

Masterarbeit

**Untersuchungen zum Dispergierverhalten
in einem Querstrom-Korbsichter**



**Ausgeführt am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung an der
Montanuniversität Leoben**

Von
Christian Streicher, BSc.

Betreut durch
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Helmut Flachberger

Leoben, Januar 2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Affidavit

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

Datum

Unterschrift

Danksagung

Ich möchte hiermit besonders meinen Eltern danken. Sie waren es, die mir das Studium ermöglichten und mich unermüdlich darin unterstützten, eine schöne Studienzeit zu erleben.

Weiters gilt mein Dank all meinen Freunden, ehemaligen und aktuellen WG-Kollegen und Studienkollegen, und ganz besonders meiner Freundin Karin. Ohne sie alle wäre das Studium nur halb so lustig gewesen.

Außerdem möchte ich mich auch bei all jenen bedanken, die eine wichtige Rolle bei der Erstellung der hier vorliegenden Arbeit eingenommen haben. Speziell erwähnen möchte ich hier die Firma Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH, die das Thema zur Verfügung gestellt hat, die Mitarbeiter der Firma PMT Jetmill GmbH, die mich bei der Apparateentwicklung und der Versuchsdurchführung tatkräftig unterstützt haben, sowie die Mitarbeiter am Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung an der Montanuniversität Leoben.

Kurzfassung

Der Schritt der Dispergierung ist in vielen aufbereitungstechnischen Prozessen von großer Bedeutung, so auch in der Windsichtung. In Querstrom-Korbsichtern sind dabei zwei Vorgänge von Bedeutung. Der erste ist die möglichst vollständige Desintegration von Agglomeraten im Aufgabegut, um die Körner einzeln dem Sichtprozess zu zuführen. Der zweite ist die möglichst gleichmäßige Verteilung des Aufgabegutes um den Umfang des Drehkorbes, da eine bessere Verteilung sowohl ein besseres Trennergebnis als auch einen erhöhten Massendurchsatz ermöglicht. Um die Vorgänge bei der Dispergierung beobachten und die Einflüsse messtechnisch erfassen zu können, wurde eine entsprechende Versuchsanordnung entwickelt. Im Anschluss an die Inbetriebnahmephase wurden die Vorgänge hinsichtlich der erwähnten Verteilung um den Umfang und Möglichkeiten zu deren Verbesserung systematisch untersucht. Dies beinhaltete die Erhebung des Einflusses von Anzahl, Form und Platzierung der Aufgabestellen sowie der Umfangsgeschwindigkeit des Dispergiertellers. Weiters wurden die Effekte von Variationen im Aufgabemassestrom und von unterschiedlichen Aufbauten am Dispergierteller, wie z.B. verschiedenen Mitnehmerschaukeln, untersucht. Die Untersuchungen zeigten, dass insbesondere die konstruktive Ausgestaltung des Aufgabestützens einen erheblichen Einfluss auf das Dispergierverhalten hatte, wohingegen die Montage von Mitnehmerschaukeln keine zufriedenstellende Wirkung zeigte.

Abstract

Title: Studies conducted to the dispersion in a transverse air-stream cage-sifter

The dispersion step is of great relevance to a lot of mineral processing procedures. The process of wind sifting is no exception in this context. In transverse air-stream cage-sifters two acts are of importance in the dispersion step. The first one is to completely disintegrate agglomerates, which are contained in the feed material, as far as possible, so that the particles can be individually supplied to the actual separation process. The second part is to create an almost even distribution of feed material over the circumference of the cage, because a more even distribution results in a better overall performance of the sifting process. This applies to the quality of the separation as well as to the quantity of processable material per hour. To be able to observe the dispersion process and measure the influences on it, a suitable experimental apparatus was designed. Subsequent to the start-up phase the processes concerning the distribution over the circumference and possible improvements were investigated. This includes the influence of the number, design and placement of the feed inlets and also the peripheral velocity of the distribution plate. Furthermore the effect of the mass flow rate of the feed and of installations on the distribution plate, like for example carrier blades to take along the material, were analyzed. The analysis of the outcomes showed, that the design of the feed inlet has a considerably positive effect regarding the dispersion characteristics, whereas carrier blades did not have a sufficient impact on the outcome of the tests.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	1
2	Zusammenfassung	3
3	Stand der Technik	6
4	Herausforderung	11
5	Versuchsmaterialien	14
6	Entwicklung des Versuchsstandes.....	16
6.1	Grundlegende Gestaltung des Versuchsaufbaus	16
6.2	Der Inbetriebnahmephase der Versuchsanlage	18
7	Versuchsdurchführung und Ergebnisse	25
7.1	Korngrößenspezifischer Abwurfort.....	25
7.2	Ermittlung des Einflusses der Anzahl der Aufgabestellen, der Form des Dispergiertellers und der Umfangsgeschwindigkeit	27
7.3	Erste Versuche mit Mitnehmerschaufeln.....	33
7.4	Versuche zum Einfluss der Form der Auslassstutzen und deren Position über dem Teller.....	35
7.5	Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Anordnungen von ungekrümmten Mitnehmerschaufeln	39
7.6	Untersuchungen zum Einfluss gekrümmter Mitnehmerschaufeln	45
8	Diskussion der Ergebnisse und Ausblick.....	47
9	Verzeichnisse	50
9.1	Literatur.....	50
9.2	Abbildungen.....	51
10	Anhang	53
10.1	Messdaten Lasergranulometer	53
10.2	Versuchstafel	54
10.3	Schematische Darstellungen der Tellerformen.....	55

1 Aufgabenstellung

Ziel dieser Masterarbeit war die versuchstechnische Erfassung der Vorgänge zur Dispergierung in einem Querstrom-Korbsichter und, in weiterer Folge, das Aufzeigen und die Erprobung von Möglichkeiten zu deren Verbesserung. Im Zuge dieser Untersuchungen war eine Versuchsanordnung zu entwickeln, welche in ihren Grundzügen aus einem Dispergierteller mit Antrieb und einer geeigneten Aufgabeeinrichtung bestand, die im Zuge der Inbetriebnahmephase im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses an die Erfordernisse der durchzuführenden Versuche angepasst wurde.

Die Versuche wurden in Form einer systematischen Parameterstudie durchgeführt, wobei folgende Parameter untersucht wurden:

- Einfluss auf die Korngrößenverteilung
In diesem Zusammenhang war abzuklären, inwieweit es durch die Dispergierung zu einer Entmischung bezüglich der Verteilung der Korngrößenklassen um den Umfang kommt.
- Umfangsgeschwindigkeit des Dispergiertellers
Das Ziel war die Evaluierung der Abhängigkeit des Dispergiererfolgs von der über die Tellerdrehzahl eingestellten Umfangsgeschwindigkeit des Dispergiertellers.
- Aufgabestelle
Hierbei sollte ermittelt werden, wie sich Lage, Anzahl und Form der Aufgabestellen auf das Dispergierergebnis auswirken.
- Höhe des Aufgabemassestrom
Es sollte die Ermittlung des Einflusses des Massestroms auf die Versuchsergebnisse ermittelt werden.

- Dispergiertellerformen

Ziel war die Untersuchung des Einflusses zweier Formen des Tellers auf die Dispergierung. Dabei handelte es sich um eine ballige und eine konische Ausführung (schematische Darstellungen der Tellerformen sind im Anhang zu finden). Weiters sollte der Einfluss von Aufbauten am Teller verifiziert werden. Wichtig erschienen hierbei insbesondere die Anzahl der Aufbauten und deren Form (Leitbleche, Mitnehmerschaukeln).

2 Zusammenfassung

Der erste Schritt bestand aus der Festlegung der zu verwendenden Versuchsmaterialien. Hierbei wurde auf Quarzsand und Zement-Rohmehl zurückgegriffen.

In der folgenden Inbetriebnahmephase der Versuchsanordnung war der erste Schritt die Optimierung des Ausflusses aus dem Aufgabecontainer. Nachdem anfängliche Versuche, den Behälter durch Aufgabe mittels Handschaufel oder Vibrationsrinne zu ersetzen, nicht zu den gewünschten Ergebnissen führten, resultierten spätere Ansätze in der Verwendung des Aufgabecontainers und einer Druckluftlanze zur Herstellung gleichmäßiger Ausflussbedingungen. Diese Methodik der Materialaufgabe wurde bei den meisten Versuchsreihen eingesetzt. Abbildung 2-1 zeigt eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

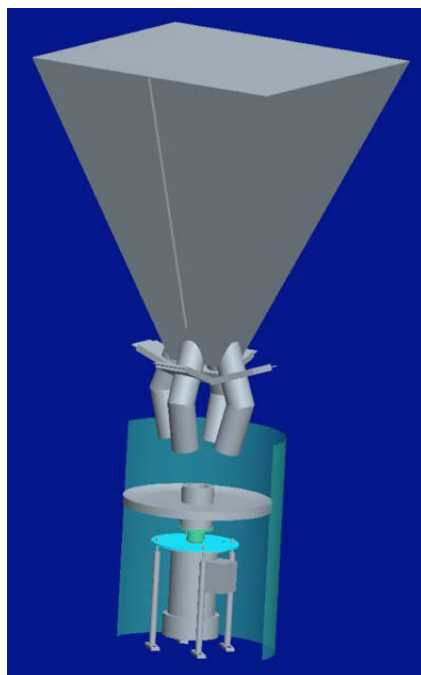


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Schon bei den ersten Versuchen fiel eine - durch den rotierenden Dispergierteller verursachte - Aufströmung und die, daraus resultierende, starke Staubentwicklung auf, welche mittels Folien zum Abschluss des Einhausungszylinders eingedämmt werden konnte. Weiters verschleppte

eine - ebenfalls durch den Teller erzeugte - Kreisströmung das auf dem Boden abgelagerte Material. Eine Auswertung der Ablagerungen wurde schlussendlich durch eine Unterteilung des Abwurfraumes in abgetrennte Sektoren ermöglicht.

Nachdem die Analyse der ersten Versuche - sowohl für Quarzsand, als auch für Zement-Rohmehl - kein korngößenspezifisches Abwurfverhalten zeigte, wurde in weiterer Folge nur mehr Zement-Rohmehl als Aufgabematerial eingesetzt. Im Anschluss daran wurden Untersuchungen zum Einfluss der Anzahl der Aufgabestellen durchgeführt, mit deren Hilfe nachgewiesen werden konnte, dass zwei Aufgabestellen ein deutlich besseres Dispergierergebnis liefern, als eine.

In der nächsten Versuchsreihe wurde die Materialaufgabe mittels Vibrationsrinne realisiert. Dies diente der Evaluierung des Einflusses des Aufgabemassestroms auf das Dispergierergebnis. Hierbei wurde festgestellt, dass bei geringen Masseströmen der - durch den Teller verursachte - Aufstrom einen deutlichen Einfluss auf den Versuchsausgang hatte. Aus diesem Grunde wurde in weiterer Folge ausschließlich der Aufgabecontainer zur Materialaufgabe herangezogen.

Ein weiterer zu untersuchender Einflussfaktor auf die Dispergierung war die Form des Streutellers, wobei eine ballige und eine konische Tellerform zum Einsatz kamen (schematische Darstellungen dieser sind im Anhang zu finden). Mittels dieser Versuche konnte nachgewiesen werden, dass die Abhängigkeit des Dispergierergebnisses von der Umfangsgeschwindigkeit mit der verwendeten Tellerform verknüpft ist. Somit ist es von der im Sieb gefahrenen Drehzahl abhängig, welche Tellerform ein besseres Dispergierergebnis liefert.

Bei den folgenden Untersuchungen wurden zwei unterschiedlich geformte Ausflusstutzen miteinander verglichen, wobei zusätzlich der Einfluss der Position der Aufgabestelle untersucht wurde. Die im Vergleich zum einfachen Rohr etwas aufwendigere, unten abgeschlossene Form mit zwei seitlichen Auslassöffnungen (Abbildung 2-2), konnte vor allem bei Aufgabe nahe dem äußeren Tellerrand überzeugen.



Abbildung 2-2: Modifizierter Auslassstutzen

Die abschließenden Untersuchungen zum Einfluss von Mitnehmerschaufeln auf dem konischen Teller zeigten, dass bei unterschiedlicher Formgebung dieser Mitnehmerschaufeln kein ausreichender Einfluss auf das Abwurfverhalten genommen werden konnte, um mit einer einzelnen Aufgabestelle eine vollkommen gleichmäßige Verteilung über den Umfang zu erzielen. Auch gekrümmte, gegen die Drehrichtung geneigte Mitnehmerschaufeln konnten keine ausreichende Änderung des Abwurfverhaltens herbeiführen. Abbildung 2-3 zeigt den Entwicklungsendstand der Versuchsanlage.



Abbildung 2-3: Entwicklungsendstand der Versuchsanlage

3 Stand der Technik

Das dominierende Anwendungsgebiet von Querstrom-Korbsichtern liegt in der Zementindustrie, wobei diese sowohl zur Sichtung des Mühlenausstrags der Zement-Rohmehlmahlung, als auch der Zementmahlung eingesetzt werden. Weitere Anwendungsgebiete sind zum Beispiel die Sichtung von Flugasche, Quarzsand und Kohle.

Das Material wird zur Dispergierung auf den oberen Teil des rotierenden Korbes aufgegeben und von diesem in den Sichtraum verteilt. Da der Dispergierteller fix mit dem Korb verbunden ist, kann die Drehzahl für die Dispergierung nicht separat von der Korbdrehzahl gesteuert werden. Standardmäßig erfolgt die Aufgabe über ein oder zwei Aufgabestellen. Die Achse des Korbes ist hierbei vertikal angeordnet, das Sichtgut fällt aufgrund der Schwerkraft in den Sichtraum hinab. Dort trifft es auf den horizontal und somit quer zur Fallrichtung des Gutes geleiteten Sichtluftstrom.

Die Ableitung der Sichtluft erfolgt durch den rotierenden Korb, wobei das Grobgut von diesem abgewiesen wird und nach unten in den Grobgutaustrag fällt. Das Feingut wird durch den Korb mit der Sichtluft ausgetragen. Der Feingutaustrag kann sowohl nach oben als auch nach unten erfolgen, wobei dies auch Einfluss auf die bauliche Ausführung und die Dispergierung des Aufgabegutes hat. Erfolgt der Feingutaustrag nach unten, wird die Antriebswelle des Korbes nach oben geführt, wobei der Motor oben auf dem Aggregat platziert wird (Abbildung 3-1). Dadurch kann das Aufgabegut zentraler auf den Dispergierteller aufgegeben werden. Wird das Feingut nach oben ausgetragen (Abbildung 3-2), wird der Motor unter dem Aggregat platziert. Durch den Platz, den der Austrag nach oben erfordert, wird der Aufgabebereich auf den Dispergierteller auf eine kleine Ringfläche am Umfang des Korbes reduziert.

