

FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK

des Arbeitskreises Forschung und Lehre
der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG)

160

Abel González Oliva

Einfluß verschiedener Parameter auf die Trenneigenschaften des Planetentrommelsortierers bei der Korn-Spreu-Trennung

Dissertation

Hohenheim 1989

Institut für Agrartechnik
Lehrstuhl Grundlagen der Landtechnik
Universität Hohenheim
Prof. Dr.-Ing. H. D. Kutzbach

**EINFLUSS VERSCHIEDENER
PARAMETER AUF DIE TRENNEIGENSCHAFTEN
DES PLANETENTROMMELSORTIERERS
BEI DER KORN-SPREU-TRENNUNG**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften
der
Fakultät IV – Agrarwissenschaften II
Agrarökonomie, Agrartechnik und Tierproduktion

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Abel González Oliva
Buenos Aires/Argentinien
Hohenheim 1988

Hauptberichter: Prof.Dr.-Ing. H.D. Kutzbach
Mitberichter: Prof.Dr.-Ing. W. Busse
Tag der Einreichung: 14.12.1988
Tag der mündlichen Prüfung: 17.04.1989

C 1989: im Selbstverlag

ISSN 0931 - 6264 "D 100"

Bezugsquelle: Institut für Agrartechnik
der Universität Hohenheim
Garbenstr. 9
7000 Stuttgart 70

Alle Rechte, auch die der Übersetzung und des Nachdruckes
sowie jede Art der photomechanischen Wiedergabe, auch aus-
zugsweise, bleiben vorbehalten.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1986 bis 1988 am Lehrstuhl Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

Für die Anregung zu dieser Arbeit, die wissenschaftliche Betreuung und die großzügige Unterstützung möchte ich mich bei Herrn Prof.Dr.-Ing. H.D. Kutzbach besonders bedanken.

Herrn Prof.Dr.-Ing. W. Busse danke ich für die Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Mitberichtes.

Für die kollegiale Hilfe, besonders zu Beginn meiner beruflichen Tätigkeit in Deutschland, möchte ich den Herren Dr.-Ing. W.H. Grobler und Dipl.-Ing. D. Berner ausdrücklich danken.

Bei allen Mitarbeitern des Instituts für Agrartechnik und bei den studentischen Hilfskräften, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. S. Böttinger für seine konstruktiven Ratschläge bei der Erstellung dieser Arbeit und Frau A. Mayer für ihre sorgfältige Durchführung und Auswertung der Versuche.

Die Finanzierung dieses Forschungsprojektes erfolgte im Rahmen von Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung der Korn-Spreu-Trennung mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Landmaschinen-Industrie, denen hierfür gedankt sei.

Abel González Oliva

Inhaltverzeichnis

Formelzeichen	7
1. Einleitung	9
2. Theoretische Grundlagen des Planetentrommel- sortierers	14
2.1. Gutbewegung in der Siebtrommel	15
2.2. Beschleunigungen und Kräfte am Gutpartikel	17
3. Beschreibung des Prüfstandes	22
3.1. Versuchsaufbau	22
3.1.1. Prüfstand	22
3.1.2. Versuchsanlage	23
3.1.3. Versuchsdurchführung	25
3.1.4. Versuchsauswertung	26
3.2. Versuchsgut	27
4. Leistungsbedarf und Gutbewegung	31
4.1. Leistungsbedarf des Prüfstandes	31
4.2. Axialgeschwindigkeit des Gutes	35
5. Untersuchung des Einflusses mechanischer und pneumatischer Parameter auf die Korn-Spreu-Trennung	43
5.1. Einfluß der Gutzuführung	43
5.2. Einfluß der Siebtrommelgeometrie	46
5.2.1. Durchmesser	46
5.2.2. Auslegerlänge	49

5.3.	Einfluß einer Gutauflockerung	50
5.3.1.	Keilförmige Auflockerungselemente	51
5.3.2.	Schneckenförmige Auflockerungselemente	56
5.4.	Einfluß der Axialgeschwindigkeit des Gutes	64
5.4.1.	Beschleunigende Förderschnecken	64
5.4.2.	Verzögernde Förderschnecken	71
5.5.	Luftströmung	78
5.5.1.	Auflockerungsgeschwindigkeit der Luftströmung an der Siebwand	78
5.5.2.	Aufbau der Luftströmungseinrichtung	81
5.5.3.	Untersuchung der pneumatischen Auflockerung	86
5.6.	Einfluß der Guteigenschaften	91
5.6.1.	Korn-Spreu-Verhältnis	91
5.6.2.	Feuchtigkeit des Gutes	94
5.6.3.	Zusammensetzung des NKB-Anteils	97
6.	Vergleich und Auswertung der untersuchten Parameter	101
7.	Zusammenfassung	108
8.	Literaturverzeichnis	111

Formelzeichen

\bar{a}'	m/s ²	Relativbeschleunigung
\bar{a}_C	m/s ²	Coriolisbeschleunigung
\bar{a}_F	m/s ²	Führungsbeschleunigung
\bar{a}_G	m/s ²	Gesamtbeschleunigung
\bar{a}_N	m/s ²	Normalbeschleunigung
A_P	m ²	Querschnittsfläche eines Partikels senkrecht zum Luftstrom
b	mm	Breite der Leitbleche (Förderschnecke)
c_W	-	Luftwiderstandsbeiwert
d	mm	Abstand zur Siebwand
d_S	mm	Siebtrommeldurchmesser
d_K	mm	Teilchendurchmesser (Korn)
\bar{F}_G	N	Gesamtkraft
\bar{F}_{GN}	N	Normalanteil der Gesamtkraft
\bar{F}_{KV}	N	Kinetische Volumenkraft
\bar{F}_{KVN}	N	Normalanteil der Kinetischen Volumenkraft
\bar{F}_L	N	Strömungskraft
\bar{F}_R	N	Reibkraft
\bar{F}_W	N	Widerstandskraft
\bar{F}_{WN}	N	Normalanteil der Widerstandskraft
\bar{F}_S	N	Stützkraft am Sieb
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
K_A	%	Prozentuale Kornabscheidung
K_L	%/100 mm	auf Sieblänge bezogene proz. Kornabscheidung
l	cm	Halmlänge
l_{Si}	mm	Sieblänge der Fraktion i
m	kg	Masse
m_E	kg	Einheitsmasse
m_K	t/h	Korndurchsatz
m_K	kg	Kornmasse
m_{Ki}	kg	Kornmasse Fraktion i
m_{NKBi}	kg	Masse der Nichtkornbestandteile der Fraktion i
n_A	min ⁻¹	Auslegerdrehzahl
n_G	min ⁻¹	Gebläsedrehzahl
n_S	min ⁻¹	Siebtrommeldrehzahl
NKB	-	Nichtkornbestandteile

P	kW	Leistungsbedarf
P_A	kW	Leistungsbedarf des Auslegerantriebes
P_S	kW	Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes
p	bar	Druck
r_A	mm	Auslegerlänge
\vec{r}_A	mm	Ortsvektor zur Siebtrommelachse
R_H	%	Reinheit der Kornfraktion
r_S	mm	Siebtrommelradius constant 300 mm (200 mm und 150 mm nur in Kap. 5.2.)
\vec{r}_S	mm	Ortsvektor zu einem Punkt auf der Siebtrommelwand
s	mm	Steigung
t	s	Verweildauer
TKG	g	Tausend-Korn-Gewicht
U	%	Feuchtegehalt
\dot{V}	l/min	Luftdurchsatz
v'	m/s	Geschwindigkeit der Partikel
v_A	m/s	Auflockerungsgeschwindigkeit
v_{Ax}	m/s	Axialgeschwindigkeit
v_L	m/s	Luftgeschwindigkeit
v_R	m/s	Relativgeschwindigkeit
v_K	%	Kornverlust
v_u	m/s	Umfangsgeschwindigkeit der Siebtrommel
v_{up}	m/s	Umfangsgeschwindigkeit der Partikel
xyz	-	Kartesische Koordinaten
ρ_l	kg/m ³	Luftdichte
ρ_S	kg/m ³	Schüttdichte
α	°	Umfangswinkel des Siebes
β	°	Winkel der Flügel bei Messung der Axial- geschwindigkeit des Gutes zur Siebtrommelachse
β_K	°	Böschungswinkel
σ	%	Schlupf
μ	-	Reibbeiwert
μ_{KS}	-	Haftreibungsbeiwert zw. Korn und Stroh
ω	-	Winkelgeschwindigkeit
ω_A	-	Winkelgeschwindigkeit der Grundplatte
ω_S	-	Winkelgeschwindigkeit der Siebtrommel

1. Einleitung

Seit der Einführung der Mähdrescher in Deutschland vor etwa 35 Jahren nimmt deren Leistungsfähigkeit ständig zu, um die steigenden Ansprüche der Landwirtschaft an die Körnerfruchternte zu erfüllen [1,2]. Zunehmende Flächenerträge und steigende Lohnkosten stellen immer größere Anforderungen an die Schlagkraft während der Ernteperiode. Ebenso fordert der vermehrte Einsatz von Mähdreschern durch Lohnunternehmer immer leistungsfähigere Maschinen, die innerhalb kurzer Zeit sicher und verlustarm die größer werdenden Erntemengen bewältigen können.

Diese Tendenz führte in den letzten Jahren zu immer größeren Abmessungen der konventionell arbeitenden Mähdrescher und zu neuen Systemen im Bereich der Dresch- und Trennorgane.

Bei den konventionellen Mähdreschern hat sich vor allem die Größe des Hordenschüttlers und der Reinigungsanlage als begrenzender Faktor herausgestellt. Der Einsatz schüttlerloser Mähdrescher ermöglichte zwar die Einsparung der Hordenschüttler, erhöhte aber den Kurzstroh-Anteil, durch den die Reinigungsanlage zusätzlich belastet und damit in ihrer Leistungsfähigkeit stärker begrenzt wird. Einerseits arbeitet die Reinigung auf Flachsieben nur in einem bestimmten Durchsatzbereich störungs- und verlustarm, andererseits läßt sich die Siebfläche nicht mehr vergrößern, da die Abmessungen der Mähdrescher bereits die zulässigen Grenzen erreicht haben, die sich aus der Straßenverkehrsordnung und dem Eisenbahntransport ergeben.

Zur Verbesserung der konventionellen Reinigungsanlage wurden verschiedene Konzepte entwickelt [3,4,5]. Um die pneumatische Vorabscheidung besser auszunutzen, wurde beim Übergang des Reinigungsgutes vom Vorbereitungsboden auf das Obersieb eine zweite Fallstufe eingebaut [6,7].

Zur Anpassung der Reinigungsanlage an den Einsatz des Mähdre-

schers in Hanglagen wurden mehrere Möglichkeiten des Hangausgleichs entwickelt, so z.B. Einpendeln der Siebe in die Horizontale, seitliche Impulse, oder geregelte Luftströmung [8 bis 13].

Durch den Einsatz der Mikroelektronik für die Überwachung, Einstellung und Regelung der Reinigungsanlagen [14 bis 19] ergeben sich weitere Möglichkeiten zur Optimierung ihres Arbeitsverhaltens.

Diese Neuerungen verbessern zwar die Kornabscheidung und erniedrigen dadurch das Verlustniveau auch unter besonderen Einsatzbedingungen wie die Ernte in Hanglagen und schwankendem Durchsatz, stoßen aber immer an die bauartbedingten vorgegebenen räumlichen Grenzen der Reinigungsanlagen.

Als weitere Alternative wurden deshalb neue Reinigungssysteme untersucht [20,21], die mit rotierenden Trennelementen mit großen nutzbaren Siebflächen bei höheren Beschleunigungen arbeiten und deswegen eine raumsparende, weitgehend hangunabhängige Separation mit höheren Leistungen versprechen.

Die verschiedenen Bauarten dieser rotierenden Trennverfahren unterscheiden sich vor allem in der Form der Trennelemente und in den Hilfsmitteln für die Auflockerung der Gutschicht und den Guttransport.

