 |      |            | 5355,7 | 100,0             | 187,0 | 370,5     |

Tab. 116: Durchsatzversuch bei 80 % Intensität der Vibrorinne