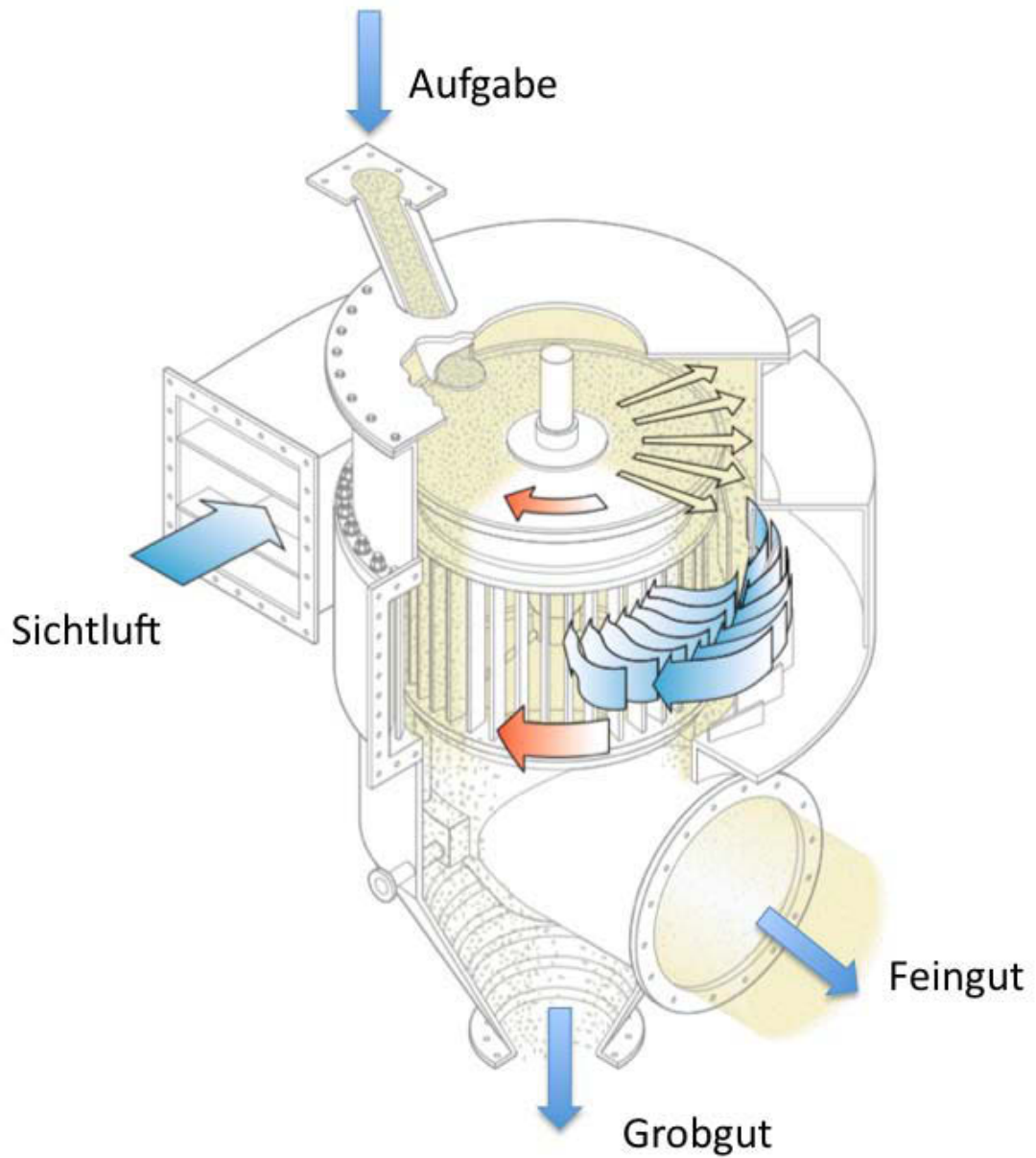


Abbildung 3-1: Prinzip der QDK-Serie der Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH (Feingutaustrag nach unten)[1]

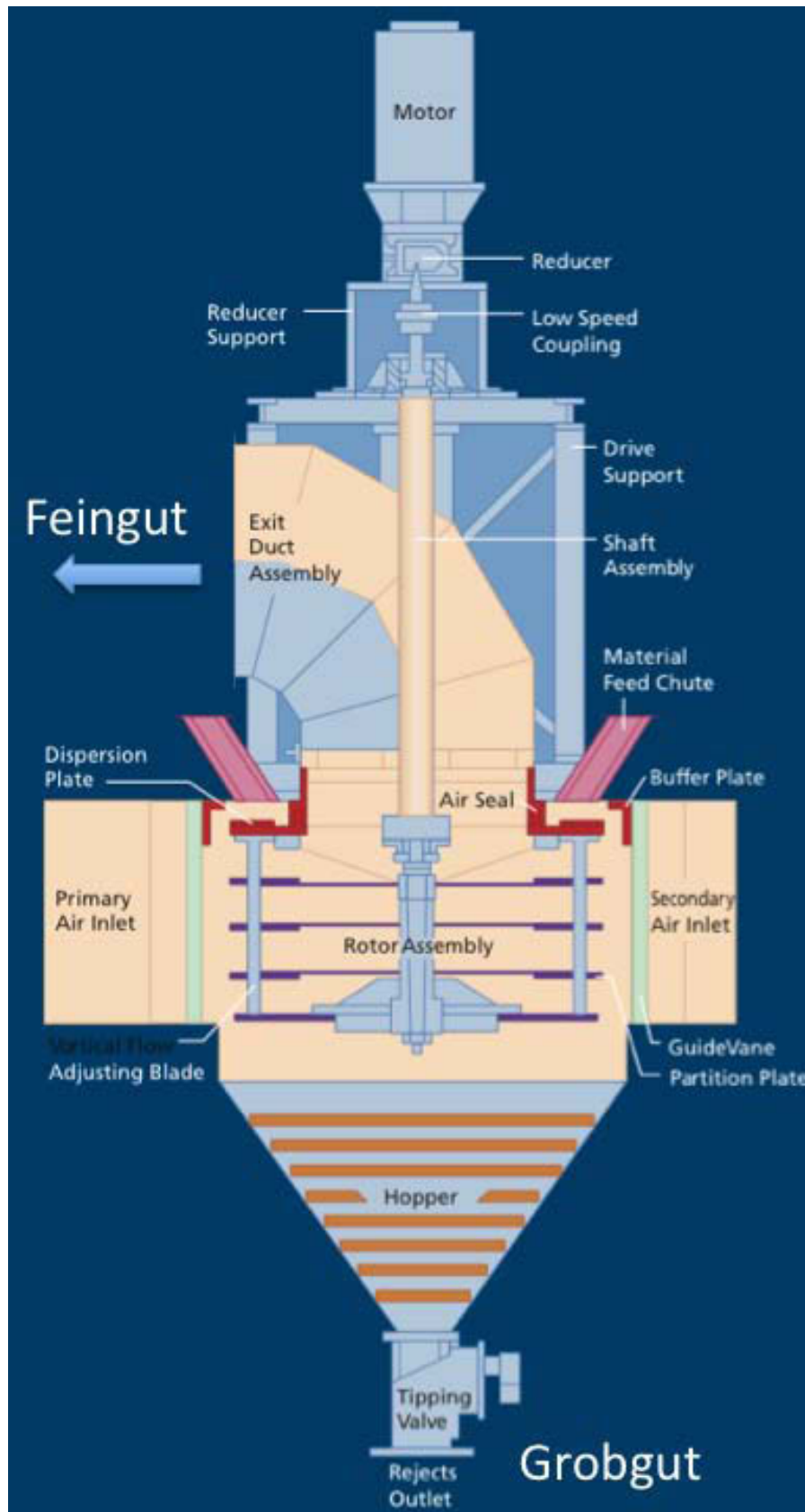


Abbildung 3-2: Prinzip der O-Sepa Separator Serie der F.L.Smith A/S (Feingutaustrag nach oben)[2]

Die meisten Querstrom-Korbsichter werden als Durchluft-Sichter betrieben. Die Steuerung des Trennschnittes erfolgt über die Regulierung der Sichtluftmenge und die Veränderung der Drehzahl des Korbes. Der folgende Überblick soll einen Eindruck der gängigen Daten von aktuellen Querstrom-Korbsichtern vermitteln. Das Datenmaterial wurde aus aktuellen Prospekten folgender namhafter Sichterhersteller entnommen: Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH, F.L.Smidth A/S, KHD Humboldt Wedag GmbH, Polysius AG, Hosokawa Alpine AG.

- Durchsatz

Die Aufgaberraten liegen zwischen 4 und 1.500 t/h, abhängig von der Baugröße des Sichters. Die zugehörigen Feingutausträge liegen in etwa zwischen 2 und 600 t/h.

- Sichtluftmenge

Die benötigte Sichtluftmenge liegt bei 15.000 bis 500.000 m³/h für die gängigen Exemplare. Die größten Aggregate benötigen bis zu 1.000.000 m³/h.

- Korbabmessungen

Die Korbdurchmesser variieren standardmäßig zwischen 0,5 und 4,5 m, bei den größten Aggregaten können diese bis zu 10 m erreichen. Gängige Korbhöhen sind 0,3 bis 2,5 m. Dies entspricht auf die Korbfläche bezogenen Volumenströmen von 3,4 bis 5,0 m³/m²s.

- Korbdrehzahl

Die Umfangsgeschwindigkeiten des Korbes liegen normalerweise zwischen 10 und 40 m/s. Für kleine Sichter ergeben sich daher Drehzahlen von ca. 500 bis 1.500 U/min, für große Sichter ca. 50 bis 200 U/min.

- Beladungen

Die Beladungen der Sichtluft liegen bei 2,2 kg/m³ für die Grobgutbeladung und 0,75 kg/m³ für die Feingutbeladung.

- Antriebsleistung
Typische Antriebsleistungen für die genannten Aggregatgrößen liegen zwischen 20 und 500 kW.
- Trennschnitt
Die Trennschnittlage kann typischerweise von 20 bis 200 μm variiert werden, wobei klassische Trennschnitte bei 30 bis 40 μm liegen. Die Anforderungen an die Entwicklung gehen in Richtung von Trennschnitten $\leq 15 \mu\text{m}$.

4 Herausforderung

Bei dem diesen Untersuchungen zu Grunde liegenden Sichter handelt es sich um einen Querstromdrehkorb-Sichter QDK 8,5 der Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH. Der Korbdurchmesser dieses Sichters beträgt 680 mm und die Korbhöhe 350 mm. Der Innendurchmesser der Seitenwand, welche als Prallwand dient, beträgt 820 mm. Die Aufgabe erfolgt über 2 Materialeinläufe etwas außerhalb der Mitte zwischen Tellerachse und Tellerrand. Die Auslassstutzen sind unten geschlossen und haben jeweils 2 seitliche Öffnungen, über welche das Material auf den Teller gelangt. Die maximale Aufgabemenge liegt bei 10 t/h, die maximale Umfangsgeschwindigkeit bei 40 m/s. Der Betriebspunkt für Normalzement liegt bei 14 m/s. Die maximale Aufgaberrate für Zement liegt bei 20 t/h, die entsprechende Menge an produziertem Feingut bei 9 t/h. Der Sichtluftstrom wird mittels einer Einlaufspirale über ein Schaufelsystem tangential in den fallenden Materialstrom gelenkt, wobei die benötigte Sichtluftmenge maximal 11000 Bm³/h beträgt. Abbildung 3-1 zeigt eine Skizze des beschriebenen Aggregats.

Für die Erzielung eines guten Sichterergebnisses spielt die Dispergierung eine wichtige Rolle, insbesondere hinsichtlich der Desintegration von eventuell vorhandenen Agglomeraten im Aufgabegut. Solche Verklumpungen erhöhen den Feingutanteil im Grobgut, da Partikel, welche eigentlich mit dem Feingut ausgetragen werden sollten, in das Grobgut mitgerissen werden. Um also möglichst alle Partikel einzeln dem Sichtprozess zu zuführen, muss das zu sichtende Gut vor Eintritt in den Sichtraum entsprechend dispergiert werden.

Der erste Schritt der Dispergierung erfolgt durch die Beanspruchung beim Auftreffen des Materials auf den Dispergierteller. Von diesem Moment an wird das Gut auf der Tellerfläche beschleunigt und durch die Zentrifugalbeschleunigung aufgrund der Rotationsbewegung an den Tellerrand gefördert, wo es vom Teller abgeworfen wird.

Die Bewegung, welche das Gut auf dem Teller vollführt, ist äußerst schwierig zu beschreiben, wobei die Problematik bereits im Bereich der

Agrarforschung Ende der sechziger Jahre behandelt wurde [3][4][5]. Untersuchungen hierzu wurden vor allem in Zusammenhang mit dem Verhalten von Düngergranulaten auf Schleuderdüngerstreuern durchgeführt. Die größten Unterschiede zur Problematik in Sichtern sind hierbei der ausschließliche Einsatz von Drehtellern mit Mitnehmerschaufeln und die wesentlich gröbere Korngröße des Granulats im Vergleich zu z.B. Zement.

Befinden sich auf dem Teller radial angeordnete Mitnehmerschaufeln, so kann man davon ausgehen, dass das Material, sobald es Kontakt zu der Schaufel hat, sich mit der selben Geschwindigkeit um die Tellermitte bewegt wie der Teller selbst. Ausschlaggebend für die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Material nun in radialer Richtung – also in Richtung Tellerrand – bewegt, ist die Reibung zwischen Teller und Körnern [6]. Kennt man diesen Reibwert, so kann man auf die Geschwindigkeitsverhältnisse zum Abwurfzeitpunkt schließen und mit Hilfe einer Reihenentwicklung die Flugbahn errechnen [7].

Hier treten mehrere Herausforderungen auf. Die Bewegung der Körner auf dem Teller kann nicht eindeutig definiert werden. Es ist nicht klar, ob es sich um Gleiten, Rollen, eine Abfolge von Stößen oder eine nicht näher definierbare Zusammensetzung aus allen drei handelt. Daher ist auch nicht näher bestimmbar, wie stark die Körner vom Dispergierteller beschleunigt werden und mit welcher Geschwindigkeit sie den Teller verlassen. Weiters spielt in jenem Korngrößenbereich, wie er in Sichtern üblicherweise vorliegt, der Luftwiderstand der Körner eine erhebliche Rolle.

Im Zusammenhang mit der Problematik der nicht bestimmbaren Art der Körnerbewegung spielt auch die Reibung eine Rolle. Da es sich nicht um die Bewegung eines Einzelkorns, sondern um jene eines Körnerschwarms handelt, treten je nach Ort der Betrachtung unterschiedliche Reibungsverhältnisse auf. Einerseits tritt Reibung zwischen Korn und Telleroberfläche auf, welche mit einem Verschleißschutz versehen ist, andererseits tritt auch Reibung zwischen den Körnern im Kollektiv auf. Dadurch ist der Einfluss der Reibung schwierig zu bestimmen, besonders im Zusammenhang mit unbekannter Bewegungsart. Außerdem handelt es sich bei dem für die Versuche in dieser Arbeit hauptsächlich verwendeten

Material um Zement-Rohmehl. Da es sich dabei um Mineralgemisch handelt, ergeben sich zusätzlich unterschiedliche Reibungsverhältnisse, abhängig von den in Kontakt stehenden Materialien.

Werden nun Mitnehmerschaufeln auf den Dispergierteller montiert, so vereinfachen sich zwar die Verhältnisse bezüglich der auf das am Teller befindliche Material wirkenden Beschleunigungskräfte, doch bezüglich der Reibwerte erhöht sich die Anzahl der Kombinationen, da auf den Mitnehmerschaufeln kein Verschleißschutz aufgebracht ist.

Nach dem Verlassen des Tellers trifft das Gut auf die Seitenwände, wo es durch den Aufprall nochmals zu einer dispergierenden Wirkung kommt, bevor das Material in den darunterliegenden Sichtraum fällt. Der Dispergierteller hat im Zuge der Beschleunigung des aufgegebenen Gutes auch die Aufgabe, das zu sichtende Material möglichst gleichmäßig über den Umfang zu verteilen, da eine gleichmäßigere Verteilung eine bessere Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Sichtraumes bedeutet. In diesem Zusammenhang war nun zu klären, in welcher Weise sich unterschiedliche Formgebungen des Tellers, Mitnehmerschaufeln, unterschiedliche Aufgabemengen und Aufgabestellen auf diese Verteilung über den Umfang auswirken.

5 Versuchsmaterialien

5.1.1 Zement-Rohmehl

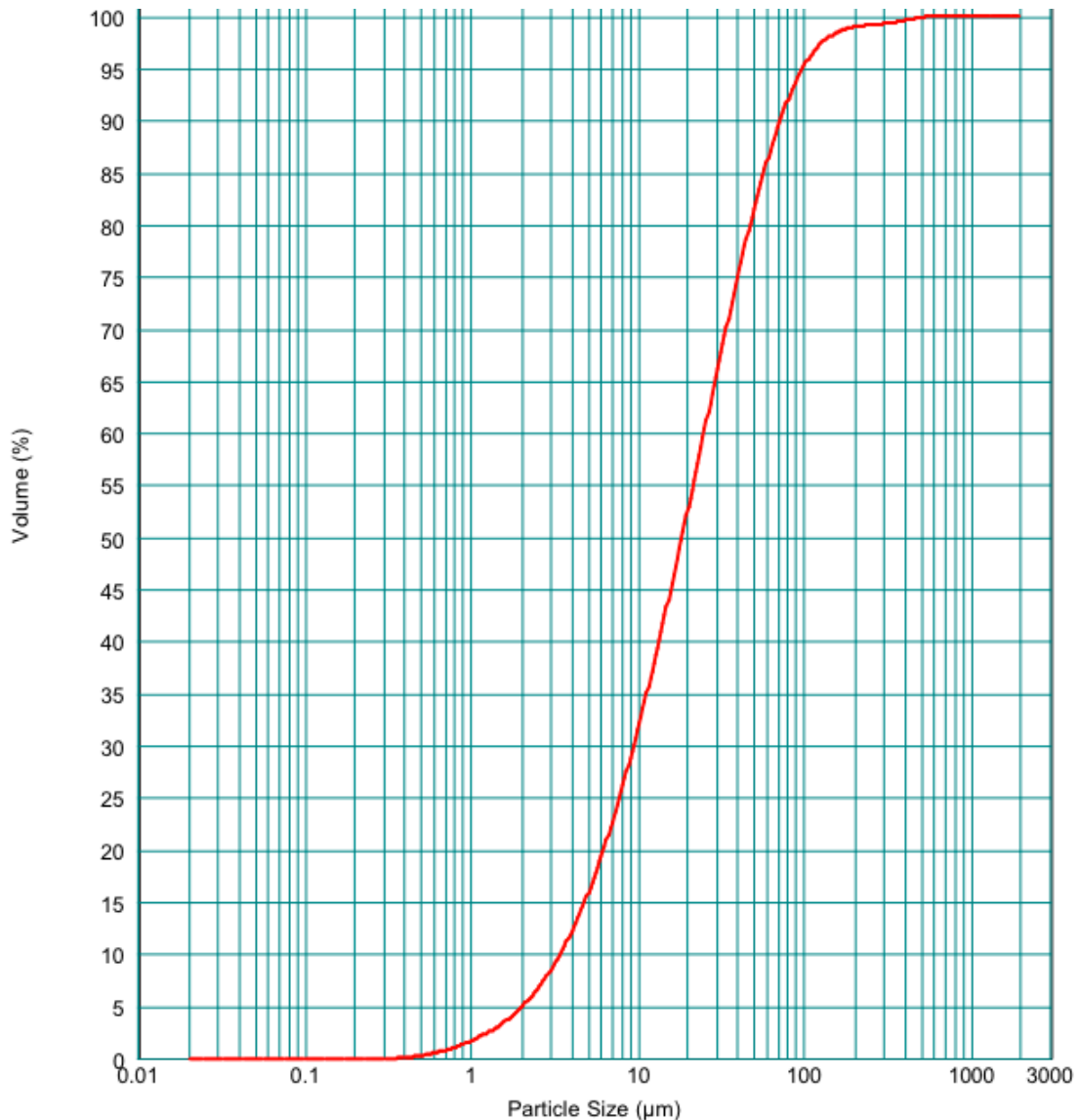


Abbildung 5-1: Korngrößenverteilung des Zement-Rohmehls

Zur Durchführung der Versuche wurde hauptsächlich Zement-Rohmehl als Aufgabematerial verwendet. Die Probe mit einer Gesamtmasse von ca. 2 t wurde am 23.07.2009 zwischen 09:30 und 11:00 im Werk Peggau der Firma Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH von einer Bandwaage direkt vor der Aufgabe auf die Pelletierteller entnommen. Im Zuge dieser Probenahme wurde unter Berücksichtigung der Regeln für eine korrekte Probenahme [8] eine Teilprobe von 2 kg zur Bestimmung der

Materialeigenschaften entnommen. Vor der Ermittlung der Korngrößenverteilung im Lasergranulometer wurde eine Bestimmung der in Wasser löslichen Anteile durchgeführt, welche keine in Wasser löslichen Komponenten zeigte. Die Lasergranulometrie wurde auf einem Mastersizer 2000 der Firma Malvern durchgeführt. Abbildung 5-1 zeigt das Ergebnis dieser Messungen. Die genauen Gerätedaten und die verwendeten Einstellungen und Messbedingungen sind im Anhang zu finden.