Buchanan und Johnson [22] untersuchten ein waagrecht liegendes, rotierendes konisches Trennsieb mit innen rotierendem konischen Fördererelement. Srivastava, Nelson, u.a. [23] arbeiteten mit einer waagrecht liegenden rotierenden Siebtrommel mit eingebauter Förderschnecke. SaijPaul [24,25] untersuchte auch Trennsysteme mit zusätzlicher Gutauflockerung mittels einer Luftströmung durch die Trennflächen. Park [26,27] experimentierte mit einer vertikalen Siebtrommel mit Förderschnecke und vorgeschalteter Windsichtung, Pedersen [28] mit ungleichmäßiger Drehgeschwindigkeit der Siebtrommel.

Long, Hamdy und Johnson [29] führten Versuche an einem rotierenden, senkrecht stehenden Siebzylinder mit hohen Beschleunigungsfeldern durch. Grinkov und Cherepakhin [30] untersuchten einen rotierenden und in der Drehachse vibrierenden Siebzylinder mit einstellbarem Neigungswinkel. Sie erreichten eine Verbesserung der spezifischen Separationsleistung um das Dreifache gegenüber dem nur rotierenden Siebzylinder.

Goncharov und Vasilenko [31] arbeiteten mit einer vertikalstehenden, rotierenden und vibrierenden Siebtrommel für die Saatgutreinigung, deren Separationsleistung mit zunehmender Zentrifugalkraft und Intensität der Vibrationen ansteigt.

Die dänische Firma Damas baut einen Saatgutreiniger nach dem Prinzip der Planetentrommelsortierer, bei dem mehrere rotierende Siebtrommeln sich zusätzlich um eine zentrale Achse drehen und dadurch sich die auf das Gut wirkenden Beschleunigungsfelder überlagern [32,33].

Von den verschiedenen Wirkprinzipien erscheint das des Planetentrommelsortierers als besonders aussichtsreich [34] und es wurde daraufhin in Hohenheim näher untersucht. Grobler [35] hat die theoretischen Grundlagen des Verfahrens weiterentwickelt und einen Prüfstand aufgebaut, um erste experimentelle Untersuchungen durchzuführen. Im Rahmen seiner Arbeit wurde ein Rechenmodell zur Simulation der Gutbewegung in der Siebtrommel erstellt. Damit wurde es möglich, verfolgenswerte Abmessungen und Einstellungen einzugrenzen. Durch experimentelle Untersuchungen wurde dieser Arbeitsbereich bestätigt. Das Leistungsniveau, ausgedrückt in Verlustverhalten und Reinheit, lag dabei aber noch weit unter dem der herkömmlichen Flachsiebreinigungsanlagen.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, ob das bisher entwickelte einstufige Verfahren des Planetentrommelsortierers durch zusätzliche Faktoren verbessert werden kann.

Als Grundlage für die nachfolgenden Untersuchungen wird das theoretische Funktionsprinzip erläutert und der Aufbau des Prüfstandes, die Zusammensetzung des Versuchsgutes und der Versuchsablauf beschrieben. Der Leistungsbedarf des Prüfstandes unter verschiedenen Arbeitsbedingungen sowie die Axialgeschwindigkeit des Gutes in der Siebtrommel werden diskutiert.

Die problematische Zuführung einer Korn-Spreu-Stroh-Mischung in das rotierende Trennsystem wird analysiert und verbessert. Der Einfluß der Siebtrommelgeometrie (Durchmesser des Siebes, Auslegerlänge) wird untersucht. Die charakteristische Gut-anlagerung in der Siebtrommel (Gutniere) bedingt wegen der nicht ausreichenden Gutauflockerung einen ungenügenden Korndurchgang und damit hohe Verluste und eine schlechte Reinheit. Zur Verbesserung der Gutauflockerung werden keil- und schneckenförmige Auflockerungselemente eingesetzt und in ihrer Funktion untersucht.

Ein wichtiger Parameter für die Beurteilung des Planetentrommelsortier-Verfahrens ist die Axialgeschwindigkeit des Gutes und ihre Änderung bei unterschiedlichen Einstellungen. Mit Hilfe schneckenförmiger Förderelemente wird die Vertikalbewegung gezielt verändert, um die Wirkung der Axialgeschwindigkeit auf die Abscheideleistung und Reinheit des abgeschiedenen Kornes zu untersuchen.

Der Planetentrommelsortierer wurde bisher nur als rein mechanisches Trennverfahren untersucht. Die Separation des Kornes von Spreu und Stroh findet in begrenztem Maße bei bestimmten Kombinationen von Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen, Auslegerlänge, Siebtrommeldurchmesser und Gutzuführung statt. Die optimale Kombination dieser Parameter ist jedoch noch nicht ausreichend, um eine akzeptable Kornabscheidung und Reinheit zu ermöglichen. Es wird ein pneumatisches Verfahren zur Unterstützung der Gutauflockerung und des Separationsprozesses entwickelt und eingesetzt.

Zur Darstellung des Einflusses der Guteigenschaften auf die Abscheideleistung des Trennverfahrens werden die Korn/NKB-Verhältnisse, die Gutfeuchten und die Zusammensetzung der Nichtkornbestandteile verändert und untersucht.

Anschließend wurden die Zusammenhänge der verschiedenen untersuchten Parameter und die Versuchsergebnisse diskutiert.

2. Theoretische Grundlagen des Planetentrommelsortierers

Der Planetentrommelsortierer arbeitet nach dem Trennprinzip gekrümmter Trennflächen mit erhöhten Beschleunigungen, Bild 1. Eine oder mehrere, vertikal angeordnete, um die eigene Achse drehende Siebtrommeln rotieren zusätzlich um die zentrale Drehachse des Auslegers. Das von oben durch einen Verteilmechanismus der Siebtrommel zugeführte Korn-Spreu-Stroh-Gemisch wird aufgrund von Zentrifugalkräften an der Siebtrommelwand angelagert, umgeschichtet und getrennt.

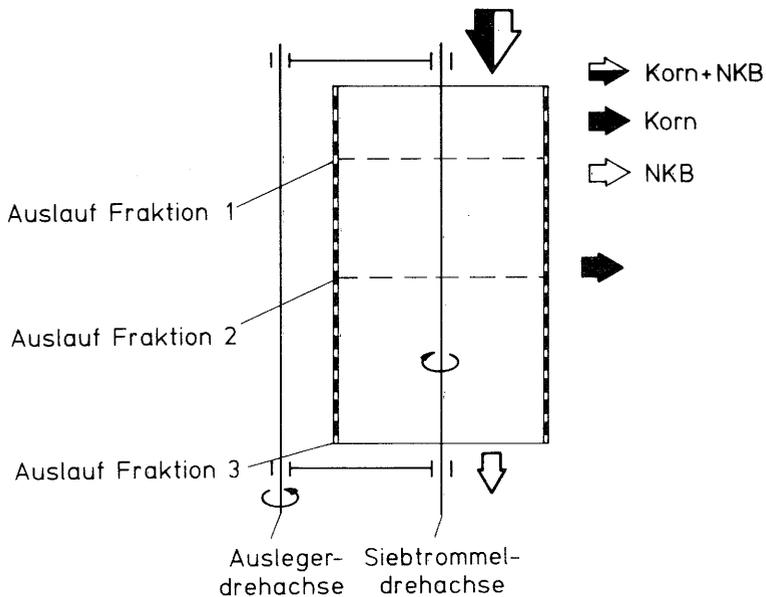


Bild 1 : Prinzip des Planetentrommelsortier-Verfahrens.

Die über die vertikale Länge der Siebtrommel abgeschiedenen Körner werden seitlich abtransportiert. Nicht separiertes Material fällt aufgrund der Erdbeschleunigung nach unten.

Die von Grobler [35] weiterentwickelten theoretischen Grundlagen werden im Folgenden hier zusammengefaßt.

2.1. Gutbewegung in der Siebtrommel

Auf das Gut, das sich in der Siebtrommel befindet, wirken aufgrund der überlagerten Drehbewegungen zwei Beschleunigungsfelder. Die Größe und Richtung der resultierenden Kräfte auf das Gut ist von dessen Lage in der Siebtrommel und von den gewählten Drehzahlen und Radien abhängig. Solange die Beschleunigungen von Ausleger und Siebtrommel in gleiche Richtung wirken, wird das Gut an die Siebtrommelwand gepreßt. Neben dieser Anpreßphase ergibt sich eine Auflockerungsphase wenn Ausleger- und Siebtrommelbeschleunigungen in entgegengesetzte Richtungen wirken und sich deshalb ganz oder teilweise aufheben. Für die Separation sollen beide Phasen durchlaufen werden. Ohne Auflockerungsphase würde das Gut an der Siebwand festsitzen und die erforderliche Umschichtung und Gutbewegung nicht stattfinden. Der Planetentrommelsortierer kann deshalb als Trennverfahren nur in einem bestimmten Bereich von Kombinationen aus Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen betrieben werden.

Bild 2 zeigt eine dreidimensionale Darstellung der Grenzfläche, an der die Übergangsbedingung zwischen Haften und Ablösen des Gutes von der Siebtrommelwand vorliegt. Die Siebtrommel-drehzahl resultiert aus der Überlagerung der Drehungen von Auslegerplatte und Siebtrommel. Das negative Vorzeichen weist auf die entgegengerichteten Drehrichtungen von Grundplatte und Siebtrommel hin.

Bei allen außerhalb der Grenzfläche liegenden Einstellkombinationen findet keine Gutablösung statt (Punkt A). Innerhalb der Grenzfläche sind die Beschleunigungen nur an einem Teil des Siebtrommelumfangs nach außen, im anderen Teil jedoch nach innen gerichtet, so daß sich das Gut von der Siebtrommelwand löst (Punkt B).

Durch den Wechsel von Haften und Ablösen der einzelnen Partikel bildet das zu trennende Material eine "Gutniere" aus. Diese entspricht der von Schubert und Kantorowitsch [36,37]

untersuchten Mahlkörperbewegung in Trommelmühlen. Die Gutniere wird durch innere Bewegungsphasen charakterisiert, Bild 3.

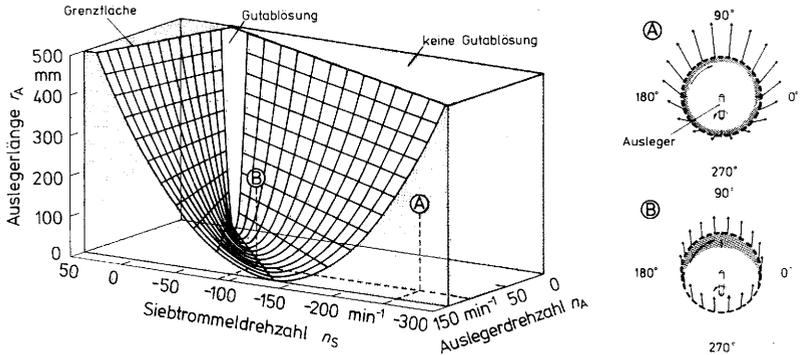


Bild 2 : Grenzkurven für das Ablösen des Gutes bei einem Siebtrommeldurchmesser von 600 mm.

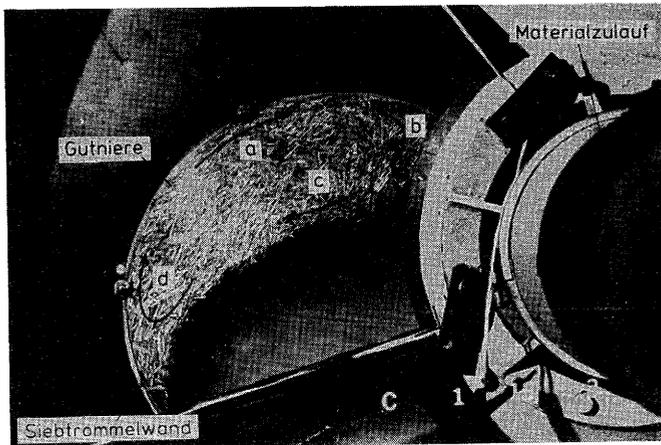


Bild 3 : Bewegungsphasen in der Gutniere :
 a) Anlagerungsphase b) Ablösephase
 c) Abrollphase d) Umlenk- und Einordnungsphase

In der Anlagerungsphase (a), in der die Strohpartikel weitgehend alle parallel zueinander gelagert sind, bewegt sich das Gut entlang der Siebtrommelwand auf Kreisbahnen relativ um die Siebtrommelachse bis zur Phase der Ablösung (b), in der sich die Bewegungsrichtung umkehrt.

Die Abrollphase (c) zeichnet sich durch eine weniger verdichtete Gutschicht und durch ungeordnete Strohpartikel aus, was auf starke Relativbewegungen untereinander schließen läßt.

In der Umlenk- und Einordnungsphase (d) reihen sich die Partikel wieder in die an der Siebwand angelagerte Gutschicht ein. Die Ausbildung der Gutniere ist von den kinematischen Verhältnissen abhängig.

In Vertikalrichtung wirken auf die Gutpartikel die Schwerkraft und die zwischen Siebwand und Gut auftretenden Reibkräfte, die die Axialbewegung in der Siebtrommel bestimmen. Diese Reibkräfte sind von den durch die Rotation überlagerten Beschleunigungen, von der räumlichen Position der Partikel und den Reibungskoeffizienten abhängig.

Durch diese Vielzahl von Faktoren ergeben sich an jeder Stelle der Siebtrommel unterschiedliche Bedingungen, die die Vertikalbewegung des Gutstromes beeinflussen. Die Axialgeschwindigkeit der Gutpartikel kann nur als Resultat der Wechselwirkung aller beteiligten Faktoren betrachtet werden.

2.2. Beschleunigungen und Kräfte am Gutpartikel

Die Bewegung eines beliebigen Partikels P_1 an der Siebtrommelwand wird durch zwei überlagerte Drehbewegungen erzeugt, deren Drehachsen vertikal und parallel zueinander im Raum stehen. Abgesehen von den Sonderfällen Auslegerdrehzahl $n_A = 0$, Siebtrommeldrehzahl $n_S = 0$ oder Auslegerlänge $\bar{r}_A = 0$, bewegt sich der Punkt P_1 an der Siebtrommelwand gegenüber einem raumfesten Bezugssystem x, y, z auf einer Epizykloidenbahn um

dessen Koordinatenursprung O . Die dabei auftretenden Beschleunigungen können am einfachsten durch Einführung eines bewegten Relativsystems x', y', z' beschrieben werden, Bild 4.

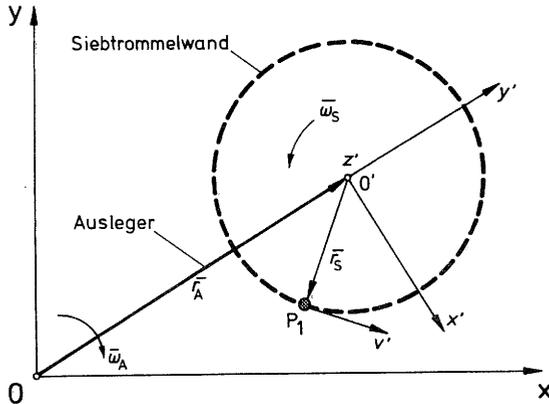


Bild 4 : Koordinatensystem am Planetentrommelsortierer.

Der Auslegerarm (Länge r_A), dreht sich mit der Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_A$. Die Siebtrommel rotiert mit der Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_S$ um den Koordinatenursprung O' im Abstand \bar{r}_S .

Die Gesamtbeschleunigung \bar{a}_G auf ein als Massenpunkt anzusehendes Partikel setzt sich aus Relativbeschleunigung \bar{a}' , der Führungsbeschleunigung \bar{a}_F und der Coriolisbeschleunigung \bar{a}_C vektoriell zusammen.

$$\bar{a}_G = \bar{a}' + \bar{a}_F + \bar{a}_C \quad (1)$$

Die einzelnen Komponenten berechnen sich bei gleichförmiger Bewegung zu :

$$\bar{a}' = \bar{\omega}_S \times (\bar{\omega}_S \times \bar{r}_S) \quad (2)$$

$$\bar{a}_F = \bar{\omega}_A \times (\bar{\omega}_A \times \bar{r}_A) + \bar{\omega}_A \times (\bar{\omega}_A \times \bar{r}_S) \quad (3)$$

$$\bar{a}_C = 2 (\bar{\omega}_A \times (\bar{\omega}_S \times \bar{r}_S)) . \quad (4)$$

Aus der Einheitsmasse m_E und der auf sie wirkenden Beschleunigung \bar{a}_G berechnet sich die kinetische Volumenkraft \bar{F}_{KV} :

$$\bar{F}_{KV} = - m_E \cdot \bar{a}_G . \quad (5)$$

Zusätzlich zu der kinetischen Volumenkraft wirken auf die Partikel noch Kräfte aufgrund der sie umgebenden Gutschicht und der Siebtrommelwand. Bild 5 zeigt eine schematische Darstellung der auf die Partikel wirkenden Kräfte.

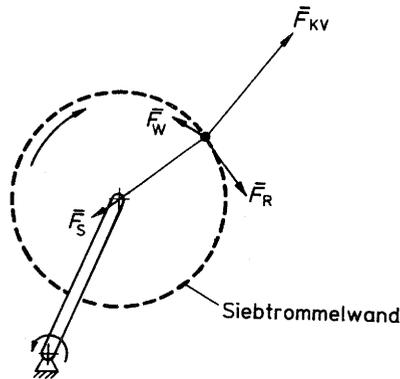


Bild 5 : Kräfte am Partikel.

Der kinetischen Volumenkraft \bar{F}_{KV} stehen die Reaktionskräfte Stützkraft am Sieb \bar{F}_S , Reibkraft \bar{F}_R und die sich aus dem Zusammenhalt der Partikel untereinander ergebenden Widerstandskraft \bar{F}_W entgegen.

Für die Stützkraft \bar{F}_S gilt:

$$\bar{F}_S = - (\bar{F}_{KVN} - \bar{F}_{WN}) \quad \text{für } \bar{F}_{KV} > 0 \quad (6)$$

wobei \bar{F}_{WN} den Normalanteil der Widerstandskraft \bar{F}_W beschreibt.

Die zwischen Gutpartikel und Siebwand auftretende Reibkraft \bar{F}_R berechnet sich aus:

$$\bar{F}_R = \bar{F}_S \cdot \mu \quad (7)$$

Die Widerstandskraft \bar{F}_W wird durch Reibkräfte der einzelnen Partikel untereinander und teilweise auch durch Formschluß zwischen den Partikeln hervorgerufen. Sie hängt stark von der Porösität der vor dem Partikel liegenden Gutschicht, und von der Durchdringungsgeschwindigkeit durch die Gutschicht ab.

Die Bewegung der Gutpartikel in Vertikalrichtung wird durch die Erdbeschleunigung und die zwischen Partikel und Umgebung auftretende Reibung beeinflusst. Die Reibkräfte in Bewegungsrichtung sind von den Fliehkräften, dem Reibbeiwert zwischen Partikel/Partikel oder Partikel/Siebwand, dem Beladungszustand der Siebtrommel (Dicke der Gutniere) und der Zusammensetzung des Gutes abhängig.

Die auf die Gutpartikel wirkenden Fliehkräfte sind von der Ausleger- und der Siebtrommeldrehzahl sowie dem Abstand zwischen Ausleger- bzw. Siebtrommelachse und der in der Gutniere sich befindenden Partikel abhängig. Die Intensität dieser Kräfte beeinflusst den Reibungswiderstand in Vertikalrichtung und ist für die verschiedene örtliche Position der Gutpartikel unterschiedlich. Hierdurch wird eine von der Siebwand zu der zentralen Achse der Siebtrommel zunehmende Axialgeschwindigkeit des Gutes verursacht. Dazu addieren sich die in horizontaler Ebene wirkenden Kräfte, die zu einem

ständigen Positionswechsel der Gutpartikel in der Gutniere führen.

Da die Vertikalbewegung des Gutes in der Siebtrommel ein durch zahlreiche Faktoren beeinflusster dynamischer Vorgang ist, wird für die Bestimmung der Axialgeschwindigkeit ein leicht anzuwendendes Meßverfahren eingesetzt (s. Kap. 3.4).

3. Beschreibung des Prüfstandes

3.1. Versuchsaufbau

3.1.1. Prüfstand

Für die Durchführung der Versuche wurde der von Grobler [35] verwendete Prüfstand mit einigen Änderungen benutzt. Gegenüber der Untersuchung von Grobler wurde der Einlauf der Korn-NKB-Mischung in die Siebtrommel sowie die NKB-Zuteilung geändert. Bild 6 zeigt eine schematische Darstellung des Prüfstandes.

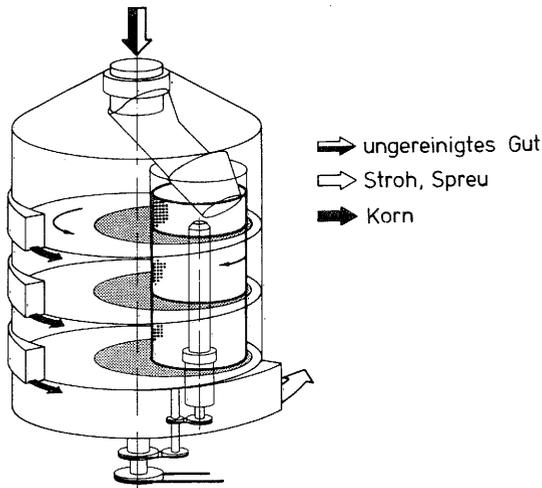


Bild 6 : Schematische Darstellung des Prüfstandes, (nach Grobler [35], Guteinlauf geändert).

Die exzentrisch angeordnete Siebtrommel wird von oben mit dem Korn-Spreu-Stroh-Gemisch beschickt. Das separierte Gut wird in drei Ebenen gesondert aufgefangen und durch die Drehbewegung nach außen zum Auswurf gefördert. Nicht abgeschiedenes Material fällt entlang der Siebtrommelachse nach unten und wird durch den Strohauswurf abgeführt.

In Bild 7 ist ein senkrechter Schnitt durch den Prüfstand dargestellt. Der Abstand zwischen der Auslegerdrehachse und der Siebtrommelachse wird als Auslegerarmlänge bezeichnet. Diese kann durch Verdrehen der Verstellplatte von 0 bis 450 mm stufenlos eingestellt werden.

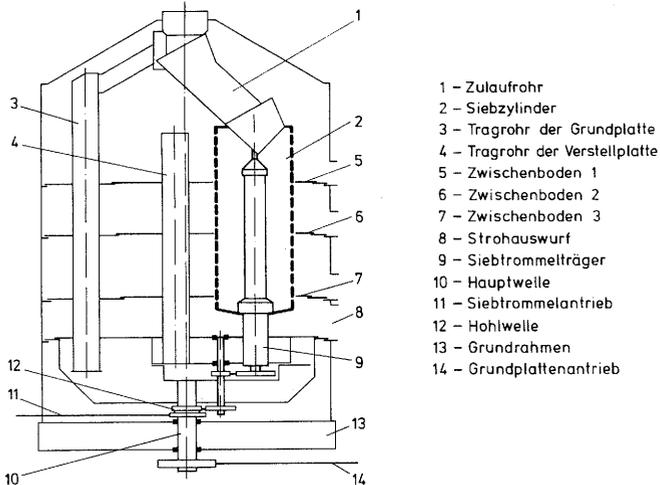


Bild 7 : Senkrechter Schnitt durch den Prüfstand [35].

Der Antrieb der Grundplatte erfolgt durch einen 11 kW Drehstrommotor. Die Drehzahlen können von 0 bis 130 min^{-1} stufenlos eingestellt werden. Die Siebtrommel wird von einem 3 kW Drehstrommotor angetrieben, die Drehzahlen liegen ebenfalls im Bereich von 0 bis 130 min^{-1} mit der Möglichkeit der Drehrichtungsumkehr.