5.1.2 Quarzsand

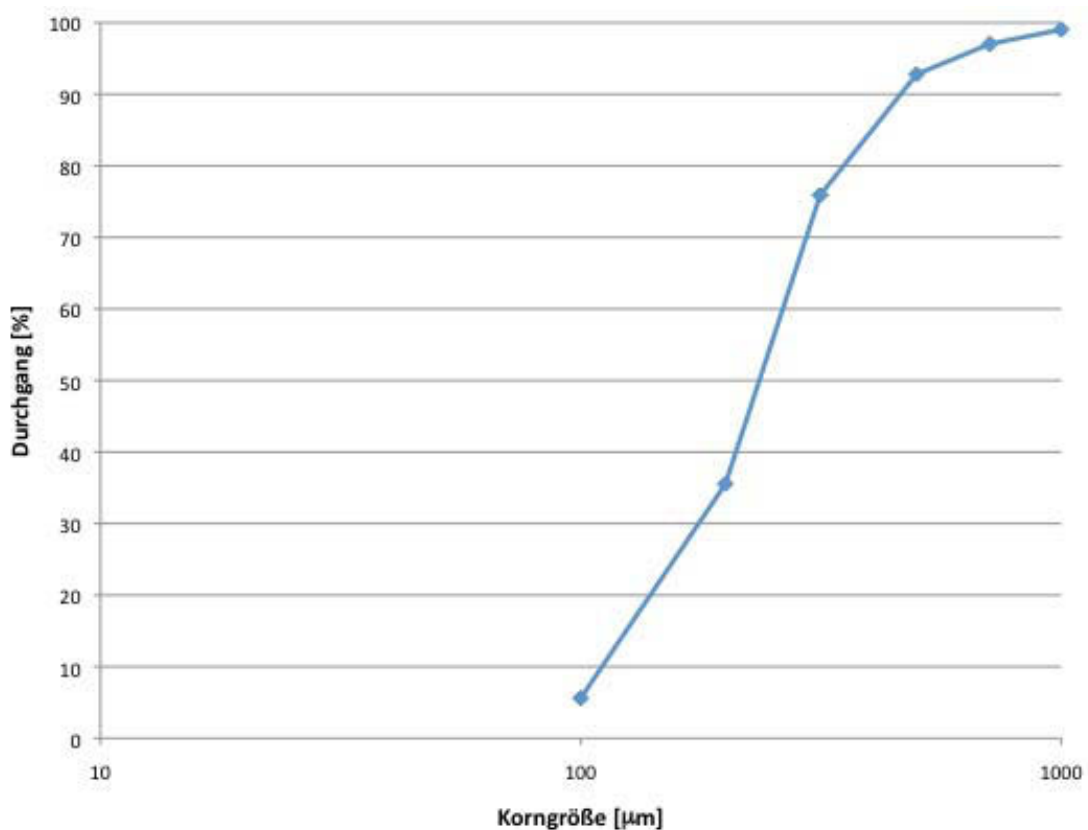


Abbildung 5-2: Korngrößenverteilung Sand

Für eine geringe Anzahl an Versuchen wurde Quarzsand mit einer Nennkörnung von 1/0,1 mm verwendet. Es handelt sich dabei um das Produkt „Fugensand“ der Firma Quarzwerke, wobei die Kornrohichte mit 2600 kg/m^3 und die Korngrößenverteilung als G_F85/20 definiert sind. Abbildung 5-2 zeigt das Ergebnis der Siebanalyse dieses Materials.

6 Entwicklung des Versuchsstandes

6.1 Grundlegende Gestaltung des Versuchsaufbaus

Die Motorhalterung für den Antrieb des Streutellers wurde auf eine mit dem Hubstapler aufnehmbare Grundplatte aus Stahl aufgeschweißt. Der Motor ist hängend in dieser Konstruktion montiert, wobei die Motorausgangswelle senkrecht nach oben ausgerichtet ist. Diese treibt den Streuteller an, dessen Masse über ein Axiallager auf der Motorhalterung abgestützt wird. Diese Anordnung ist in Abbildung 6-1 zu sehen.



Abbildung 6-1: Dispergierteller auf dem Motor

Für die Aufgabe des Versuchsmaterials wurde ein Behälter mit vier, über Schieber verschließbare, Ausflusstutzen konstruiert, welcher mit Hilfe eines Deckenkrans über dem Streuteller positioniert wurde. Zur Simulation der Prallwände im Sieb wurden ein Stahlblech-Zylinder und ein Plexiglas-Zylinder mit entsprechendem Durchmesser angefertigt, wobei der Plexiglas-Zylinder zur Beobachtung der Vorgänge nach dem Materialabwurf während

einigen Versuchen herangezogen wurde. Der Aufgabebehälter ist in Abbildung 6-2 zu sehen, die gesamte Versuchsanordnung in Abbildung 6-3.



Abbildung 6-2: Aufgabebehälter



Abbildung 6-3: Anordnung der Einzelkomponenten

6.2 Inbetriebnahmephase der Versuchsanordnung

Der erste Schritt zur Inbetriebnahme des Versuchsaufbaues war die Ermittlung des Ausflussverhaltens des Versuchsmaterials aus dem Aufgabebehälter. Die ersten Versuche wurden mit dem Zement-Rohmehl durchgeführt, wobei festgestellt werden musste, dass diese weder hinsichtlich der Quantität, noch hinsichtlich der Gleichmäßigkeit des Massestroms zufriedenstellend waren. Der erste Verbesserungsansatz war die ausschließliche Verwendung von Quarzsand, von welchem jedoch in weiterer Folge Abstand genommen wurde, da zu befürchten war, dass aufgrund der groben Körnung die Vergleichbarkeit mit den realen Betriebsbedingungen nicht mehr gegeben wäre. Da bei Verwendung des Aufgabebehälters noch dessen aufwändige Handhabung hinzukam - Brückenbildungen führten zu Stopfern, die wiederum ein kontinuierliches Ausfließen verhinderten - wurde aus diesen Erkenntnissen heraus nach einer einfacheren Methode der Materialaufgabe für die ersten Tastversuche gesucht.

So wurde zwischenzeitlich auch auf eine manuelle Aufgabe mittels Handschaufel umgestellt, welche pro Schaufelladung in etwa in 2 kg Materialaufgabe resultierte. Da die mit Hilfe der Schaufelaufgabe durchgeführten Versuchsreihen problematisch in der Reproduzierbarkeit waren, wurde davon schlussendlich Abstand genommen. Einige Versuche wurden mit einer Vibrationsrinne als Aufgabeeinrichtung durchgeführt (Abbildung 6-4). Mit dieser Aufgabeart konnte zwar eine gleichmäßige Aufgabe, jedoch kein ausreichender Massestrom erreicht werden.



Abbildung 6-4: Vibrationsrinne zur Aufgabe

Eine Lösung der Problematik wurde in weiterer Folge mit Hilfe von Druckluftunterstützung in Form einer Druckluftlanze erreicht, welche zur Ausflussunterstützung von oben in den Behälter eingeführt und geschwenkt wurde. Hiermit war es nun möglich, einen quantitativ ausreichenden und genügend gleichmäßigen Massestrom zu erhalten.

Bei den ersten Versuchen stellte sich die Staubentwicklung bei der Verwendung von Zement-Rohmehl als erhebliches Problem heraus. Aus diesem Grund wurde auf Versuche ohne Einhausung mittels Stahlzylinder, welche der Ermittlung der freien Wurfweite dienen sollten, verzichtet. Zur weiteren Eindämmung der Staubentwicklung wurde der Zylinder am oberen Ende mittels einer Plastikfolie und einem Spanngurt verschlossen. Dies war insbesondere notwendig, da der rotierende Teller einen Aufstrom im Zylinder erzeugte, der das Versuchsmaterial nach oben hin ausblies.

Weiters erzeugte der Teller eine Kreisströmung im unteren Teil des Zylinders, welche das am Boden abgelagerte Material verschleppte und somit das Versuchsergebnis verfälschte. Zur Abschirmung dieser Strömung wurde das in Abbildung 6-6 gezeigte Schott installiert.



Abbildung 6-5: Verschlepptes Material nach dem Versuch



Abbildung 6-6: Montiertes Schott

Zur Lösung des Problems wurde der Bereich, in dem sich das Versuchsmaterial ablagerte, mittels einer Holzkonstruktion, welche in Abbildung 6-7 zu sehen ist, in 8 Kammern unterteilt. Dadurch war nun gewährleistet, dass das Material nach Eintritt in den abgeteilten Bereich nicht von der Luftströmung erfasst werden konnte und somit eine Beurteilung der Abwurfmenge in jedem der 8 Sektoren ermöglicht wurde. Mit dieser Konfiguration wurden später auch Versuche gefahren, bei welchen der Stahlzylinder zur Einhausung durch einen Zylinder aus Plexiglas ersetzt wurde. Dadurch war es möglich, den Abwurfvorgang nach Auftreffen auf den Zylinder zu beobachten. Diese Beobachtungen führten zu einer modifizierten Form der Sektorenteilung, welche in späteren Versuchsreihen eingesetzt wurde. Die Abteilungen wurden über die gesamte Tiefe bis knapp unter das Schott hochgezogen und zwischen Schott und Zylinderwand zusätzlich erhöht (Abbildung 6-8).



Abbildung 6-7: „Sektorteilung tief“



Abbildung 6-8: „Sektorteilung hoch“

Dies führte im Vergleich mit der vorherigen Anordnung zu einer Verschiebung des registrierten Abwurfortes, da die Partikel nach Abwurf vom Teller trotzdem dem Einfluss der vorliegenden Kreisströmung unterworfen waren. Die höheren Sektorabteilungen führten daher zu einer Verschiebung des gesamten Abwurfbildes gegen die Drehrichtung des Dispergiertellers. Aus diesem Grund wird in den folgenden Ausführungen explizit darauf hingewiesen, welche Form der Sektorabteilung im vorliegenden Versuch verwendet wurde, wobei die erstgenannte, niedrigere, als „Sektorteilung tief“ und die zweitgenannte, höhere, als „Sektorteilung hoch“ bezeichnet wird.

Bei einer Aufgabestelle erfolgte die Aufgabe jeweils mittig über Sektor 1, bei zwei Aufgabestellen befand sich die zweite gegenüber von Sektor 1, also mittig über Sektor 5. Abbildung 6-9 zeigt eine schematische Darstellung des Tellers mit der Einteilung in Sektoren und den entsprechenden Aufgabestellen. Die Markierungen symbolisieren die Aufgabestellen, wobei die blauen in weiterer Folge mit Aufgabestelle „außen“ und die roten mit Aufgabestelle „innen“ bezeichnet werden. An den blau markierten

Aufgabestellen wurden auch Versuche mit zwei gleichzeitig beaufschlagten Ausflusstutzen durchgeführt. Abbildung 6-10 soll nochmals ein Bild von der gesamten Versuchsanordnung vermitteln. Der Abstand zwischen Ausflusstutzen und Telleroberfläche betrug in allen Versuchen in etwa 70 mm. Der Abstand zwischen Telleroberkante, an welcher der Abwurfvorgang abläuft, und der „Sektorteilung tief“ betrug 370 mm. Bei der „Sektorteilung hoch“ war dieser auf 140 mm reduziert. Technische Zeichnungen der Tellerausführungen und des Materialeinlaufs befinden sich im Anhang.

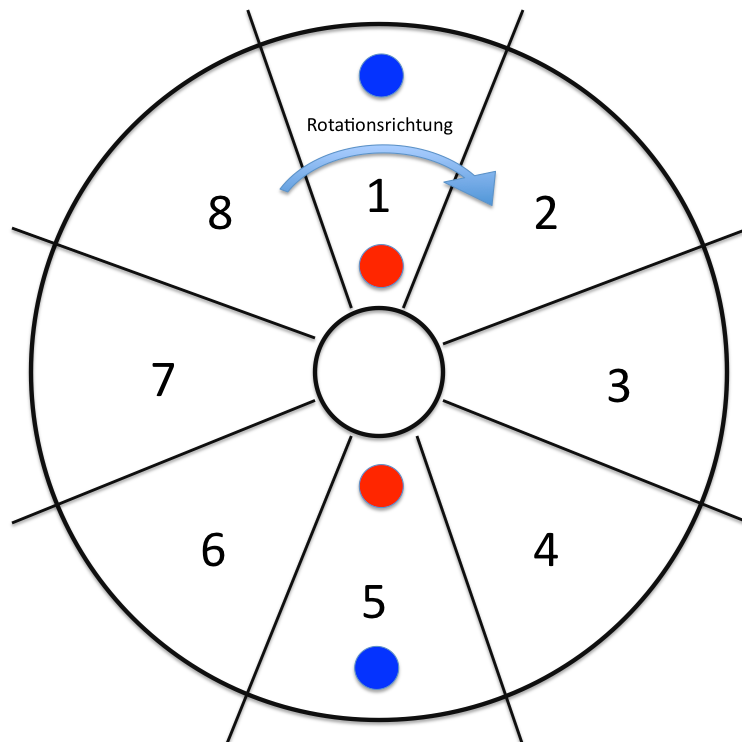


Abbildung 6-9: Sektorschema und Aufgabestellen



Abbildung 6-10: Endversion des Versuchsstandes

7 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Eine Versuchstafel, welche einen Überblick über alle durchgeführten Versuche und die entsprechenden Parameter gibt, ist im Anhang zu finden.

7.1 Korngrößenpezifischer Abwurf

7.1.1 Versuchsdurchführung

Diese Versuche dienten der Ermittlung des Abwurfverhaltens in Abhängigkeit der eingesetzten Korngrößenspanne. Als Aufgabematerial wurde primär Quarzsand herangezogen, es wurden aber auch Versuchsreihen mit Zement-Rohmehl durchgeführt. In diesen Versuchsreihen wurde ausschließlich die „Sektorteilung tief“ herangezogen, wobei die Aufgabe mittels Handschaufel mittig über Sektor 1 erfolgte. Es wurden Versuchsreihen bei Umfangsgeschwindigkeiten des Tellers von 14, 28 und 42 m/s durchgeführt, wobei es sich um die konische Tellervariante ohne Mitnehmerschaufeln handelte.

Die Sektoren wurden nach Abschluss des Abwurfvorganges gesäubert, der Quarzsand aus jedem einzelnen Sektor separat gewogen und einer Siebanalyse zugeführt.

7.1.2 Ergebnisse

Die in Abbildung 7-1 dargestellten Siebanalysen der einzelnen Sektoren nach den Versuchen mit Quarzsand wiesen insbesondere im Feinkornbereich $< 200\mu\text{m}$ auf eine gewisse Auffächerung hin. Die in Abbildung 7-2 dargestellten Inhaltseinheiten verdeutlichen aber, dass dieser Effekt vernachlässigbar ist, da sich in den Sektoren 4, 5 und 6, welche in Summe in etwa 94% des Aufgabematerials beinhalten, die Korngrößenverteilungen nicht wesentlich voneinander unterscheiden.

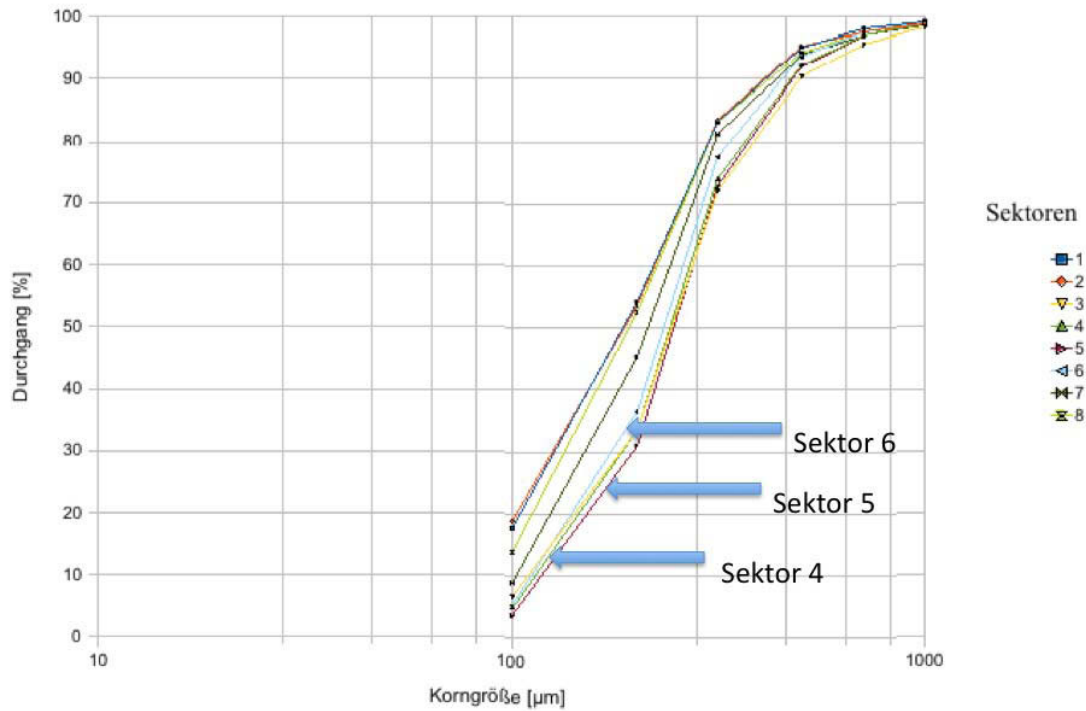


Abbildung 7-1: Korngrößenverteilungen

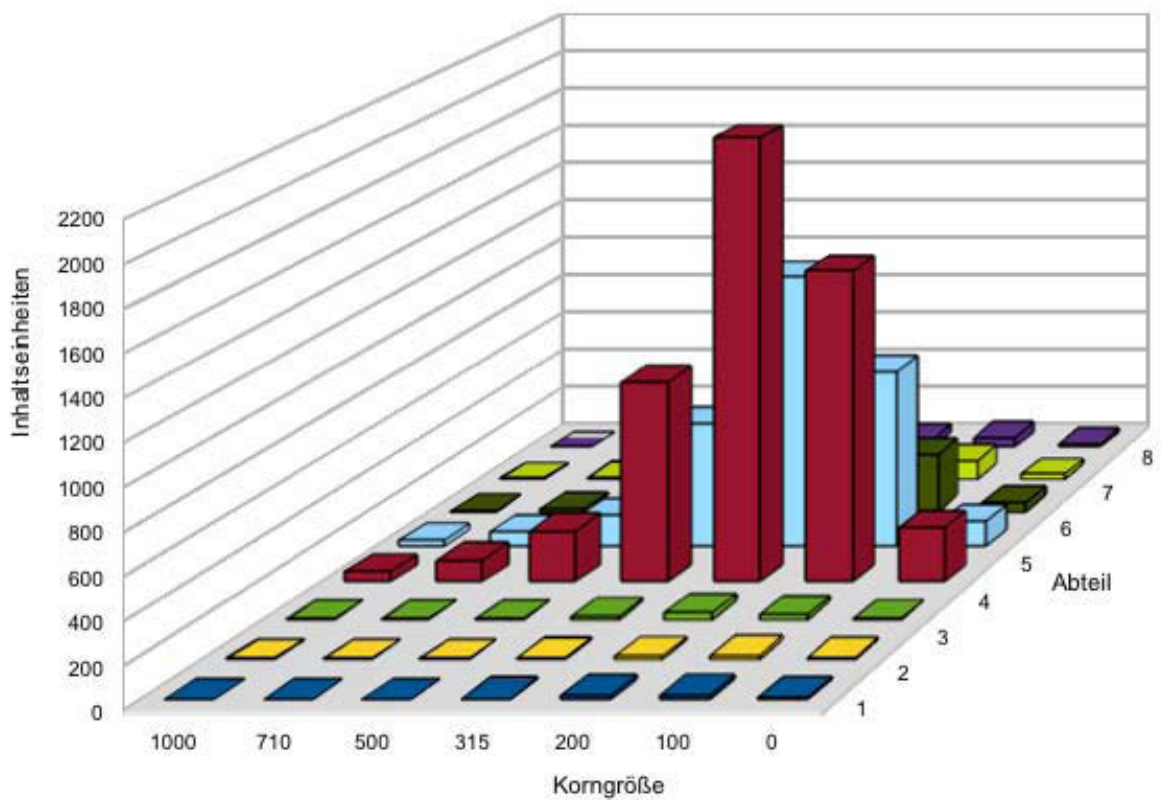


Abbildung 7-2: Korngrößenverteilungen bezogen auf den Gesamteinhalt

Ein noch deutlicheres Ergebnis stellte sich bei den Versuchen mit Zement-Rohmehl ein. Hier konnten bei Messungen auf dem Lasergranulometer keine Unterschiede in den Korngrößenverteilungen des Aufgabematerials und des abgeworfenen Materials aus den einzelnen Sektoren festgestellt werden. Eine erste Analyse des Abwurfbildes ohne Mitnehmerschaukeln zeigte eine Hauptabwurfstelle in etwa gegenüber der Aufgabestelle.

7.2 Ermittlung des Einflusses der Anzahl der Aufgabestellen, der Form des Dispergiertellers und der Umfangsgeschwindigkeit

7.2.1 Versuchsdurchführung

Das Ziel dieser Versuchsreihen war die Ermittlung des Einflusses der Form des Dispergiertellers, sowohl auf den Ort des Abwurfmaximums, als auch auf die Gleichmäßigkeit der Materialverteilung um den Umfang. Weiters wurden diese Versuche durchgeführt, um die Verbesserung der Verteilung um den Umfang in Abhängigkeit der Anzahl der Aufgabestellen und der Umfangsgeschwindigkeit des Dispergiertellers zu ermitteln.

Zur Erreichung dieser Ziele waren umfangreiche Bemühungen zur Vergleichmäßigung des Ausflusses aus dem Aufgabecontainer notwendig, um eine Versuchsdurchführung mit Zement-Rohmehl zu ermöglichen. Mit Hilfe von Druckluft konnte ein kontinuierlicher Ausfluss mit einer Aufgaberate von 7 bis 10 t/h erreicht werden. Die Versuche wurden zuerst mit dem konischen, im Anschluss daran mit dem balligen Dispergierteller durchgeführt (schematische Darstellungen der Tellerformen sind im Anhang zu finden), wobei mit beiden Tellern sowohl eine Versuchsreihe mit einer Aufgabestelle, als auch eine mit zwei gegenüberliegenden Aufgabestellen absolviert wurde. Alle sich daraus ergebenden Kombinationen wurden bei Umfangsgeschwindigkeiten von 14, 28 und 42 m/s getestet. Für die gesamten Versuche dieses Abschnitts wurde die „Sektorteilung tief“ eingesetzt. Die einzelne Aufgabestelle wurde mittig über Sektor eins platziert, für die Versuche mit zwei Aufgabestellen wurde eine zweite mittig über Sektor 5 hinzugefügt. Die Versuchsdauer wurde auf 8 Sekunden je Versuch festgelegt.

7.2.2 Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte abermals über Wägung der Materialablagerungen in den einzelnen Sektoren. Zur Auswertung der hierbei gewonnenen Daten wurden Netzdiagramme zur grafischen Darstellung gewählt. Weiters wurde die Standardabweichung σ der prozentuellen Anteile der Massen in den einzelnen Sektoren, bezogen auf die Gesamtaufgabe, herangezogen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Versuchsergebnisse der Versuchsreihe mit dem konischen Dispergierteller. Die in den nachfolgenden Abbildungen genutzte Abkürzung „AS“ steht hierbei für Aufgabestelle.

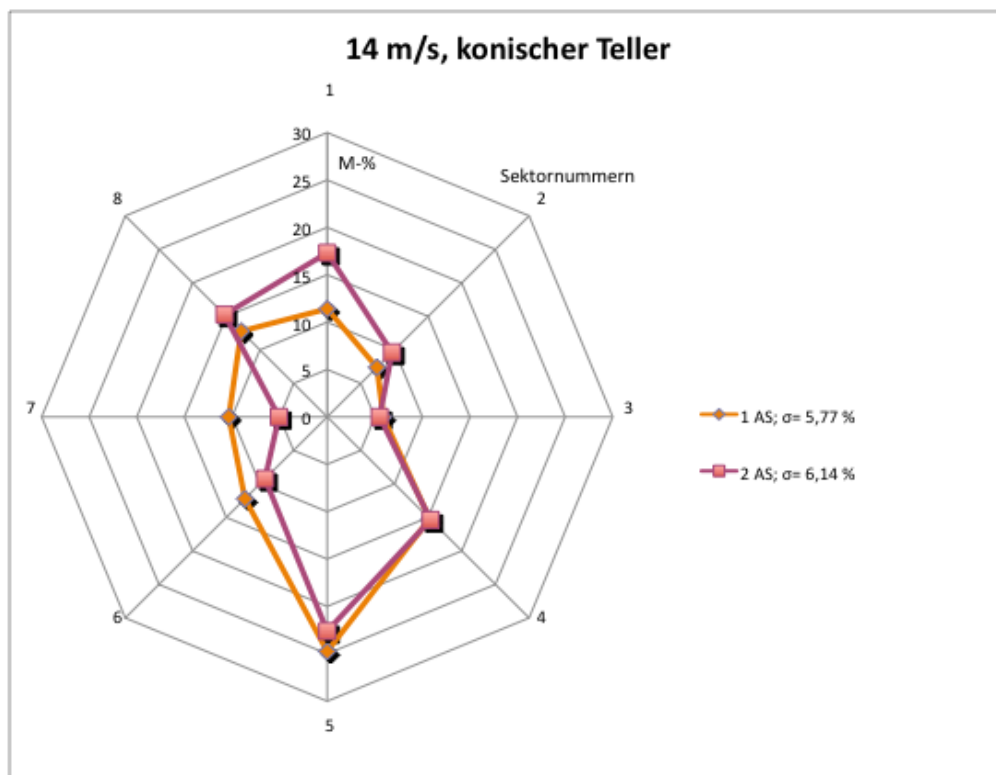


Abbildung 7-3: Abwurfbilder $v_u = 14$ m/s, konischer Teller

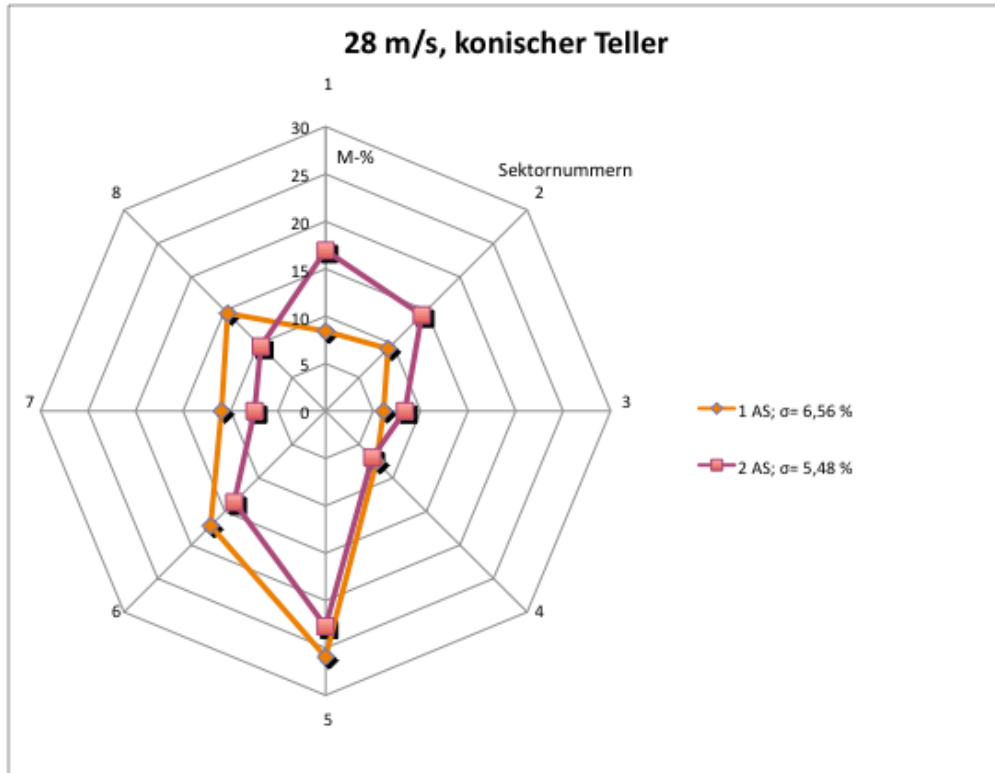


Abbildung 7-4: Abwurfbilder $v_u = 28$ m/s, konischer Teller

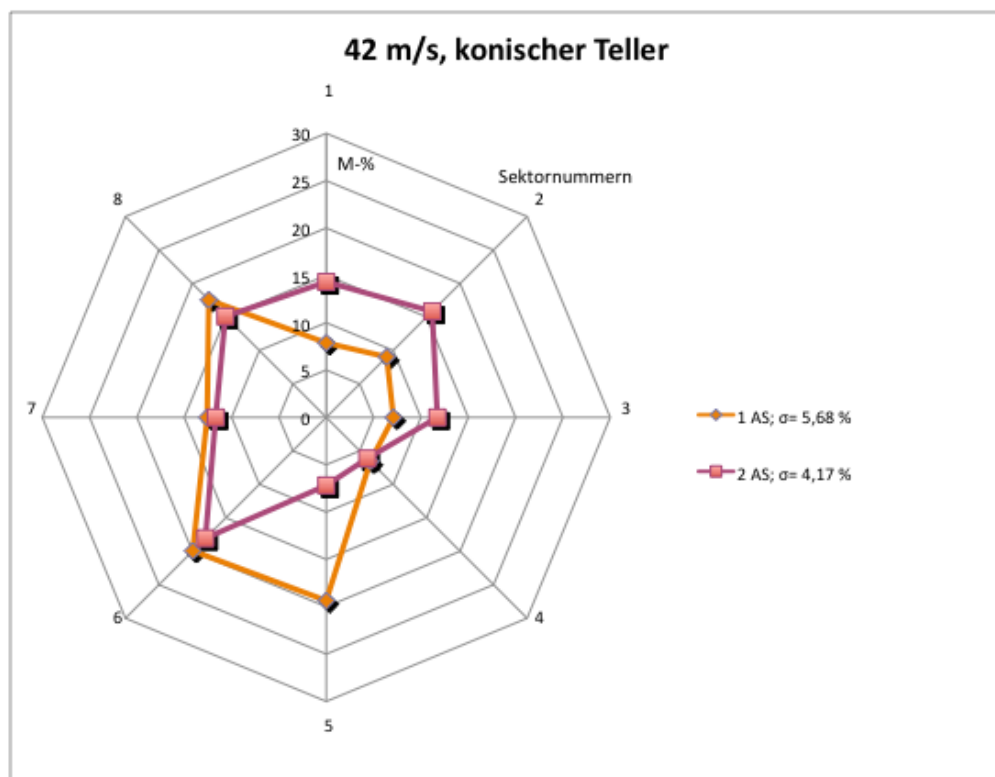


Abbildung 7-5: Abwurfbilder $v_u = 42$ m/s, konischer Teller

Wäre das Material ideal um den Umfang verteilt, so befänden sich in jedem Sektor 12,5 % der Gesamtmasse. Die Standardabweichung σ wäre in diesem Fall also 0 % und die Verteilung um den Mittelpunkt kreisförmig, wobei sich das Zentrum des Kreises im Ursprung des Diagramms befinden würde. D.h. je kreisförmiger und zentrierter die Verteilung ist, umso näher kommt das Ergebnis dem angestrebten Idealzustand.