3.1.2. Versuchsanlage

Bild 8 gibt eine Übersicht über die aufgebaute Versuchsanlage einschließlich der Silos, Fördergeräte und Sammelbehälter. Korn und Nichtkornbestandteile werden dem Elevator gleichzeitig zugeführt, der das daraus entstehende Gemisch in 6,5 m

Höhe fördert und damit den Planetentrommelsortierer über Fallrohre beschickt. Die Zuführung des Kornes zum Elevatorfuß erfolgt über eine drehzahlregulierbare Dosierschnecke.

Im Gegensatz zu früher durchgeführten Versuchen, (siehe Kap. 5.1) erfolgt die NKB-Zuteilung über ein Förderband, das mit abgewogenen Stroh-Spreu-Mengen belegt wird.

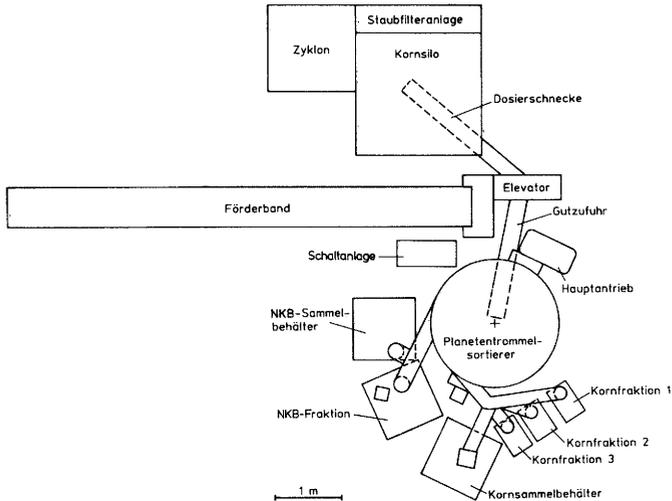


Bild 8 : Versuchsanlage.

Durch Kombinationen aus unterschiedlichen Drehzahleinstellungen der Korndosierschnecke und verschiedenen Belagdichten auf dem Strohförderband wird das Korn-NKB-Mischungsverhältnis und der Durchsatz variiert.

Da die Messungen nur während des stationären Zustands erfolgen sollen, wird das Gut während der An- und Auslaufphase zu den Sammelbehältern geführt und nicht zur Auswertung herangezogen. Pneumatisch betätigte Gutweichen an den Auswurfkanälen übernehmen die Gutumleitung.

Während der Messung wird das separierte Gut in drei Fraktionen

aufgefangen. Die Fraktionen entsprechen den Unterteilungen der Siebtrommellänge. Der nicht abgeschiedene Teil -die NKB-Fraktion- wird zum NKB-Behälter geleitet.

3.1.3. Versuchsdurchführung

Für die Untersuchung der verschiedenen Parameter am Planetentrommelsortierer ist eine Reproduzierbarkeit der Bedingungen notwendig, unter welchen die Versuche durchgeführt werden sollen.

Zur Entlastung bei der Versuchsdurchführung ist eine automatische Versuchsablaufsteuerung installiert. Sie übernimmt das Ein- und Ausschalten des Ausleger- und des Siebtrommelantriebes, des Elevators, der Staubabsaugungsanlage und der Gutzuführung über Dosierschnecke bzw. Förderband. Außerdem werden die Gutweichen betätigt, die die Fraktionen zur Messung umleiten.

An dem Zeitdiagramm der Versuchsablaufsteuerung, Bild 9, lassen sich die Einschaltphasen der einzelnen Elemente über 60 s ablesen. Es zeigt weiterhin die Zeitspanne des stationären Zustands und der Messung.

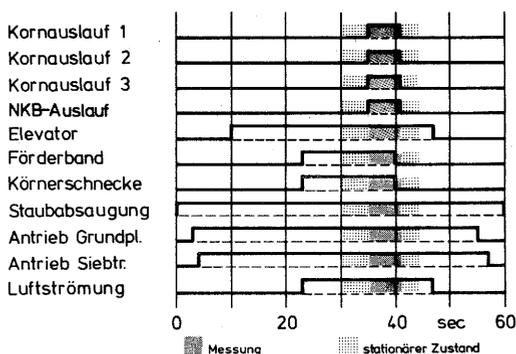


Bild 9 : Zeitdiagramm der Versuchsablaufsteuerung, (geändert nach Grobler [35]).

3.1.4. Versuchsauswertung

In Bild 10 ist der Materialfluß am Prüfstand dargestellt.

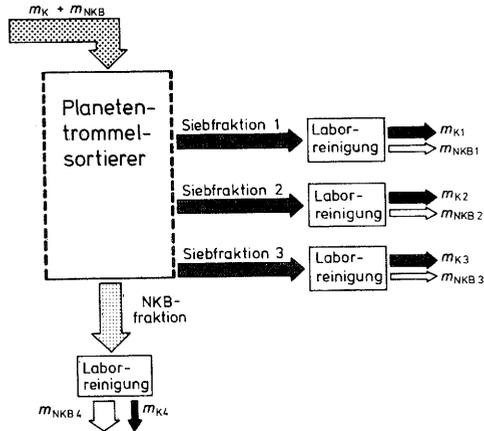


Bild 10 : Materialfluß am Planetentrommelsortierer-Prüfstand (nach [35]).

Das zugeführte Korn-Spreu-Stroh-Gemisch wird im Planetentrommelsortierer separiert. Die während der Messung aufgefangenen Fraktionen werden mit einer Laborreinigungsanlage in Korn- und Nichtkornbestandteile getrennt und ausgewogen. Aus diesen Daten werden die Reinheit der abgeschiedenen Fraktionen, die Verluste in der NKB-Fraktion, sowie das Abscheideverhalten über der Sieblänge ermittelt. Für die Berechnung der verschiedenen Parameter wurden die folgenden Gleichungen verwendet:

Kornverlust :

$$V_K = \frac{m_{K4}}{m_{K1} + m_{K2} + m_{K3} + m_{K4}} \cdot 100 \quad (8)$$

Reinheit der Kornfraktion i :

$$R_{Hi} = \frac{m_{Ki}}{m_{Ki} + m_{NKBi}} \cdot 100 \quad (9)$$

Kornabscheidung der Fraktion i auf 100 mm Sieblänge :

$$K_{Li} = \frac{m_{Ki} \cdot 100 \text{ mm}}{m_K \cdot l_{Si}} \cdot 100 \quad (10)$$

3.2. Versuchsgut

Wegen der notwendigen Reproduzierbarkeit der Versuche am Planetentrommelsortierer kommt der Auswahl des Versuchsgutes eine besondere Bedeutung zu.

Um praxisnahe Versuche zu gewährleisten, wurde ein natürliches biologisches Versuchsgut gewählt, das eine große Ähnlichkeit mit dem Erntegut hat, wie es im Mährescher vorkommt.

Das für die Versuche am Planetentrommelsortierer verwendete Weizenstrohhäcksel-Korn-Gemisch wurde schon bei zahlreichen Untersuchungen an Mährescher-Trennorganen eingesetzt und zeigte eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Laborversuche und eine gute Übertragbarkeit auf Feldversuche [38].

Das für die am Planetentrommelsortierer durchgeführten Untersuchungen verwendete Versuchsgut bestand aus einem Gemisch aus 80 % Korn und 20 % gehäckseltem Stroh der Weizensorte Okapi. Das Stroh wurde 1986 auf dem Feld mit einem Exakthäcksler gehäckselte und das so entstandene Kurzstroh-Spreu-Gemisch eingelagert. Um die Halmlängenverteilung von Stroh und Spreu zu ermitteln, wurden Stichproben genommen und die Halmlängen ausgemessen. Bild 11 gibt die Halmlängen-

verteilung des Versuchsgutes (Stroh-Spreu) wieder.

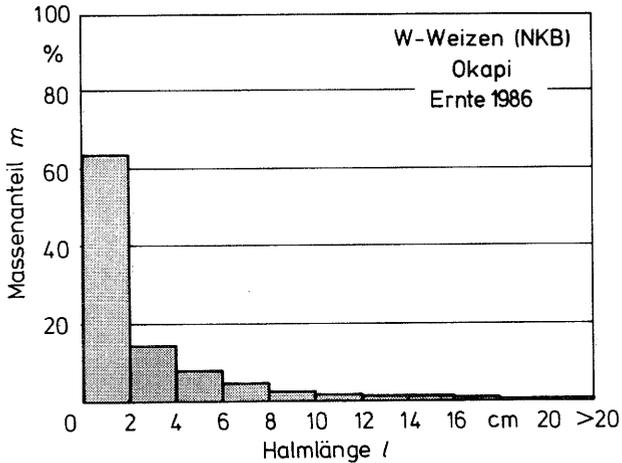


Bild 11 : Halmlängenverteilung des Versuchsgutes.

In Tabelle 1 sind die im Labor bestimmten physikalischen Stoffeigenschaften des verwendeten Versuchsgutes zusammengestellt.

		Korn	NKB
Feuchtegehalt U	%	12,1	9,6
Schüttdichte ρ_s	kg/m ³	696,4	55,58
Böschungswinkel β_K	°	28,9	—
Tausend-Korn-Gewicht TKG	g	50,1	—
Haftreibungsbeiwert Korn/Stroh μ_{KS}	-	0,37 bis 0,61	

Tabelle 1 : Physikalische Stoffeigenschaften des Versuchsgutes.

Die Schwebekennlinien des Kornes und der Nichtkornbestandteile wurden im Labor ermittelt, Bild 12.

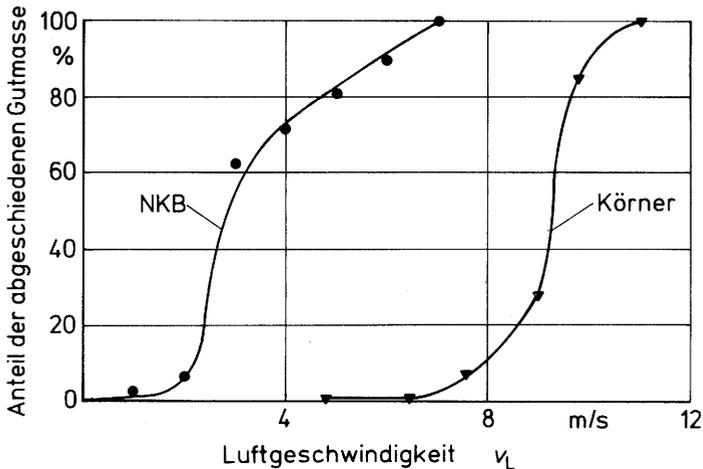


Bild 12 : Schwebekennlinien des Kornes und der NKB des für die Versuche verwendeten Gutes.

Für die Bestimmung der verschiedenen Stoffeigenschaften wurden die folgenden Verfahren verwendet [39,40] :

Feuchtegehalt U : Trocknung der Proben (Korn 100 g; NKB 1000 g) in Trockenschrank über 24 h bei 105°C.

Haftreibungsbeiwert μ_{KS} : er wird aus dem Winkel einer schiefen Ebene berechnet, bei der ein Einzelkorn auf Strohhalmen zu gleiten beginnt.

Schüttdichte ρ_S : eine definierte Gut-Masse wird aus einer definierten Höhe in einen Meßzylinder geschüttet. In ihm wird das Volumen bestimmt. Das Meßgerät

wird auch für die Ermittlung der Böschungswinkel verwendet. Es wurde im Institut für Agrartechnik entwickelt und gebaut.

Böschungswinkel β_K : im Anschluß an die Bestimmung der Schüttdichte wird die Mantelfläche des Meßzylinders nach oben abgezogen. Auf dem frei stehenden Zylinderboden bildet sich ein Schüttkegel aus, dessen Böschungswinkel gemessen wird.

Tausend-Korn-Gewicht TKG : es werden 2 x 100 Körner aus einer wahllos gezogenen Stichprobe gezählt und abgewogen. Das TKG wird dann berechnet.