Vergleicht man nun die Ergebnisse der Versuche mit einer Aufgabestelle mit jenen mit zwei Aufgabestellen, so ist zu sehen, dass Letztere sowohl deutlich zentrierter, als auch etwas kreisförmiger sind. Die Standardabweichung kann bei zwei Aufgabestellen ebenfalls deutlich reduziert werden. Beobachtungen des Verfassers zufolge hat die Nutzung von nur einer Druckluftlanze bei der Einleitung des Ausflussvorganges mit zwei Aufgabestellen Asymmetrien in der resultierenden Verteilung zur Folge, da aufgrund der kurzen Versuchsdauer eine signifikant größere Menge an Zement-Rohmehl bei der zuerst initialisierten Aufgabestelle ausfließt.

Betrachtet man nun die Ergebnisse der balligen Tellerausführung, so stellt man fest, dass hier ebenfalls die Ergebnisse mit zwei Aufgabestellen tendenziell besser sind als mit nur einer.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Versuchsergebnisse der Versuchsreihe mit dem balligen Dispergierteller. AS steht hierbei für Aufgabestelle.

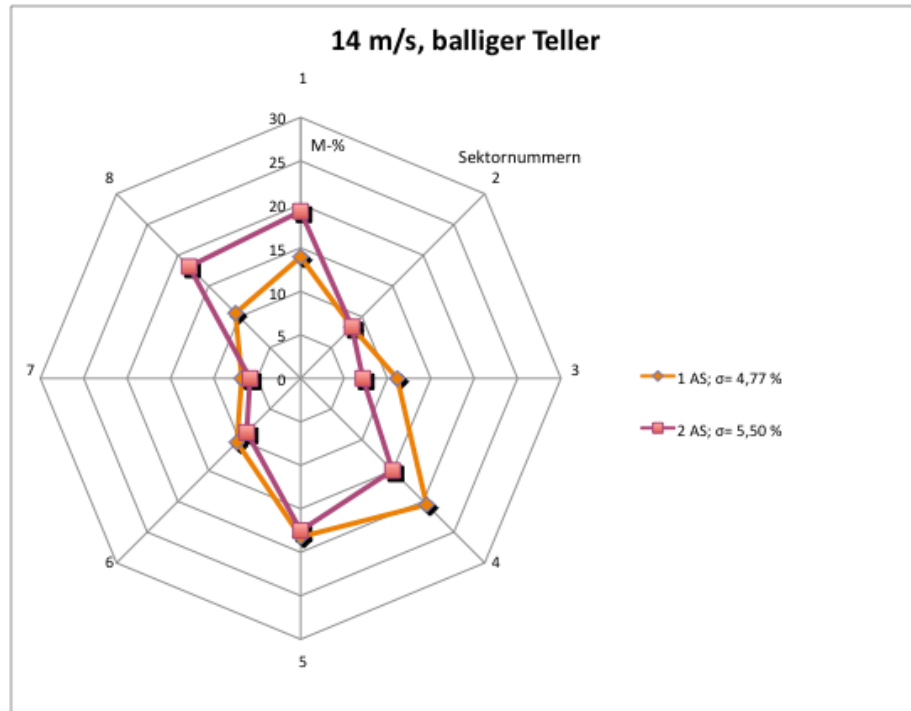


Abbildung 7-6: Abwurfbilder $v_u = 14 \text{ m/s}$, balliger Teller

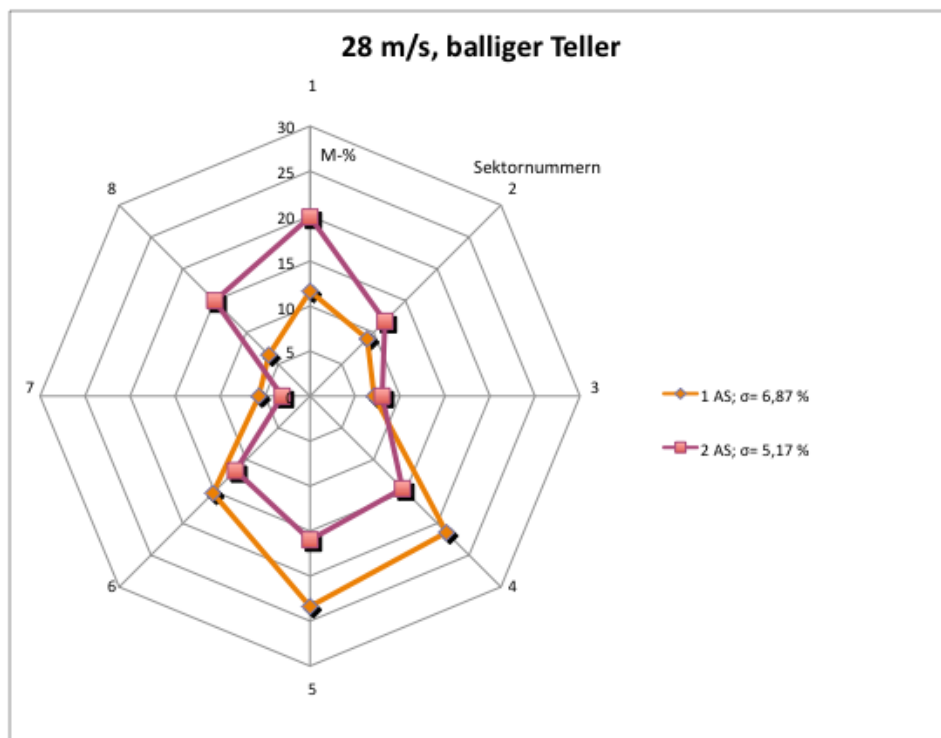


Abbildung 7-7: Abwurfbilder $v_u = 28 \text{ m/s}$, balliger Teller

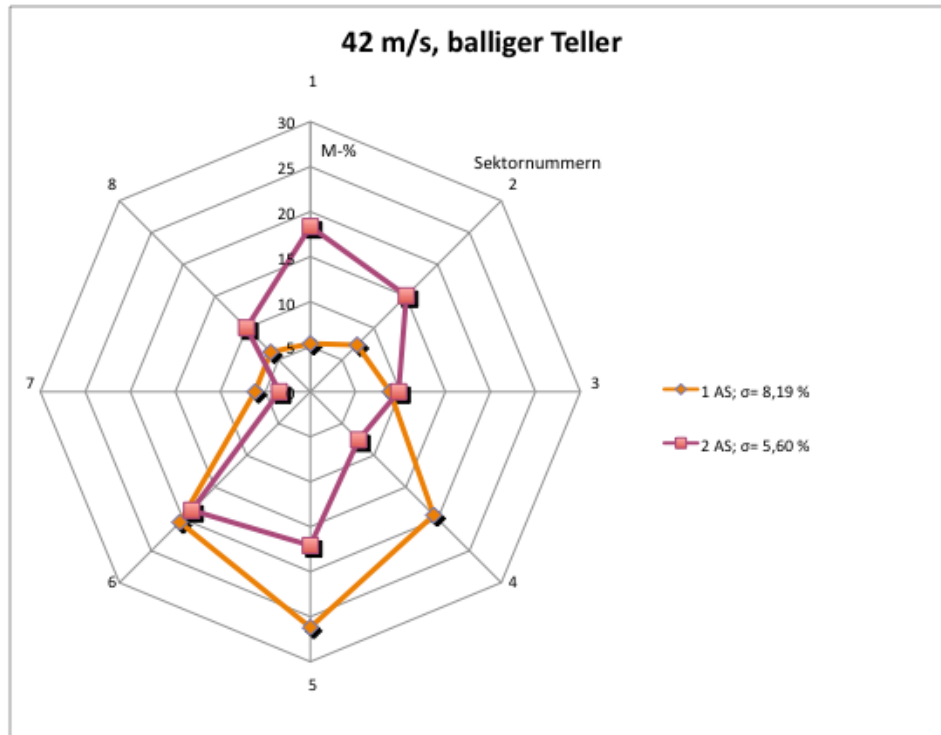


Abbildung 7-8: Abwurfbilder $v_u = 42$ m/s, balliger Teller

Vergleicht man die Graphen der beiden Tellerformen nun untereinander, so erkennt man einen unterschiedlichen Einfluss der Umfangsgeschwindigkeiten. Bei der konischen Ausführung ist die Verteilung um den Umfang bei höherer Umfangsgeschwindigkeit tendenziell besser als bei niedriger. Dies trifft stärker zu, wenn an zwei Stellen aufgegeben wird. Bei der balligen Ausführung sind die Ergebnisse bei zwei Aufgabestellen bei allen drei Umfangsgeschwindigkeiten nahezu ident. Betrachtet man jedoch die Ergebnisse der Aufgabe an nur einer Stelle, so erkennt man, dass diese mit steigender Umfangsgeschwindigkeit deutlich schlechter werden.

Der Vergleich der beiden Tellerformen offenbart also, dass bei 14 m/s die ballige Ausführung bessere Ergebnisse liefert, bei 42 m/s wiederum die konische und bei 28 m/s die Qualität der Verteilung um den Umfang bei beiden Ausführungen sehr ähnlich ist.

7.3 Erste Versuche mit Mitnehmerschaufeln

7.3.1 Versuchsdurchführung

Bei dieser Versuchsreihe stand das Bestreben im Vordergrund, erste Erkenntnisse zum Einfluss von Mitnehmerschaufeln auf dem Dispergierteller zu erhalten. Außerdem wurde das Material - in dieser Versuchsreihe wieder generell Zement-Rohmehl - mit Hilfe einer Vibrationsrinne aufgegeben, an deren Ende ein flexibles Schlauchstück montiert wurde, um den Materialfluss bis zu einer entsprechenden Höhe über der Tellerfläche kontrollieren zu können. Dies war aufgrund der durch den Teller verursachten Strömungsverhältnisse im Zylinder notwendig. Zusätzlich zur sehr gleichmäßigen Aufgabe, welche diese Methode ermöglichte, konnten Versuche mit sehr geringen Aufgaberaten realisiert werden, wodurch der Einfluss der Aufgaberate auf die Verteilung über den Umfang analysiert werden konnte.

Durch die Aufgabe mittels Vibrationsrinne waren die Versuche auf eine Aufgabestelle beschränkt, wobei die Aufgaberate bei 500 kg/h lag und die Versuchsdauer im Schnitt in etwa 60 Sekunden betrug. Es wurde der konische Teller verwendet, auf den acht radial angeordnete Mitnehmerschaufeln aus Stahlblech mit einer Höhe von 40 mm und einer Dicke von 4 mm aufgeschweißt (Abbildung 7-9) wurden. Aufgrund der durch die Mitnehmerschaufeln deutlich verstärkten Strömungserscheinungen, wie auch aus sicherheitstechnischen Gründen wurden die Versuche nur bei Umfangsgeschwindigkeiten von 14 und 28 m/s gefahren. Für die gesamte Versuchsreihe wurde die „Sektorteilung tief“ eingesetzt.

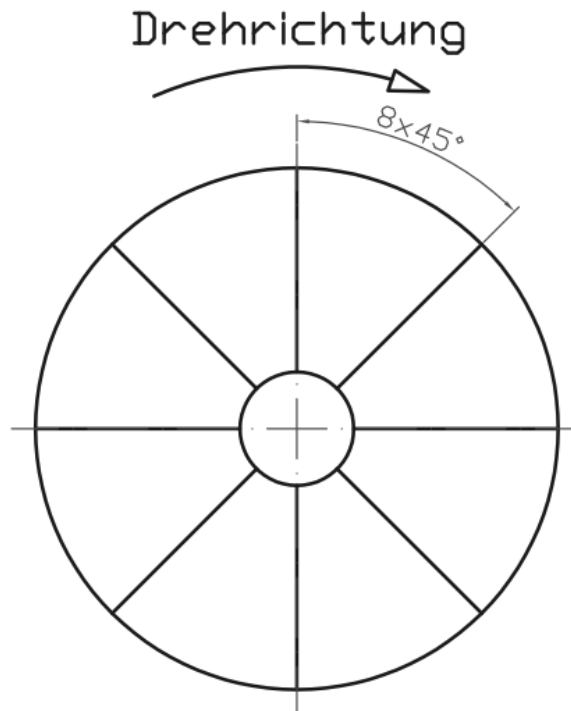


Abbildung 7-9: Schematische Darstellung der ungekrümmten, radial ausgerichteten Mitnehmerschaufeln

7.3.2 Ergebnisse

Die Versuche konnten zeigen, dass bei diesen geringen Aufgaberaten das Zement-Rohmehl in einem weiter von der Aufgabestelle entfernten Sektor abgelagert wird. Dies dürfte hauptsächlich daran liegen, dass bei den hohen Aufgaberaten von 7 bis 10 t/h, wie sie in den vorherigen Versuchen gefahren wurden, der Anteil des gesamten Aufgabematerials, welches von der aufwärts gerichteten Strömung erfasst wird, deutlich geringer als bei niedrigen Aufgaberaten ist. Dies liegt daran, dass in letzterem Fall die Beladung des Luftstromes ähnlich bleibt, jedoch einen deutlich höheren Anteil der Gesamtaufgabe ausmacht.

Weiters machen die Versuche deutlich, dass bei montierten Mitnehmerschaufeln das Material weiter transportiert wird, als dies ohne Mitnehmerschaufeln der Fall war. Außerdem erzeugt der Dispergierteller mit Mitnehmerschaufeln unter den in diesen Versuchsreihen gegebenen Bedingungen eine deutlich spitzere Abwurfcharakteristik als die Variante ohne Mitnehmerschaufeln.

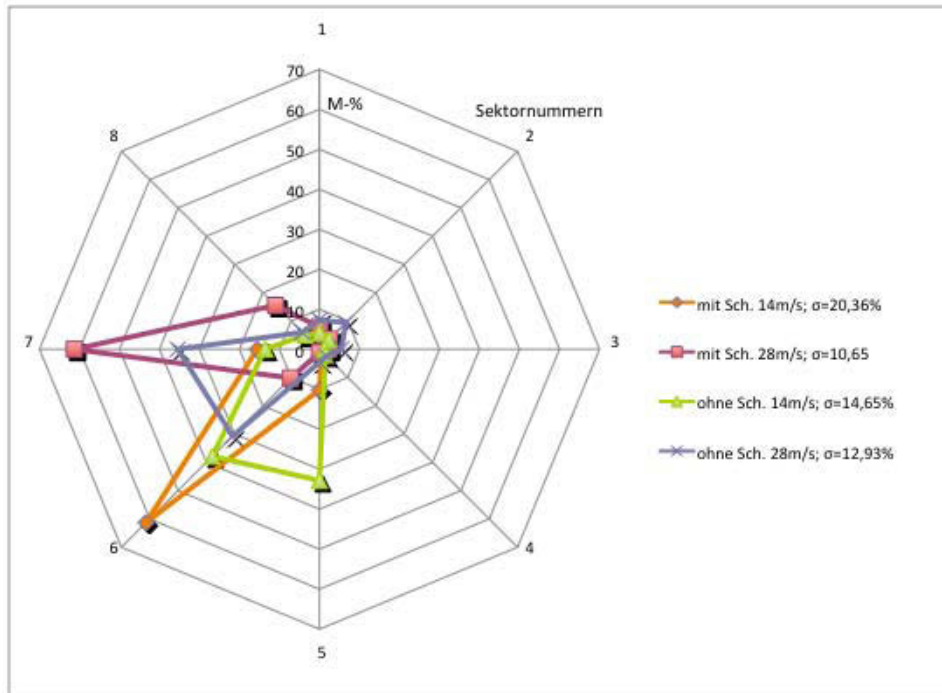


Abbildung 7-10: Abwurfbilder der Versuche mit Vibrationsrinne

7.4 Versuche zum Einfluss der Form der Auslassstutzen und deren Position über dem Teller

7.4.1 Versuchsdurchführung

In dieser Versuchsreihe wurde ermittelt, welchen Einfluss die Positionierung der Auslassstutzen über dem Dispergierteller hat. Einerseits wurde dieser nahe der Tellermitte, andererseits in der Nähe des äußeren Tellerrandes positioniert. Die Ortsveränderung erfolgte durch horizontale Verschiebung in radialer Richtung. Der Abstand zur Telleroberfläche wurde jedoch beibehalten.

Bei dem ersten der beiden unterschiedlichen Auslassstutzen handelte es sich um die in den bisherigen Versuchen mit dem Aufgabebereich eingesetzte Form eines einfachen, nahezu senkrecht angeordneten Stahlrohrs, durch dessen Öffnung das Zement-Rohmehl nach unten austrat. Die zweite verwendete Form war ein identisches Rohr, an welchem die Öffnung am unteren Ende des Rohres durch eine aufgeschweißte Stahlplatte verschlossen und durch zwei vertikale Auslassschlitze an den Seiten des Rohrs ersetzt wurde. Abbildung 7-11 zeigt die zwei Varianten der Auslassstutzen. Ziele dieser Modifikation waren einerseits die Annäherung

der Bedingungen an jene im realen Sichtaggregat (da die Materialaufgabestellen in diesem ähnlich geformt sind), andererseits eine Verifizierung des Dispergierverhaltens aufgrund dieser Modifikation.



Abbildung 7-11: links: Rohr (oben) und modifizierter Auslassstutzen (unten); rechts: Frontalansicht des modifizierten Auslassstutzens

Alle Versuche dieser Versuchsreihen wurden mit jeweils einer Aufgabestelle gefahren, wobei erstmals die „Sektorteilung hoch“ eingesetzt wurde. Dies machte trotz bereits erfolgter Versuche mit einer Aufgabestelle am äußeren Tellerrand eine nochmalige Durchführung in dieser Konfiguration notwendig, da die Ergebnisse ansonsten nicht vergleichbar gewesen wären. Alle sich aus den zwei Auslassstutzen und zwei unterschiedlichen Aufgabepositionen ergebenden Kombinationen in der Versuchskonfiguration wurden bei Umfangsgeschwindigkeiten von 14 und 28 m/s getestet. Die Aufgaberraten lagen wiederum im Bereich von 7 bis 10 t/h, wobei die Versuchsdauer im Schnitt bei 10 Sekunden lag. Zur Dispergierung kam wiederum der konische Teller zum Einsatz. Mitnehmerschaufeln waren in dieser Versuchsreihe nicht montiert.

7.4.2 Ergebnisse

Als erstes soll hier nun der Vergleich zwischen den Versuchen mit der Aufgabestelle nahe dem Tellerrand, welche in den Diagrammen mit „außen“ bezeichnet sind, und jener nahe der Tellermitte, welche in den Diagrammen mit „innen“ bezeichnet sind, angestellt werden. Betrachtet man den Unterschied zwischen den Positionen für die rohrförmige Ausführung des Auslassstutzens (Abbildung 7-12), so fällt auf, dass die Verteilung um den Umfang bei Aufgabe am äußeren Tellerrand bei beiden Umfangsgeschwindigkeiten deutlich spitzer konturiert und weniger zentriert ist. Auch die Standardabweichung der abgelagerten Anteile der gesamten Aufgabemasse in den Sektoren weist ein deutlich schlechteres Verteilungsergebnis aus. Die Umfangsgeschwindigkeit hat hingegen keinen nennenswerten Einfluss auf den Versuchsausgang.

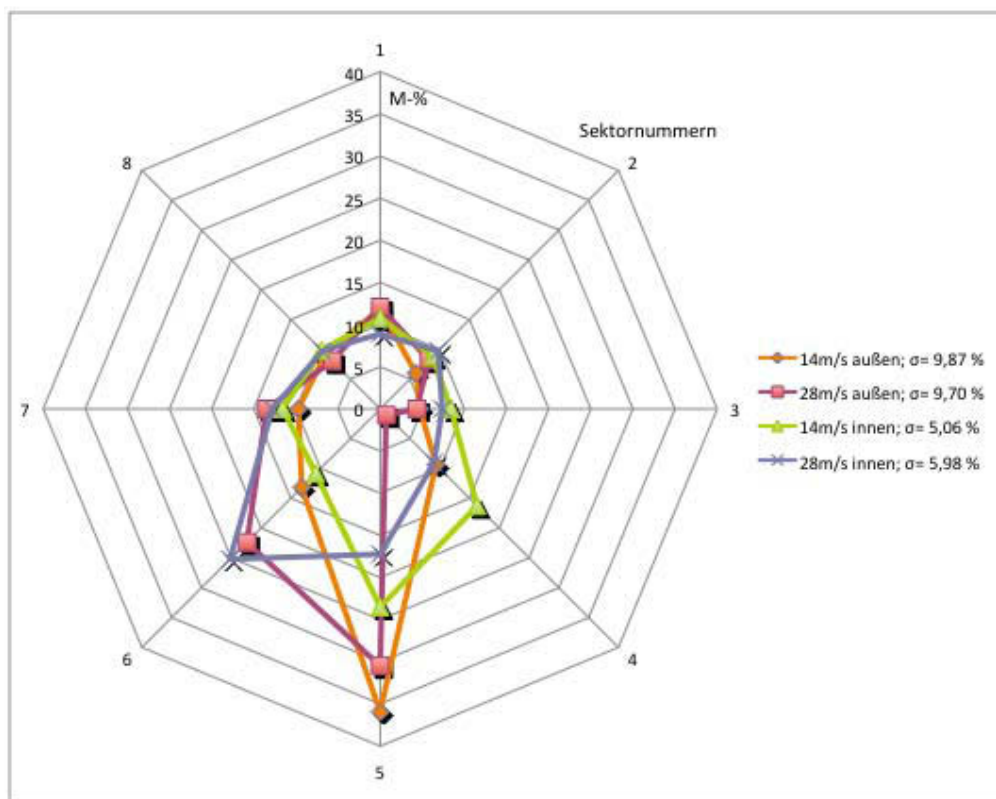


Abbildung 7-12: Abwurfbilder rohrförmiger Auslassstutzen

Dies trifft auch zu, wenn man nun die Ergebnisse aus den Versuchen mit dem am unteren Ende geschlossenen Auslassstutzen betrachtet (Abbildung 7-13). Diese können untereinander allgemein als nahezu identisch

angesehen werden, sowohl was die Form und Zentrierung der Verteilung, als auch die Standardabweichungen betrifft.

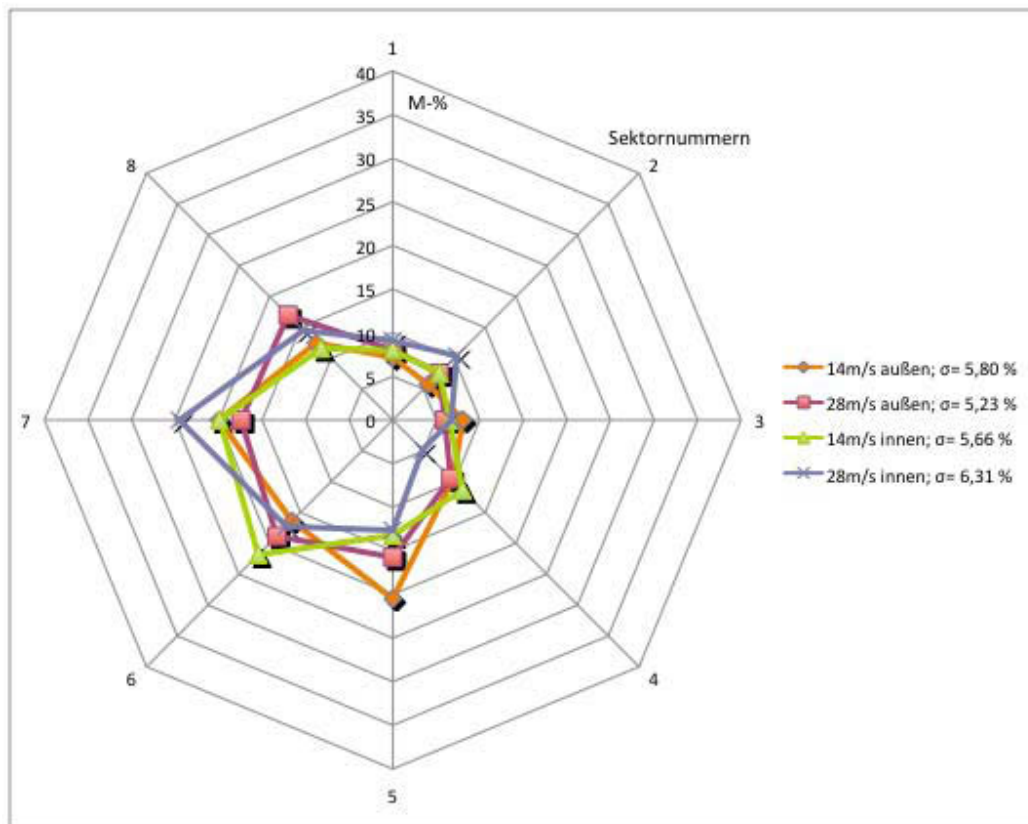


Abbildung 7-13: Abwurfbilder modifizierter Auslassstutzen

Vergleicht man nun die Versuchsergebnisse hinsichtlich des Einflusses der Auslassstutzen, so ist der Schluss zulässig, dass der modifizierte Auslassstutzen (wie im tatsächlichen Sichtaggregat eingesetzt) einen positiven Einfluss auf das Dispergierergebnis hat. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Positionierung der Materialaufgabe in radialer Richtung des Dispergiertellers.

7.5 Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Anordnungen von ungekrümmten Mitnehmerschaufeln

7.5.1 Versuchsdurchführung

Unter Punkt 7.3 wurde bereits der Einfluss von radial montierten Mitnehmerschaufeln (Abbildung 7-9) untersucht, jedoch unter anderen Versuchsbedingungen, nämlich mit der geringen Aufgaberate, welche mit Hilfe der Vibrationsrinne erreicht wurde. Im ersten Teil der hier vorliegenden Versuche wurde dieselbe Schaufelkonfiguration verwendet, jedoch wurde das Zement-Rohmehl dem Dispergierteller mit Hilfe des Aufgabebcontainers zugeführt. Hierbei wurden, da für diesen Vergleich ausreichend, nur Versuche mit einer einzelnen Aufgabestelle durchgeführt, wobei wieder die beiden extremen Positionen, außen nahe dem Tellerrand und innen nahe der Tellermitte, getestet wurden.

Als eingesetzter Auslassstutzen wurde in diesem Fall die einfache rohrförmige Ausführung gewählt. Dies lag darin begründet, dass die am unteren Ende verschlossene Ausführung mit zwei seitlichen Auslässen zwar unter allen Bedingungen vergleichbare - und unter manchen Versuchsbedingungen sogar bessere - Verteilungsergebnisse um den Umfang lieferte, die einzelnen Versuche mit dem modifizierten Auslassstutzen deutlich stärkere Schwankungen aufwiesen. Da es in diesen Versuchen um die Beurteilung des Einflusses verschiedener Mitnehmerschaufeln ging, wurde auf jene Ausführung des Auslassstutzens zurückgegriffen, welche die konstanteren Versuchsbedingungen sicherstellte.

Auch in diesen Versuchen wurden wieder acht vertikale, ungekrümmte Mitnehmerschaufeln auf den Dispergierteller aufgeschweißt, diesmal jedoch nicht radial angeordnet, sondern gegen die Drehrichtung (Abbildung 7-14) und in Drehrichtung (Abbildung 7-15) geneigt. Die Mitnehmerschaufeln wurden wiederum ausschließlich auf die konische Variante des Dispergiertellers aufgeschweißt.

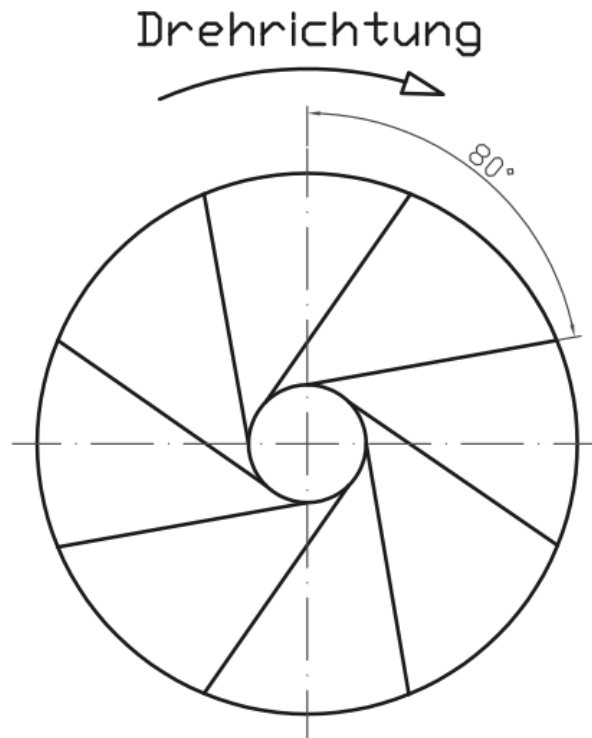


Abbildung 7-14: Schematische Darstellung der gegen die Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln

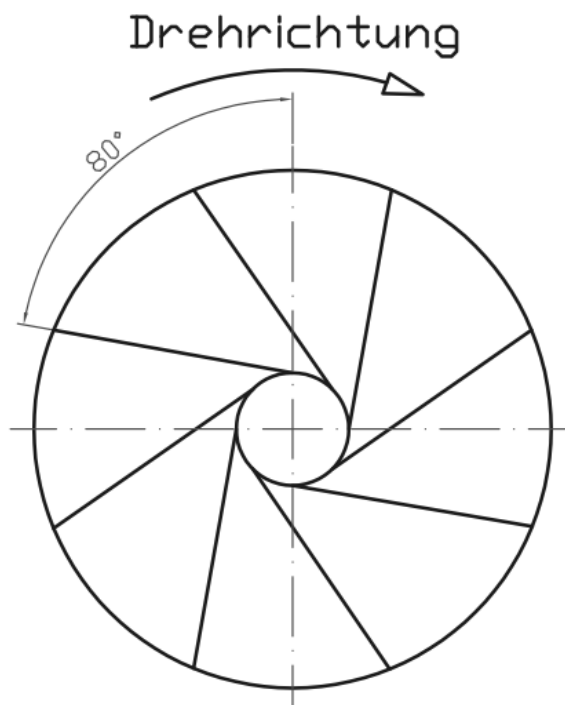


Abbildung 7-15: Schematische Darstellung der in Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln

Als Versuchsmaterial wurde wiederum ausschließlich Zement-Rohmehl herangezogen, wobei die Aufgaberaten bei 7 bis 10 t/h lagen. Die Versuche wurden bei Umfangsgeschwindigkeiten des Tellers von 14 und 28 m/s gefahren, wobei nur die „Sektorteilung hoch“ zum Einsatz kam.

7.5.2 Ergebnisse

Abbildung 7-16 bis Abbildung 7-19 stellen die Ergebnisse der oben beschriebenen Versuchsreihe dar. Da die Versuche bei zwei unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten mit jeweils zwei unterschiedlichen Aufgabepunkten gefahren wurden, wurden zur Wahrung der Übersichtlichkeit vier Abbildungen gestaltet, in welchen für die entsprechenden Versuchsbedingungen die Abwurfverteilungen der verschiedenen Konfigurationen an Mitnehmerschaufeln

- ohne Schaufeln,
- gerade (radial angeordnete) Schaufeln,
- zurück geneigte (gegen die Drehrichtung geneigte) Schaufeln und
- vorwärts geneigte (in Drehrichtung geneigte) Schaufeln

verglichen werden.