Schwebekennlinie: eine abgewogene Menge des zu untersuchenden Gutes wird an der Einsaugdüse des Schwebbestandes aufgegeben. Über eine Drosselklappe wird die Luftgeschwindigkeit im Einsaugrohr stufenweise erhöht und der Massenanteil des bereits mit der Strömung mitgerissenen Gutes bestimmt.

4. Leistungsbedarf und Gutbewegung

4.1. Leistungsbedarf des Prüfstandes

Die Kenntnis des am Planetentrommelsortierer für den Betrieb unter verschiedenen Arbeitsbedingungen erforderlichen Leistungsbedarfs ist für eine Charakterisierung dieses Trennverfahrens und seiner Auslegung für den Einsatz in der Praxis sehr wichtig.

Bei dem Aufbau des Prüfstandes wurden für Ausleger- und Siebtrommelantrieb zwei leistungsstarke Drehstrommotoren von 11 kW bzw. 3 kW eingesetzt, um alle Leistungsansprüche auch bei ungünstigen Versuchsbedingungen abzudecken. Da die Beanspruchung der Motoren im Vergleich zur Nennleistung am Prüfstand sehr gering ist, werden die Wirkungsgrade bei der Energiewandlung sehr niedrig, so daß die Messung der aufgenommenen elektrischen Leistung nur nach Abzug der Motorverluste aussagefähig ist.

Der Leistungsbedarf des Planetentrommelsortierers wurde deshalb mit einem elektrischen Leistungsmeßgerät (Wattmeter) gemessen. Die Motorverluste wurden indirekt über die Motordrehzahlen und -kennlinien ermittelt und von der Gesamtleistung abgezogen. Die Messungen wurden während der Versuche an dem Ausleger- und Siebtrommelantrieb bei verschiedenen Drehzahleinstellungen und Arbeitsbedingungen durchgeführt. Bild 13 zeigt den Leistungsbedarf des Auslegerantriebs P_A bei Leerlauf in Abhängigkeit von der Auslegerdrehzahl.

Der Leistungsbedarf des Auslegerantriebes setzt sich aus einem quadratischen und einem linearen Anteil zusammen.

Die quadratische Abhängigkeit des Leistungsbedarfes von der Auslegerdrehzahl läßt sich auf den "Ventilator-Effekt" des Planetentrommelsortierers zurückzuführen. Die Rotation des Auslegers verursacht vor allem durch die am Rande jedes Zwischenbodens eingebauten Paddel, die den Auswurf des abge-

schiedenen Gutes aus dem Planetentrommelsortierer sicherstellen, eine Luftbewegung. Dazu addiert sich ein linear mit der Drehzahl steigender Leistungsbedarf, der sich aus den Lagerreibungen ergibt.

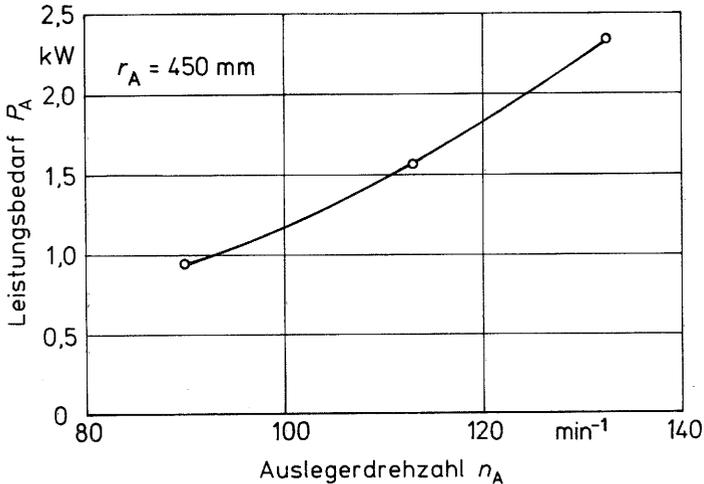


Bild 13 : Leistungsbedarf bei Leerlauf des Auslegerantriebes in Abhängigkeit von der Auslegerdrehzahl; Siebtrommeldrehzahl $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$.

Der Leistungsbedarf des Planetentrommelsortierers im Betrieb ist auch von den Bedingungen an der Siebtrommel abhängig. Das durch die Rotation des Zulaufrohres beschleunigte Gut wird der Siebtrommel zugeführt. Beim Auftreffen auf die Siebwand erfolgt durch unterschiedliche Geschwindigkeiten ein Energietransfer von der Gutmasse zur Trommel in Trommeldrehrichtung. Dieser "Mitnahme-Effekt" der Gutzuführung wird durch das Reibungsverhältnis zwischen Siebwand und Versuchsgut, durch den Durchsatz und die Siebtrommeldrehzahl beeinflusst und kann bis zu einem negativen Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes P_S führen.

Bei den Messungen des Leistungsbedarfes am Siebtrommelantrieb

wurden deshalb drei unterschiedliche Arbeitsbedingungen untersucht: Leerlauf (kein Mitnahme-Effekt), Durchsatz von $\dot{m}_K = 5$ t/h ohne und mit Einbau von keilförmigen Auflockerungselementen (s. Kap. 5.3.1). Bild 14 zeigt den Verlauf des Leistungsbedarfes des Siebtrommelantriebes über der Siebtrommeldrehzahl bei diesen drei unterschiedlichen Bedingungen.

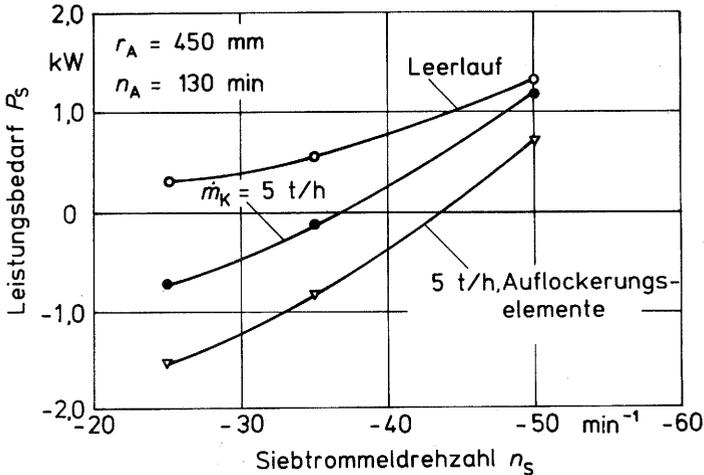


Bild 14 : Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei drei unterschiedlichen Betriebsbedingungen.

Bei Leerlauf des Planetentrommelsortierers zeigt die Kurve den Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes. Mit einem Minimum von ca. 0,3 kW bei $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$ nimmt er mit der negativen Siebtrommeldrehzahl bis auf ca. 1,2 kW zu.

Der Verlauf des Leistungsbedarfes bei Versuchen mit dem Gutdurchsatz von $\dot{m}_K = 5$ t/h zeigt den Einfluß des Guteinlaufs in die Siebtrommel und seinen "Mitnahme-Effekt". Damit wird bei Siebtrommeldrehzahlen bis $n_S = -35 \text{ min}^{-1}$ der Leistungsbedarf des Antriebes durch die Energieabgabe des Gutes gedeckt.

Die keilförmigen Auflockerungselemente wurden auf der Innen-

seite der Siebtrommel zur Verbesserung der Auflockerung eingebaut. Durch den teilweisen Formschluß zwischen Gut und Auflockerungselement wird mehr kinetische Energie vom Gut zur Siebtrommel übertragen. Auch wird der Mitnahme-Effekt und die Leistungsabgabe des Gutes an den Siebtrommelantrieb um so größer, je größer die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Siebwand und Gut ist.

Der Verlauf des Leistungsbedarfs während der Versuche ist in den Bildern 15 und 16 dargestellt. Die Messungen wurden mit einem direkt an dem Siebtrommelantrieb angeschlossenen Leistungsmeßgerät durchgeführt und auf einem y-t-Schreiber aufgezeichnet. Die Motorverluste wurden abgezogen.

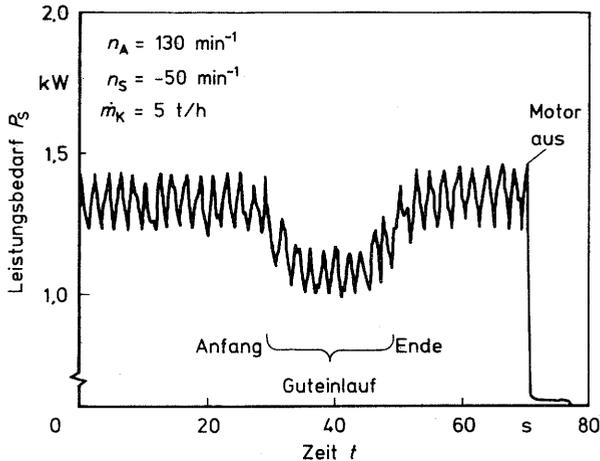


Bild 15 : Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes während der Versuche mit Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ und Siebtrommeldrehzahl $n_S = -50 \text{ min}^{-1}$.

Beim Eintritt des Gutgemisches in die Siebtrommel sinkt der Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes stark ab. Während der Gutzuführung hält sich der Leistungsbedarf auf dem niedrigen Niveau stabil. Bei Ende des Guteintritts steigt er bis zum Leerlaufniveau wieder an. Der Versuch mit der Siebtrommeldreh-

zahl $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$ zeigt eine größere Abnahme des Leistungsbedarfes durch den "Mitnahme-Effekt" als bei $n_S = -50 \text{ min}^{-1}$.

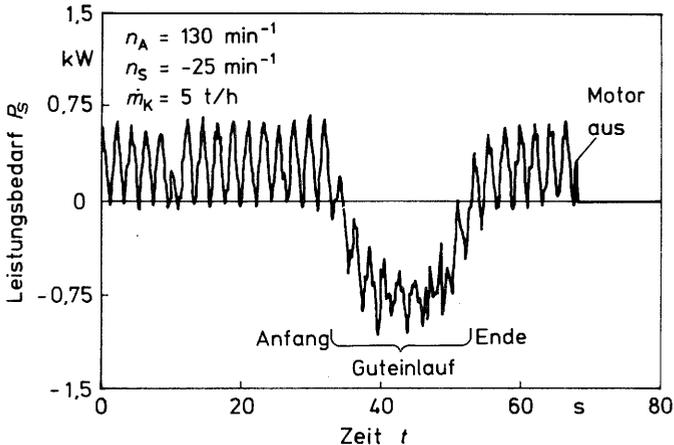


Bild 16 : Leistungsbedarf des Siebtrommelantriebes während der Versuche mit Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ und Siebtrommeldrehzahl $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$.

Mit dem ermittelten Leistungsbedarf beider Antriebe am Planetentrommelsortierer errechnet sich eine Gesamtleistung bei normalen Drehzahleinstellungen und Leerlauf ($n_A = 130 \text{ min}^{-1}$, $n_S = -50 \text{ min}^{-1}$) von ca. 2,7 kW. Demgegenüber stellt sich der Leistungsbedarf einer konventionellen Reinigungsanlage (3,5 m² Siebfläche, Radialgebläse $n_G = 750 \text{ min}^{-1}$) bei Leerlauf mit 1,4 kW als entscheidender Vorteil dar. Es ist aber zu berücksichtigen, daß es sich bei dem Planetentrommelsortierer um einen Prüfstand handelt. So sind durch den Einbau der Zwischenböden und durch die Variabilität der Auslegerlänge vor allem von dem Auslegerantrieb mehr Massen zu beschleunigen und größere Widerstandskräfte (Reibung, Luftströmung) zu überwinden.

4.2. Axialgeschwindigkeit des Gutes

Die Kenntnis der Axialgutbewegung in der Siebtrommel ermög-

licht eine bessere Interpretation der Trennvorgänge am Planetentrommelsortierer. Diese Vertikalbewegung wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, die einen sich räumlich variierenden Prozeß bestimmen.