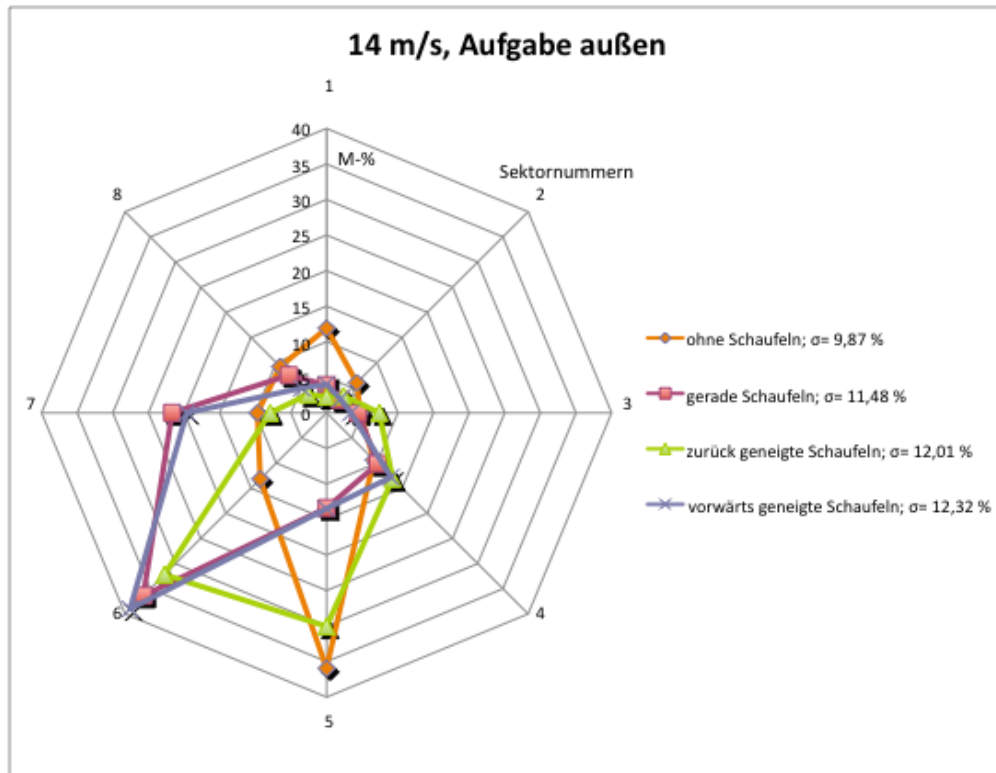


Abbildung 7-16: Abwurfbilder $v_u = 14\text{ m/s}$, Aufgabe außen

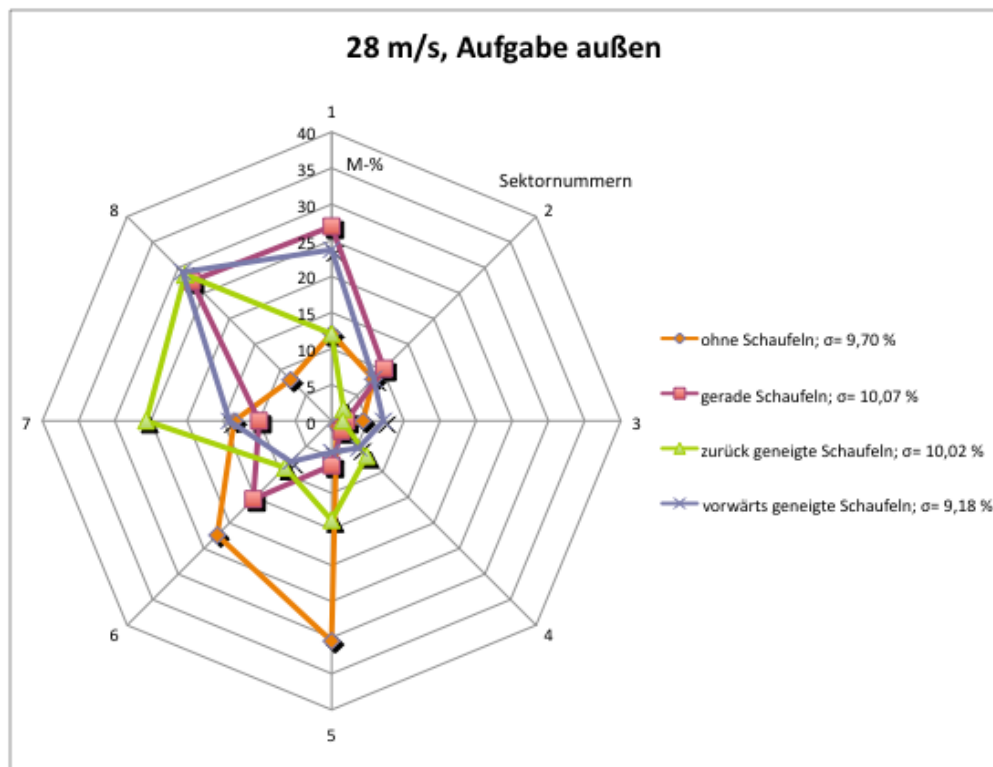


Abbildung 7-17: Abwurfbilder $v_u = 28\text{ m/s}$, Aufgabe außen

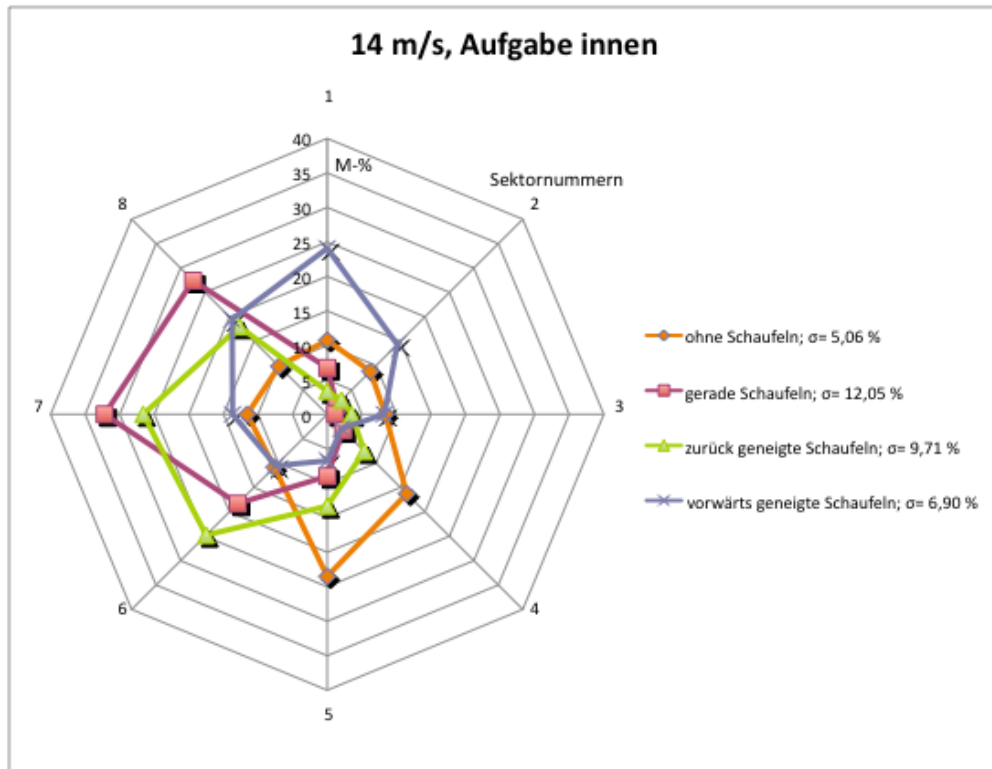


Abbildung 7-18: Abwurfbilder $v_u = 14 \text{ m/s}$, Aufgabe innen

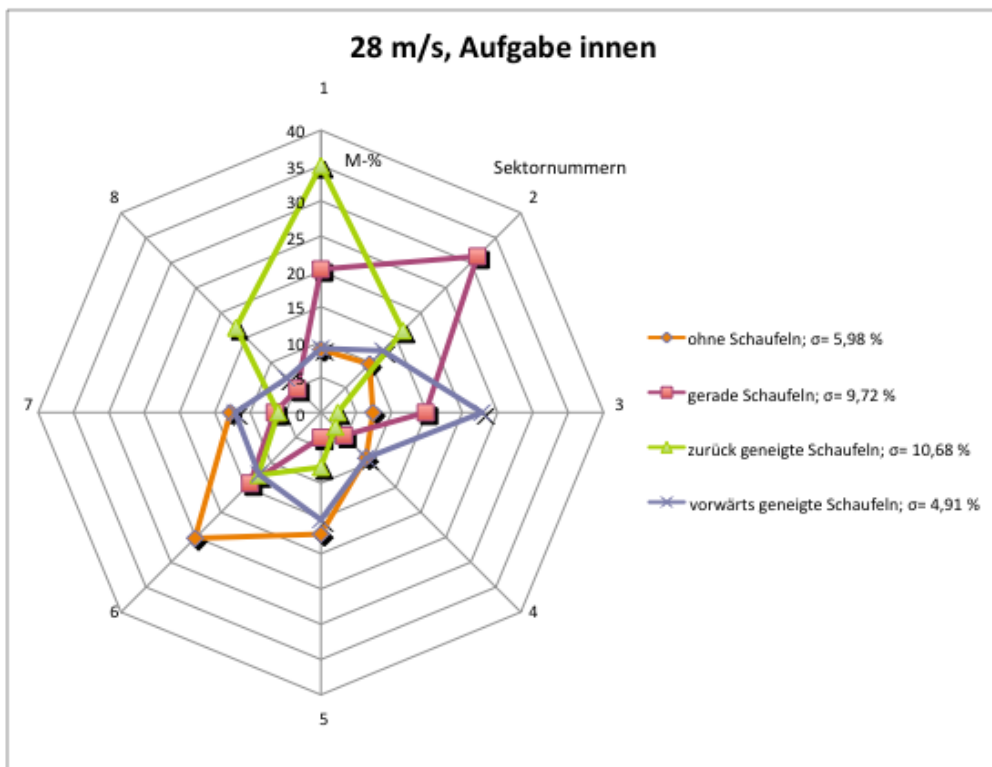


Abbildung 7-19: Abwurfbilder $v_u = 28 \text{ m/s}$, Aufgabe innen

Aus den Abbildungen ist deutlich zu sehen, dass die Ergebnisse für den Fall der Aufgabe nahe dem äußeren Tellerrand (Aufgabe außen) wesentlich schlechter ausfallen. Die Verteilungen sind im Schnitt viel spitzer konturiert als bei der Aufgabe nahe der Tellermitte. Zudem sind die Standardabweichungen deutlich höher, was auf eine deutlich schlechtere Verteilung des Zement-Rohmehls hinweist. Abgesehen von der spitzeren Abwurfcharakteristik im Falle der Bestückung mit Mitnehmerschaufeln liegen die entsprechenden Abwurfmaxima sehr dicht beisammen. Diese Charakteristik ändert sich auch mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit nicht wesentlich, das gesamte Abwurfbild verschiebt sich lediglich etwas in Drehrichtung.

Bei der Versuchsreihe mit der Aufgabestelle nahe der Tellermitte (Aufgabe innen) ist die Abwurfcharakteristik ohne Mitnehmerschaufeln deutlich besser. Hier ist nun auch zu sehen, dass die Mitnehmerschaufeln in diesem Fall einen stärkeren Einfluss auf die Abwurfcharakteristik haben. Die Ergebnisse sind weiter aufgefächert, allerdings verschieben sie sich bei montierten Mitnehmerschaufeln auch stärker in Drehrichtung des Tellers, was eine noch größere Verlängerung der Verweildauer auf dem Teller zur Folge hat, als bei Aufgabe am äußeren Tellerrand (Aufgabe außen).

Eine bedeutende Erkenntnis der aus den Abwurfcharakteristika abzuleitenden Versuchsergebnisse ist, dass die unterschiedlichen Schaufelkonfigurationen keine gleichmäßige Verteilung um den Umfang bewirken. Dies gilt im Besonderen für den Bereich zwischen Aufgabestelle und dem Abwurfmaximum ohne Mitnehmerschaufeln. Um diesen Bereich abzudecken, ohne das abzuwerfende Material weiter als eine gesamte Umdrehung auf dem Teller mitzuführen, wäre es notwendig gewesen, dass die gegen die Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln einen früheren Abwurf hervorrufen, als jene Konfiguration ohne Mitnehmerschaufeln. Dies konnte jedoch unter keiner der untersuchten Schaufelkonfigurationen erreicht werden.

7.6 Untersuchungen zum Einfluss gekrümmter Mitnehmerschaufeln

7.6.1 Versuchsdurchführung

Aufgrund der Ergebnisse aus Punkt 7.5 wurde eine gekrümmte Variante der gegen die Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln entworfen. Die genaue Geometrie ist Abbildung 7-20 zu entnehmen.

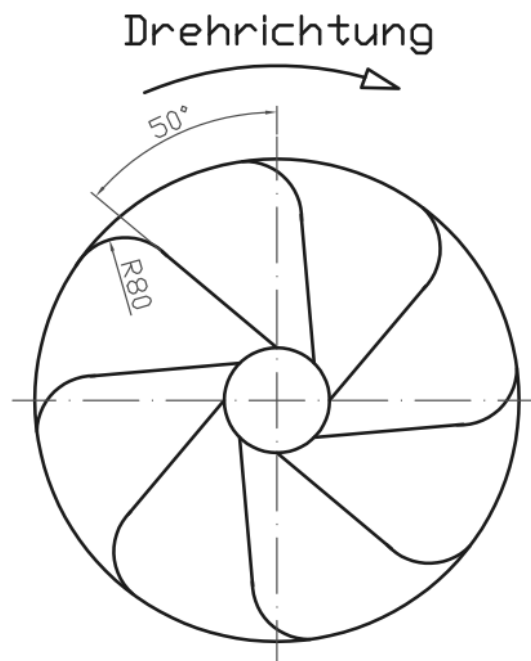


Abbildung 7-20: Schematische Darstellung der gekrümmten, gegen die Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln

Die gekrümmten Mitnehmerschaufeln laufen nach außen nahezu tangential zum Tellerrand hin aus. Die Versuchsreihe wurde bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 14 m/s und mit der „Sektorteilung hoch“ gefahren.

7.6.2 Ergebnisse

Auch diese Schaufelgeometrie konnte keine wesentliche Verbesserung erzielen, wie aus Abbildung 7-21 hervorgeht. Der generelle Mitnahmeeffekt überwiegt augenscheinlich zu stark, als dass die nach außen hin stärker

gekrümmten Mitnehmerschaufeln am äußeren Tellerrand zu einem früheren Abwurf führen könnten.

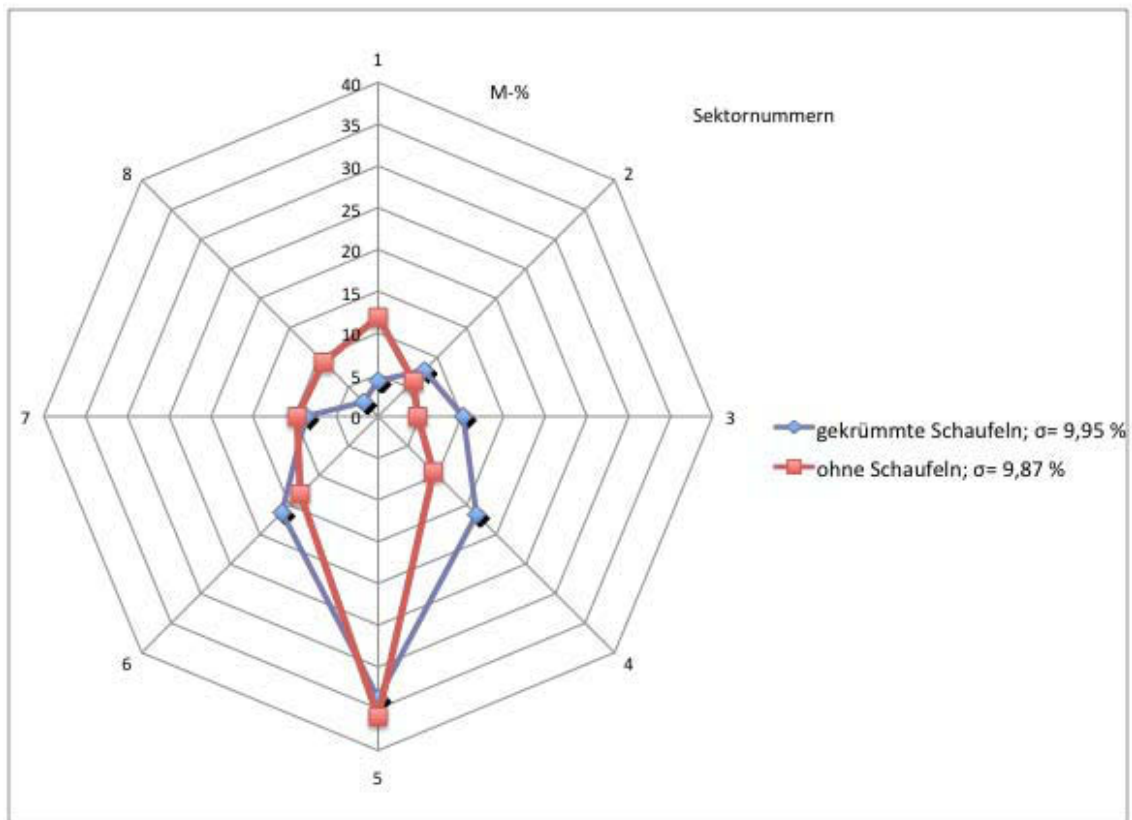


Abbildung 7-21: Abwurfbild gekrümmte Mitnehmerschaufeln

8 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Vor dem Hintergrund des in Kapitel 3 erläuterten Standes der Technik und der in Kapitel 4 beschriebenen, sich daraus ergebenden Herausforderungen, lassen sich aus der Analyse der Ergebnisse der durchgeführten Versuchsreihen folgende Schlüsse ziehen:

Korngrößenverteilung

Bei der Analyse der Korngrößenverteilungen in den einzelnen Abwurfsektoren konnte festgestellt werden, dass es im Zuge der Dispergierung zu keiner nennenswerten Entmischung – und somit keiner korngößenspezifischen Abwurfposition - der einzelnen Korngrößenbereiche kam. Dies galt ebenso im Falle des Einsatzes von Quarzsand, wie auch für den Einsatz von Zement-Rohmehl als Aufgabematerial.

Umfangsgeschwindigkeit des Dispergiertellers

Bei den Untersuchungen zum Einfluss der Umfangsgeschwindigkeit konnte eine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Dispergiergüte festgestellt werden, welche hauptsächlich mit der eingesetzten Tellerform in Zusammenhang gebracht werden konnte. Zur Verbesserung der Dispergierung kann die - für den jeweiligen Bereich der Umfangsgeschwindigkeit - passende Form des Dispergiertellers eingesetzt werden. Das bedeutet im unteren Geschwindigkeitsbereich die Verwendung der balligen und im oberen die Verwendung der konischen Ausführung.

Aufgabestelle

Die Aufgabe des zu sichtenden Gutes betreffend wäre es natürlich wünschenswert, nur eine Aufgabestelle zu benötigen, da dies einen deutlich geringeren konstruktiven Aufwand mit sich bringt. Die diesbezüglichen Ergebnisse der systematischen Untersuchungen zeigen jedoch eindeutig auf, dass die Verteilung um den Umfang mit 2 Aufgabestellen deutlich verbessert werden kann.