Das im oberen Teil der Siebtrommel zugeführte Material wird aufgrund der Erdbeschleunigung nach unten bewegt. Die durch die Rotation überlagerten Beschleunigungen führen das Gut zur Siebwand, wo es angepreßt wird. Zwischen Gutschicht und Siebwand treten Reibungskräfte auf, die die Axialbewegung bremsen. Außerdem treten in der Gutniere radiale Bewegungen auf. Die Gutpartikel wandern von der Siebwand zur Innenseite der Gutmatte, wo niedrigere Zentrifugalkräfte wirken. Die Reibungsverhältnisse zwischen den Partikeln ändern sich somit radial und beeinflussen die Axialbewegung. Andererseits ändert sich aufgrund der Abscheidung die Zusammensetzung des Gutes entlang des Siebes und damit auch die Guteigenschaften.

Diese Faktoren wirken auf die Axialgeschwindigkeit der einzelnen Partikel. Die Axialgeschwindigkeit des gesamten Gutes kann als Summe einer Vielzahl von Beschleunigungsvorgängen betrachtet und dadurch bisher nur experimentell ermittelt werden.

Für die Bestimmung der Axialgeschwindigkeit wurde der Winkel der Gutbewegungsrichtung an der Siebtrommelwand zur Vertikalachse gemessen. Mit dem Durchmesser der Siebtrommel, der Siebtrommeldrehzahl und dem gemessenen Winkel kann die Axialgeschwindigkeit berechnet werden.

Bild 17 zeigt schematisch einen einzelnen Flügel für die Winkelmessung sowie die graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen den Komponenten der Gutgeschwindigkeit und dem Winkel. Die Flügel werden an der Siebinnenwand befestigt und sind durch eine leichte Kraft drehbar. Durch eine mit veränderlicher Vorspannung eingebaute Feder ist die Verstellkraft regulierbar.

Über die Länge des Siebes wurden in gleichmäßigem Abstand 12 Flügel eingebaut, um das Profil der Axialgeschwindigkeit auf der gesamten Sieblänge messen zu können. Bild 18 zeigt die Anordnung der Flügel auf der Innenseite der Siebtrommel.

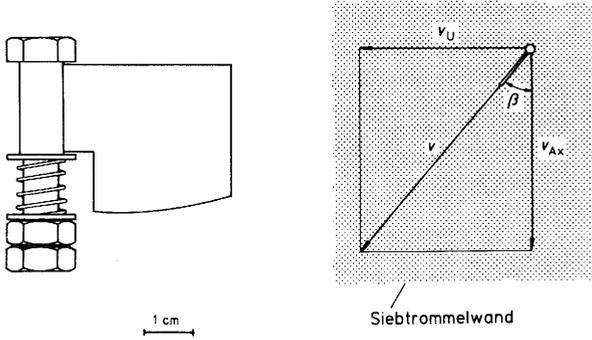


Bild 17 : Flügel für Axialgeschwindigkeitsmessung und Komponenten der Gutgeschwindigkeit und Winkel β .

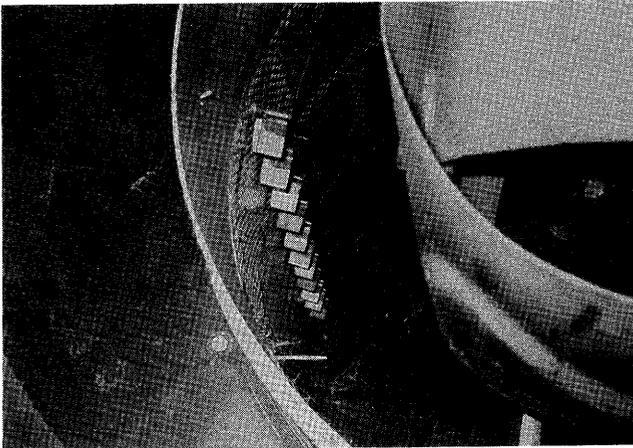


Bild 18 : Anordnung der Flügel auf der Innenseite der Siebtrommel.

Die mittlere Axialgeschwindigkeit des Gutes wurde aus der Umfangsgeschwindigkeit der Siebtrommel v_u und dem Tangens des mittleren Winkels β der Gutbewegungsrichtung errechnet, (s. Gleichung 11).

$$v_{Ax} = \frac{v_u}{\tan \beta} \quad (11)$$

Die Größe der Axialgeschwindigkeit des Gutes ist abhängig von Auslegerlänge, Auslegerdrehzahl, Siebtrommeldrehzahl, Durchsatz, Gutart, Guteigenschaften und Reibung Gut/Sieb (Gleitreibung).

Bei den durchgeführten Messungen wurden die Parameter Ausleger- und Siebtrommeldrehzahl variiert. Bild 19 zeigt den Verlauf der mittleren Axialgeschwindigkeit bei drei verschiedenen Auslegerdrehzahlen und drei verschiedenen Siebtrommeldrehzahlen, mit einer Auslegerlänge von 450 mm und bei einem Korndurchsatz von $\dot{m}_K = 5 \text{ t/h}$.

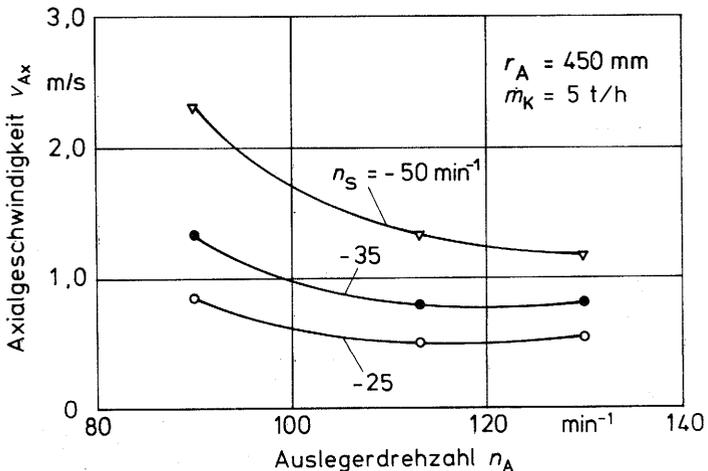


Bild 19 : Axialgeschwindigkeit des Gutes in Abhängigkeit von der Auslegerdrehzahl für drei verschiedene Siebtrommeldrehzahlen.

Eine zunehmende Siebtrommeldrehzahl bei konstanter Auslegerdrehzahl bewirkt eine Steigerung der Axialgeschwindigkeit. Da die entgegengesetzte Drehrichtung der Siebtrommel zur Auslegerrotation eine abnehmende Stützkraft \bar{F}_S verursacht, nimmt die Gleitreibung zwischen Gut und Siebtrommelwand ab. Die hierdurch reduzierte Reibungskraft \bar{F}_R bewirkt zusammen mit der konstanten Gewichtskraft in Axialrichtung eine höhere Axialgeschwindigkeit.

In Tabelle 2 sind die verschiedenen Geschwindigkeitswerte, die Verweildauer des Gutes in der Siebtrommel und die zwischen Partikel/Sieb gemessenen Schlupfwerte für die untersuchten Ausleger- und Siebtrommeldrehzahleinstellungen eingetragen. Bei den Versuchen wurde ein Korndurchsatz von $\dot{m}_K = 5 \text{ t/h}$ und ein Korn-NKB-Verhältnis von 80:20 verwendet.

n_A 1/min	n_S 1/min	Winkel β Grad	v_u m/s	σ %	v_{up} m/s	v_{Ax} m/s	Zeit t s	V_K %
90	-25	42.58	0.784	70	0.24	0.85	1.17	40.21
113	-25	57.25	0.784	65	0.27	0.50	1.98	26.99
130	-25	55.16	0.784	60	0.31	0.55	1.83	17.67
90	-35	39.08	1.098	84	0.18	1.35	0.74	33.83
113	-35	54.33	1.098	74	0.29	0.79	1.27	20.54
130	-35	53.10	1.098	70	0.33	0.82	1.21	11.32
90	-50	33.66	1.570	96	0.06	2.36	0.42	45.29
113	-50	50.16	1.570	83	0.27	1.31	0.76	17.43
130	-50	53.40	1.570	80	0.31	1.17	0.86	11.01

Tabelle 2 : Tangential-, Axial- und Gesamtgeschwindigkeit des Gutes bei verschiedenen Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen.

In der Tabelle 2 sind außerdem die gemessenen Winkel β , der Schlupf σ und der prozentuale Kornverlust V_K bei den angegebenen Drehzahleinstellungen eingetragen. Die Umfangsgeschwindigkeit der Partikel v_{up} an der Siebwand ergibt sich aus der Umfangsgeschwindigkeit der Siebtrommel v_u und dem gemessenen

Schlupf der Partikel zur Siebwand.

Die Verweildauer des Gutes ist direkt abhängig von der gemessenen Axialgeschwindigkeit und der Länge der Siebtrommel.

Die Partikelbewegungen wurden mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen quantitativ ermittelt [35,41]. Da die Bahn der Partikelbewegungen durch die Form der Siebtrommelwand vorgegeben ist, wird im Weiteren die Partikelgeschwindigkeit relativ zur Geschwindigkeit der Siebtrommelwand als Schlupf angegeben. Bei 0 % Schlupf bewegt sich ein Partikel mit der Umfangsgeschwindigkeit der Siebtrommel.

Die gemessenen Schlupfwerte werden von der Ausleger- und Siebtrommeldrehzahl stark beeinflusst. Bei zunehmender Zentrifugalbeschleunigung werden die Schlupfwerte kleiner und schließlich zu Null, so daß die Gleitreibung zwischen Gutpartikel und Siebwand in Haftreibung übergeht.

Über dem Siebumfangsbereich, in dem die Partikel an der Siebwand anliegen, wurden unterschiedliche Schlupfverhältnisse festgestellt. Die niedrigsten Werte ergeben sich in dem Umfangsbereich, in dem maximale Fliehkräfte auftreten, das heißt, bei ca. 90° (s. Seite 16). Ab diesem Punkt nehmen die Fliehkräfte senkrecht zur Siebtrommelwand ab und die Reibkräfte zwischen Partikel und Sieb reduzieren sich. Im Gutablösungsbereich werden die Fliehkräfte noch kleiner und die relative Geschwindigkeit zwischen Sieb und Partikel größer. Im Siebumfangsbereich der Gutanlage werden Schlupfdifferenzen bis zu 15 % festgestellt.

Die relative Bewegung zwischen Partikel und Sieb hat eine große Bedeutung für die Abscheideleistung dieses Trennverfahrens. Bei geringem Schlupf wird die Zahl der Korn-Siebloch-Überdeckungen zu klein, deshalb sinkt die Wahrscheinlichkeit des Sieblochdurchganges. Sehr hohe Schlupfwerte über dem experimentell ermittelten Optimum von $\sigma = 80\%$ führen zu einer Reduzierung der Abscheideleistung. Durch eine hohe Relativ-

Geschwindigkeit zwischen Siebloch und Korn steigt die Anzahl der Korn-Siebloch-Überdeckungen, aber die Zeit für jede einzelne Überdeckung ist für den Korndurchgang zu gering.

Bild 20 zeigt die berechnete Verweildauer des Gutes in der Siebtrommel bei verschiedenen Kombinationen von Siebtrommel- und Auslegerdrehzahl.

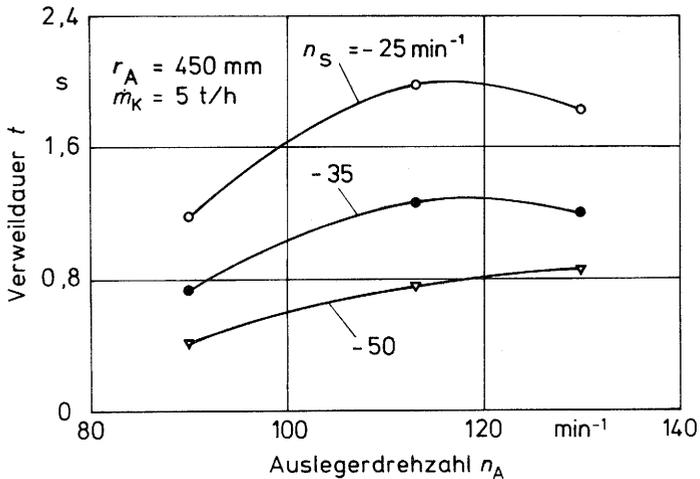


Bild 20 : Verweildauer des Gutes in der Siebtrommel in Abhängigkeit von der Auslegerdrehzahl für verschiedene Siebtrommeldrehzahlen.

Die Verweildauer des Gutes ändert sich bei Auslegerdrehzahlen ab $n_A = 113 \text{ min}^{-1}$ nur geringfügig. Bei kleiner werdenden Siebtrommeldrehzahlen nehmen die Fliehkräfte auf die Gutpartikel und damit die Reibungskräfte zu. Die Axialgeschwindigkeit wird langsamer und die Verweildauer in der Siebtrommel größer.

Die Verweildauer des Gutes und die Umfangsgeschwindigkeit der Partikel besitzen einen erheblichen Einfluß auf die Abscheideleistung des Planetentrommelsortieres. Je kürzer die Zeit und je kleiner die Umfangsgeschwindigkeit ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Körner, die sich im Innern der

Gutniere befinden, in Kontakt mit der Siebwand kommen können.

Eine längere Verweildauer in der Siebtrommel führt bei gleichen Drehzahlen zu einer dickeren Gutschicht an der Siebwand. Höhere Umfangsgeschwindigkeiten der Partikel bedeuten eine geringere Relativ-Geschwindigkeit zwischen Partikel und Siebwand und damit eine sinkende Abscheideleistung. Das Optimum kann nur durch die Untersuchung des Einflusses der beteiligten Faktoren ermittelt werden.

5. Untersuchungen des Einflusses mechanischer und pneumatischer Parameter auf die Korn-Spreu-Trennung

5.1. Einfluß der Gutzuführung

Wie in Kapitel 3 beschrieben, erfolgt die Zuführung des Korn-Spreu-Gemisches über Elevator und Zulaufrohr. Wie die Versuche gezeigt haben, ist die Anordnung des Zulaufrohres ein sehr wichtiger Faktor, der die Funktion des Planetentrommelsortierers beeinflusst.

Bei früher durchgeführten Versuchen mit zentraler Anordnung des Zulaufrohres (Bild 21) wurde eine niedrige Abscheideeffizienz im oberen Siebbereich der Fraktion 1 festgestellt. Das Material wurde beim Austritt aus dem Zulaufrohr aufgrund der auf das Partikel wirkenden Corioliskräfte stark nach "hinten" zurückgedrängt. Dieser Effekt war für den Beginn der Gutabscheidung ab etwa 80° des Siebumfangswinkels verantwortlich.

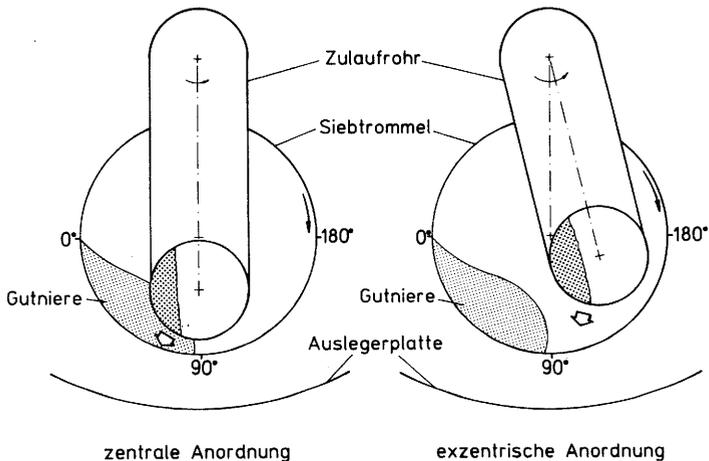


Bild 21 : Zentrale und exzentrische Anordnung des Zulaufrohres in der Siebtrommel.

Durch eine in Drehrichtung versetzte exzentrische Anordnung des Zulaufrohres wurde eine im oberen Bereich der Fraktion 1 größere aktive Siebfläche erreicht. Bei allen untersuchten Siebtrommeldrehzahlen wurde eine bessere Abscheideeffizienz mit exzentrischer Anordnung des Zulaufrohres erzielt.

Bild 22 zeigt den Vergleich der längenbezogenen Kornabscheidung K_L in der Kornfraktion 1 bei zentraler und exzentrischer Anordnung des Zulaufrohres.

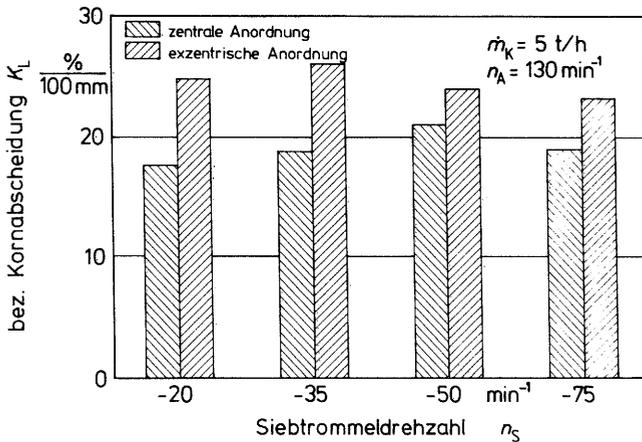


Bild 22 : Kornabscheidung in der Kornfraktion 1 in Abhängigkeit von Siebtrommeldrehzahl bei zentraler und exzentrischer Anordnung des Zulaufrohres.

Bei den Versuchen mit zentraler Anordnung des Zulaufrohres wurde die maximale Kornabscheidung mit einer Siebtrommeldrehzahl von $n_S = -50 \text{ min}^{-1}$ erzielt. Demgegenüber wurde bei exzentrischer Anordnung die beste Abscheideeffizienz mit niedrigeren Siebtrommeldrehzahlen erreicht. Wie sich bei Untersuchungen von Grobler [35] gezeigt hat, vergrößert sich der Bereich des Siebumfangswinkels, in dem die Kornabscheidung stattfindet, mit abnehmender Siebtrommeldrehzahl. Der Abscheidebereich erstreckt sich bei der Siebtrommeldrehzahl $n_S = -75 \text{ min}^{-1}$ von

90° bis 0°, bei $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$ dagegen von ca. 110° bis 0°. Durch die exzentrische Anordnung des Zulaufrohres kann vor allem bei kleineren Siebtrommeldrehzahlen der Kornabscheidebereich durch die bzgl. des Siebumfangswinkels frühere Gutzuführung vollständig ausgenutzt werden.

Die Verbesserung der Abscheideeffizienz bestätigte sich beim Vergleich der Kornverlustkurven, Bild 23.

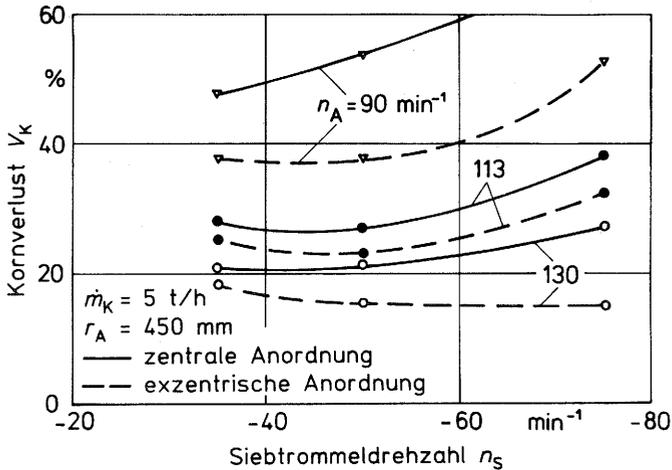


Bild 23 : Kornverlust über Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit zentraler und exzentrischer Anordnung des Zulaufrohres.

Die Differenz zwischen beiden Anordnungen des Zulaufrohres zeigt, wie wichtig der erste Teil des Siebes und die Guteinlaufzone für die Optimierung der Abscheideeffizienz sind.

Bild 24 zeigt eine Ansicht der Siebtrommel während der Gutbeschickung bei exzentrischer Anordnung. Das vom Zulaufrohr auslaufende Gut kommt gleich in Kontakt mit der Siebfläche. Die Kornabscheidung beginnt bereits im Bereich von 120° des Siebumfanges.

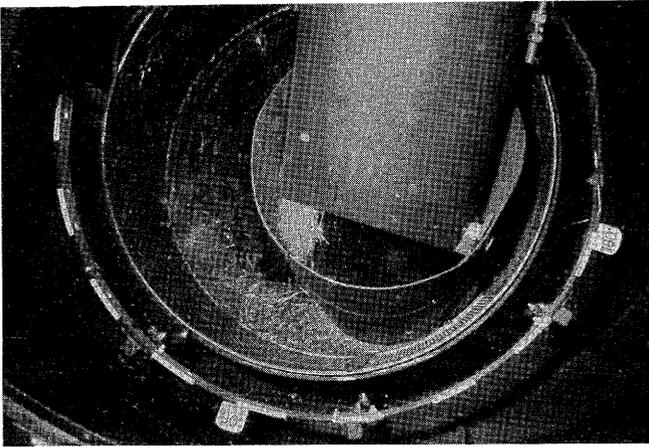


Bild 24 : Guteinlauf in die Siebtrommel bei Versuchen mit exzentrischer Anordnung des Zulaufrohres.

5.2. Einfluß der Siebtrommelgeometrie

5.2.1. Durchmesser (d_S)

Während bei allen übrigen Versuchen nur die Siebtrommel mit $d_S = 600$ mm verwendet wurde, wurde der Einfluß des Siebtrommeldurchmessers auf die Trennleistung des Planetentrommelsortierers hier in drei Versuchsreihen ermittelt. Bei unterschiedlichen Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen wurden drei verschiedene Siebtrommeln mit 300, 400 und 600 mm Durchmesser untersucht, Bild 25.

Die drei Siebtrommeln haben dieselbe Länge von 1 m, Fraktions- teilung und Sieblochung. Für alle Versuche wurde ein konstanter Durchsatz von $\dot{m}_K = 3$ t/h gewählt.

Trotz dieses relativ geringen Durchsatzes wurde die Axialgut- bewegung bei der kleineren Siebtrommel (300 mm) behindert, so

daß diese nicht weiter untersucht wurde.

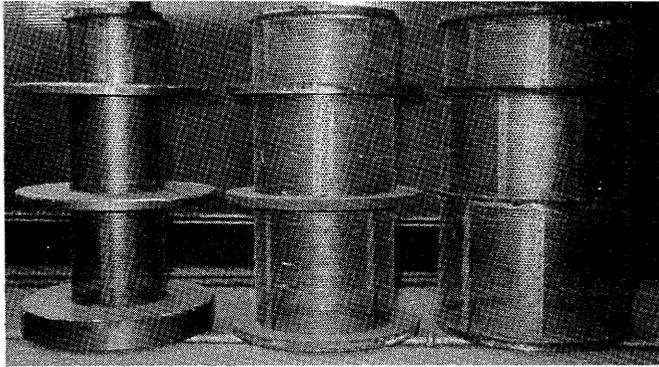


Bild 25 : Untersuchte Siebtrommeln (Durchmesser 300, 400 und 600 mm).

Bild 26 und 27 zeigen den Verlauf des Kornverlustes über der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit 400 und 600 mm Siebtrommeldurchmesser.

Die Kornverluste bei den Versuchen mit der großen Trommel (600 mm) sind im Vergleich zu der kleinen Trommel (400 mm) deutlich geringer. Bei allen untersuchten Einstellungen konnten die Verluste mit der großen Siebtrommel um ca. 50 % reduziert werden.

Grund hierfür ist, daß die Steigerung des Siebtrommeldurchmessers eine größere Siebfläche und eine höhere Umfangsgeschwindigkeit bedingt. Dadurch bildet sich eine breitere und dünnere Gutniere aus, wodurch die Bedingungen für die Kornabscheidung besser sind.