Zum Einfluss der Form des Auslassstutzens an der Aufgabestelle kann gefolgert werden, dass die aktuell im realen Sichtaggregat verwendete

Formgebung mit seitlichen Auslassöffnungen eine Verbesserung der Dispergierung mit sich bringt. Die Verteilung wird im Vergleich mit dem simplen Rohr deutlich verbessert, insbesondere dann, wenn die Aufgabestelle nahe dem äußeren Rand des Dispergiertellers positioniert ist.

Dispergiertellerformen

In den hierzu durchgeführten Versuchsreihen wurde der Effekt der Montage von Mitnehmerschaufeln auf dem Dispergierteller analysiert. Hierzu ist festzustellen, dass die Mitnehmerschaufeln zu einer sehr spitzen und daher ungünstigen Abwurfcharakteristik führen. Veränderungen an der Anordnung oder der Form der Mitnehmerschaufeln wirken sich nur untergeordnet aus. Selbst mit einer asymmetrischen Schaufelbestückung des Dispergiertellers war es nicht möglich, das Abwurfbild über den gesamten Umfang deutlich zu vergleichmäßigen. Weiters trat der Effekt auf, dass der Abwurf mit den Mitnehmerschaufeln teilweise erst dann erfolgte, nachdem das Material eine gesamte Umdrehung auf dem Teller vollführt hatte. Dadurch traf die Frischaufgabe auf die noch nicht abgeworfene Gutschleppe, was zwar in den Versuchen aufgrund der kurzen Versuchsdauer nicht zu Problemen führte, im Sichtaggregat jedoch zu einem Zusetzen und somit zu einer Ausschaltung der Wirkung der Mitnehmerschaufeln führen könnte.

Abweichungen der Dispergierwirkung zwischen den Ergebnissen der entwickelten Versuchsapparatur und dem industriell eingesetzten Sichtaggregat sind natürlich nicht auszuschließen, da die durch den Dispergierteller erzeugte Aufströmung in dieser Form beim realen Sichtprozess nicht auftreten wird. Trotzdem können diese Versuche Tendenzen beschreiben und Unterschiede aufzeigen.

Eine asymmetrische Ausstattung des Dispergiertellers, bei der eine Hälfte des Tellers mit Mitnehmerschaufeln ausgestattet wird und die andere nicht, wurde nicht getestet, hätte aber das Potential, mit einer Aufgabestelle ein ähnliches Abwurfverhalten zu erreichen, wie zwei Aufgabestellen ohne Mitnehmerschaufeln. Allerdings ist Vorsicht geboten, da – selbst bei Bewältigung der wuchttechnischen Probleme – diese Konfiguration zu einem unerwünschten Pulsieren des Materialstroms im Sichtraum führen könnte.

Ausblick

Ein gangbarer Weg zur modellhaften Beschreibung der Vorgänge auf dem Streuteller und der Flugphase wäre die anfängliche Verwendung von Kugeln einer definierten Größe und eines definierten Materials, um mit bekannten Reibwerten arbeiten zu können. Als nächster Schritt würde sich ein Vergleich des Kugelverhaltens mit dem Verhalten von monomineralischem Gut anbieten. Dieses sollte sich in einem Korngrößenbereich befinden, welche einer Staubentwicklung entgegenwirkt, möglichst eng gewählt ist. Weiters wäre eine möglichst gedrungene Kornform von Vorteil. Mit diesen Versuchsergebnissen wäre es denkbar, das Bewegungsverhalten von Körnern auf dem Teller zu simulieren.

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur

- [1] Informationsbroschüre „Hochleistungssichter“ der Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH, 2009
- [2] Informationsbroschüre „O-Sepa Separator“ der F.L.Smidth A/S, 2009
- [3] Patterson, D.E.; Reece, A.R.: The Theory of the centrifugal distributor I. Journal of Agricultural Engineering Research 7 (1962) Nr. 3, S. 232-240
- [4] Inns, F.M.; Reece, A.R.: The Theory of the centrifugal distributor II. Journal of Agricultural Engineering Research 7 (1962) Nr. 4, S. 345-353
- [5] Mennel, R.M.; Reece, A.R.: The Theory of the centrifugal distributor III. Journal of Agricultural Engineering Research 8 (1963) Nr. 1, S. 78-84
- [6] Dobler, K.; Flatow, J.: Berechnungen der Wurfvorgänge beim Schleuderdüngerstreuer. Grundlagen der Landtechnik Bd.18 (1968) Nr. 4, S. 129-134
- [7] Klapp, E.: Theorie der Verteilung von Feststoffteilchen mittels Schleuderscheiben. Forschung Ingenieurwesen 31 (1965) Nr. 3, S. 83-86
- [8] Böhm, A.: Skriptum „Probenahme und Vergleichmäßigung“. 2007; Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben
- [9] Marks, K.: Zur Problematik der Schleuderdüngerstreuer. Landtechnische Forschung 9 (1959) H. 1, S. 21-24
- [10] Van Liedekerke, P.; et.al.: DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader. Powder technology 190 (2009), S. 348-360
- [11] Pöschel, T.; Schwager, T.: Granular dynamics: Models and Algorithms, Springer, Berlin, 2005
- [12] Schäfer, J.; Dippel, S.; Wolf, D.E.: Force Schemes in simulations of granular materials. Journal de Physique (France) 6 (1996), S. 5-20

9.2 Abbildungen

Abbildung 2-1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus	3
Abbildung 2-2: Modifizierter Auslassstutzen	5
Abbildung 2-3: Gekrümmte, gegen die Drehrichtung geneigte Mitnehmerschaukeln.....	5
Abbildung 3-1: Prinzip der QDK-Serie der Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH (Feingutaustrag nach unten)[1]	7
Abbildung 3-2: Prinzip der O-Sepa Separator Serie der F.L.Smidth A/S (Feingutaustrag nach oben)[2].....	8
Abbildung 5-1: Korngrößenverteilung des Zement-Rohmehls	14
Abbildung 5-2: Korngrößenverteilung Sand	15
Abbildung 6-1: Dispergierteller auf dem Motor	16
Abbildung 6-2: Aufgabebehälter.....	17
Abbildung 6-3: Anordnung der Einzelkomponenten.....	17
Abbildung 6-4: Vibrationsrinne zur Aufgabe.....	19
Abbildung 6-5: Verschlepptes Material nach dem Versuch	20
Abbildung 6-6: Montiertes Schott	20
Abbildung 6-7: „Sektorteilung tief“	21
Abbildung 6-8: „Sektorteilung hoch“.....	22
Abbildung 6-9: Sektorschema und Aufgabestellen	23
Abbildung 6-10: Endversion des Versuchsstandes	24
Abbildung 7-1: Korngrößenverteilungen	26
Abbildung 7-2: Korngrößenverteilungen bezogen auf den Gesamtinhalt....	26
Abbildung 7-3: Abwurfbilder $v_u = 14$ m/s, konischer Teller	28
Abbildung 7-4: Abwurfbilder $v_u = 28$ m/s, konischer Teller	29
Abbildung 7-5: Abwurfbilder $v_u = 42$ m/s, konischer Teller	29
Abbildung 7-6: Abwurfbilder $v_u = 14$ m/s, balliger Teller	31
Abbildung 7-7: Abwurfbilder $v_u = 28$ m/s, balliger Teller	31
Abbildung 7-8: Abwurfbilder $v_u = 42$ m/s, balliger Teller	32
Abbildung 7-9: Schematische Darstellung der ungekrümmten, radial ausgerichteten Mitnehmerschaukeln	34
Abbildung 7-10: Abwurfbilder der Versuche mit Vibrationsrinne.....	35

Abbildung 7-11: links: Rohr (oben) und modifizierter Auslassstutzen (unten); rechts: Frontalansicht des modifizierten Auslassstutzens	36
Abbildung 7-12: Abwurfbilder rohrförmiger Auslassstutzen	37
Abbildung 7-13: Abwurfbilder modifizierter Auslassstutzen	38
Abbildung 7-14: Schematische Darstellung der gegen die Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln	40
Abbildung 7-15: Schematische Darstellung der in Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln.....	40
Abbildung 7-16: Abwurfbilder $v_u = 14$ m/s, Aufgabe außen.....	42
Abbildung 7-17: Abwurfbilder $v_u = 28$ m/s, Aufgabe außen.....	42
Abbildung 7-18: Abwurfbilder $v_u = 14$ m/s, Aufgabe innen	43
Abbildung 7-19: Abwurfbilder $v_u = 28$ m/s, Aufgabe innen	43
Abbildung 7-20: Schematische Darstellung der gekrümmten, gegen die Drehrichtung geneigten Mitnehmerschaufeln	45
Abbildung 7-21: Abwurfbild gekrümmte Mitnehmerschaufeln	46

10 Anhang

10.1 Messdaten Lasergranulometer

Gerät:

Malvern Mastersizer 2000 mit Dispergiereinheit Hydro 2000G

Einstellungen:

Auswertung der Messung	Fraunhofer
Rührergeschwindigkeit	800 rpm
Pumpengeschwindigkeit	1250 rpm
Ultraschall	ausgeschalten

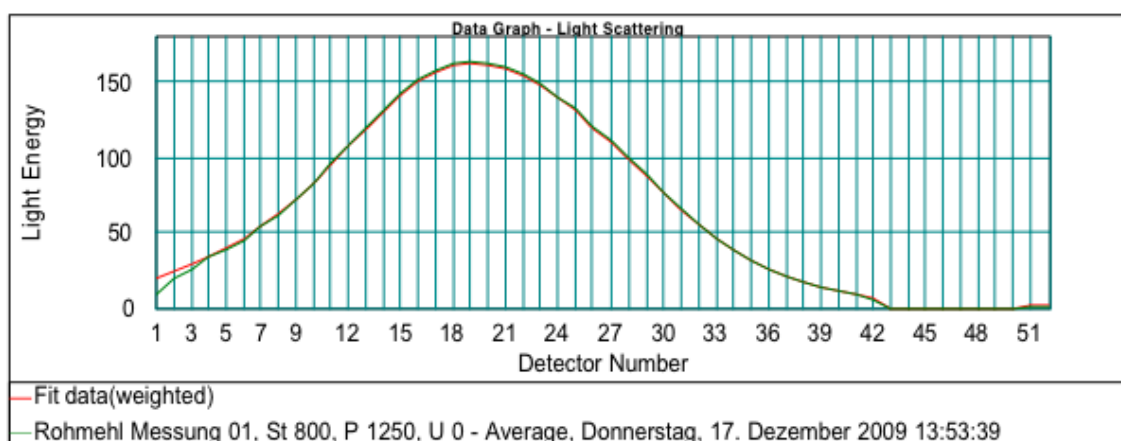
Messfluid:

Destilliertes Wasser

Dispergiermittel:

Natriummetaphosphat, Konzentration 2 g/l

Data Fit:



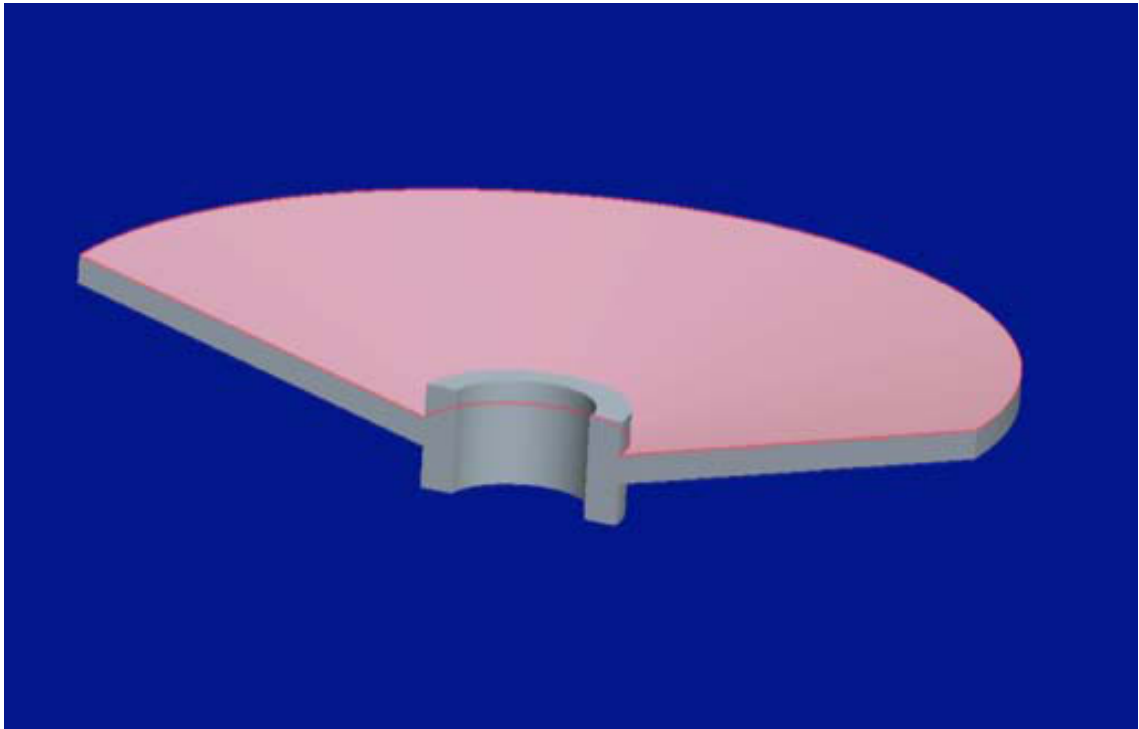
10.2 Versuchstafel

X...„Sektorteilung tief“

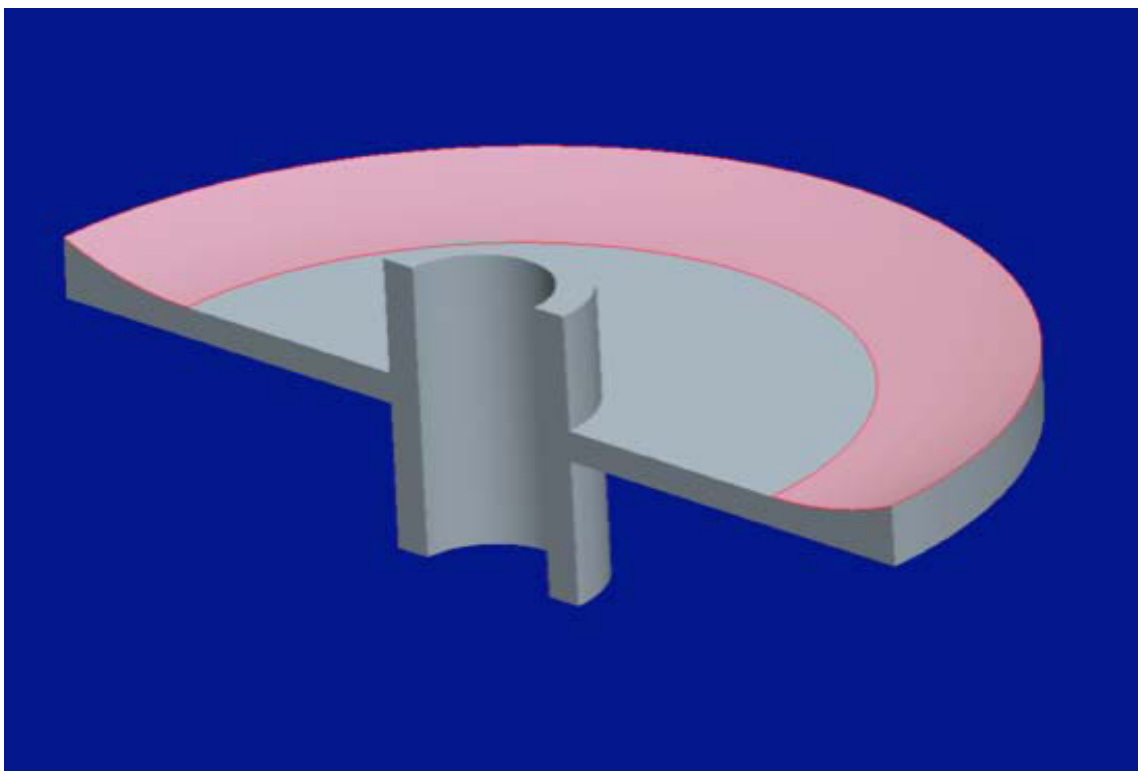
O...„Sektorteilung hoch“

Aufgabeart	Teller	Schaufeln	Geschwindigkeit	Aufgaberohr			modifizierter Stutzen		
				1, außen	2, außen	1, innen	1, außen	1, innen	
Vibrationsrinne	konisch	ohne	14	X					
			28	X					
			42						
		ungekrümmt radial	14	X					
			28	X					
			42						
Container	konisch	ohne	14	XO	X			O	
			28	XO	X			O	
			42	X	X				
	ballig	ohne	14	X	X				
			28	X	X				
			42	X	X				
	konisch	ungekrümmt radial	14	O				O	
			28	O				O	
			42						
		ungekrümmt zurück geneigt	14	O					O
			28	O					O
			42						
ungekrümmt nach vor geneigt	14	O					O		
	28	O					O		
	42								
gekrümmt zurück geneigt	14	O					O		
	28	O					O		
	42								

10.3 *Schematische Darstellungen der Tellerformen*



konische Tellerform



ballige Tellerform