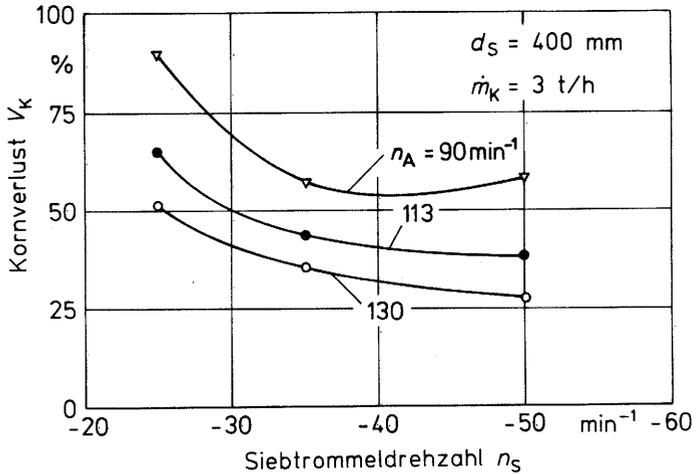


Bild 26 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl für verschiedene Auslegerdrehzahlen, Siebtrommeldurchmesser 400 mm.

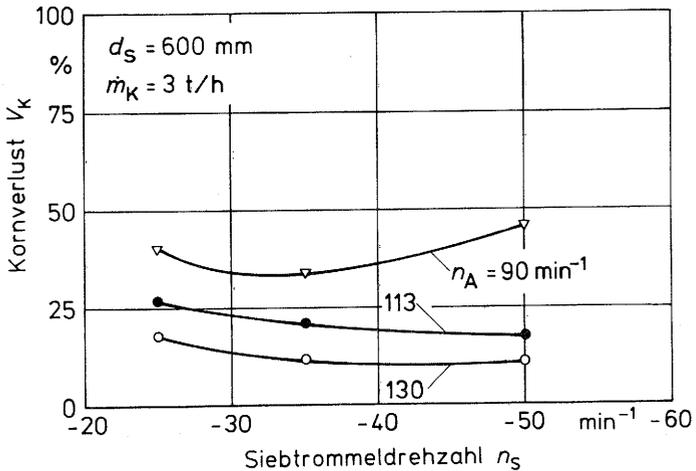


Bild 27 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl für verschiedene Auslegerdrehzahlen, Siebtrommeldurchmesser 600 mm.

5.2.2. Auslegerlänge (r_A)

Die Ergebnisse von Versuchen mit verschiedenen Auslegerlängen zeigen einen sehr starken Einfluß auf die Trennleistung des Planetentrommelsortierers. Die Wirkung höherer Beschleunigungsfelder durch zunehmende Auslegerlängen verursacht eine höhere Kornabscheidung. Bild 28 zeigt den Verlauf des Kornverlustes bei drei untersuchten Auslegerlängen über der Siebtrommeldrehzahl.

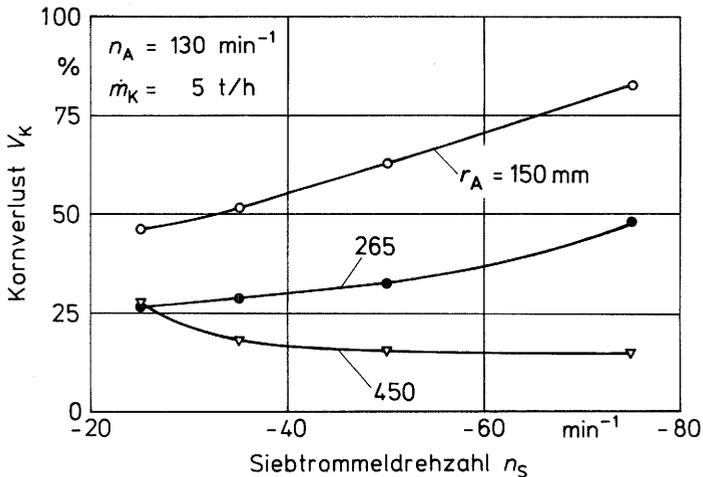


Bild 28 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei unterschiedlichen Auslegerlängen.

Bei der kleinen Auslegerlänge $r_A = 150 \text{ mm}$ steigen die Kornverluste mit zunehmenden Siebtrommeldrehzahlen von etwa 50 % auf über 80 % an. Bei der Auslegerlänge $r_A = 265 \text{ mm}$ sind die Kornverluste demgegenüber deutlich geringer. Trotz der großen Verlustdifferenz zeigt der Verlauf dieser beiden Verlustkurven eine ähnliche, mit zunehmenden negativen Siebtrommeldrehzahlen steigende Tendenz.

Da bei der Auslegerlänge $r_A = 450 \text{ mm}$ höhere Fliehkräfte auf

das Gut wirken, werden die niedrigsten Kornverluste erreicht. Der Verlauf des Kornverlustes zeigt sich fast unabhängig von Drehzahländerungen der Siebtrommel. Nur bei Siebtrommeldrehzahlen unter $n_S = -35 \text{ min}^{-1}$ steigen die Verluste etwas an. In diesem Bereich wird teilweise die Grenze der axialen Gutförderung erreicht. Durch die hohen Beschleunigungskräfte in Verbindung mit der geringen Siebtrommeldrehzahl kommt es zu einem für die Trennleistung ungünstigen zeitweisen Anhaften des Gutes an der Siebwand.

Die Verringerung des Kornverlustes durch Vergrößerung der Auslegerlänge wurde aus den Versuchsergebnissen sehr deutlich.

Da einerseits nur größere Auslegerlängen und nur große Siebdurchmesser bessere Kornabscheidungen ermöglichen, läßt sich eine Verringerung des Bauvolumens nicht erreichen.

5.3. Einfluß einer Gutauflockerung

Durch die Überlagerung der Ausleger- und Siebtrommelrotation bildet sich, wie in Kap.2 beschrieben wurde, eine sich umwälzende Gutniere aus, deren Entstehung die Voraussetzung für die Korn-NKB-Trennung ist. Ohne zusätzliche Elemente reicht aber diese Gutbewegung nicht aus, um eine optimale Arbeitsweise des Planetentrommelsortierers zu erreichen [32,34,35]. Die Gutniere bildet sich in einem begrenzten Bereich von Siebtrommel- und Auslegerdrehzahlen aus, welche die spezifischen Charakteristika für die Gutanlagerung darstellen.

Die Untersuchung des Einflusses einer Änderung dieser Verhältnisse durch zusätzliche mechanische Elemente in der Siebtrommel wird in diesem Kapitel beschrieben. Es wurden keil- und schneckenförmige Auflockerungselemente untersucht. Bild 29 zeigt eine schematische Darstellung beider Auflockerungselemente und ihre Platzierung in der Siebtrommel.

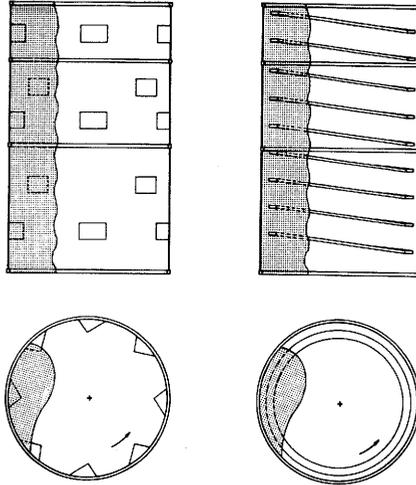


Bild 29 : Keil- und schneckenförmige Auflockerungselemente.

In ihrer Wirkung auf die Gutschicht unterscheiden sich die beiden Auflockerungselemente grundsätzlich. Durch die keilförmigen Elemente wird eine lokale Ablösung des Gutes von der Siebwand und hierdurch eine Störung der verdichteten Gutniete erreicht. Die schneckenförmigen Elemente bewirken einerseits eine kontinuierliche Störung des Aufbaues der Gutniete und andererseits einen zusätzlichen Transport des Gutes in Axialrichtung.

5.3.1. Keilförmige Auflockerungselemente

Die keilförmigen Auflockerungselemente wurden aus Stahlblech angefertigt und konnten an beliebigen Stellen der gesamten Siebfläche angeschraubt werden. Bild 30 zeigt die Abmessungen eines Elementes.

Die drei durchgeführten Versuchsreihen unterscheiden sich durch die Anzahl und Anordnung der Elemente in der Siebtrommel. Bild 31 zeigt das Schema der abgewickelten Siebtrommel

mit den angebrachten Auflockerungselementen für jede der untersuchten Kombinationen.

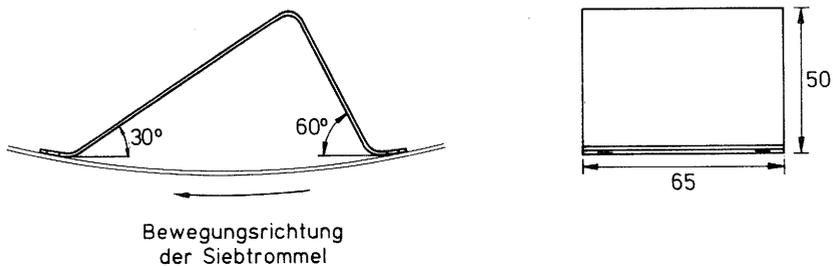
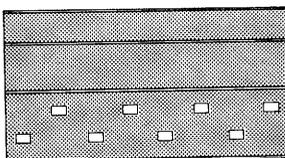
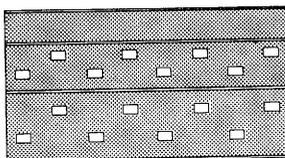


Bild 30 : Keilförmige Auflockerungselemente.

Kombination 1



Kombination 2



Kombination 3

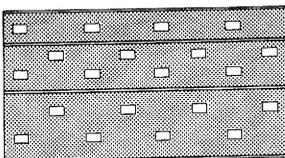


Bild 31 : Untersuchte Anordnungen der Auflockerungselemente in der Siebtrommel, (Abwicklung der Siebtrommel).

Als Kombination 0 wird die Versuchsreihe ohne Auflockerungselemente bezeichnet. Die progressive Anbringung der Elemente bei den verschiedenen Kombinationen von unten nach oben wurde aufgrund der durch die Kornabscheidung bedingten Veränderung der Gutmattenzusammensetzung gewählt. Beim Eingang des Gutes in die Siebtrommel beträgt das Korn-NKB-Verhältnis 80:20, beim Ausgang wegen der Kornabscheidung ca. 50:50. Das bedeutet, daß die relative Zunahme des Anteils der Nichtkornbestandteile in der zu trennenden Gutmatte die Kornabscheidung erschwert. Das Material wird verfilzt und die Korndurchdringung wird erschwert. Je größer der NKB-Anteil im Material, desto weniger wird das Gut umgeschichtet und aufgelockert. Deshalb wurde die Untersuchung der Auflockerung im kritischen unteren Bereich des Siebes als am sinnvollsten angesehen.

Bei diesen Versuchen wurde nur die Siebtrommeldrehzahl variiert. Auslegerdrehzahl, Auslegerlänge und Durchsatz wurden konstant im bereits ermittelten Optimum gehalten.

In Bild 32 (s. Seite 54) ist der Verlauf des Kornverlustes über der Siebtrommeldrehzahl für die drei Kombinationen von Auflockerungselementen im Vergleich zu Versuchen ohne mechanische Elemente dargestellt.

Nur bei niedrigen negativen Siebtrommeldrehzahlen zeigt sich eine positive Wirkung der Auflockerungselemente. Wie bereits beschrieben, treten in diesem Drehzahlbereich die höchsten Fliehkräfte auf, wodurch die Gutverdichtung verstärkt wird. Eine Auflockerung und Störung der Gutanlage führt daher am ehesten zu besseren Trennleistungen.

Bei höheren negativen Siebtrommeldrehzahlen und dadurch geringeren Fliehkräften verursachen die Auflockerungselemente eine zu kräftige Abhebung des Gutes von der Siebtrommelwand. Die Körner werden am Siebdurchgang behindert und der Kornverlust nimmt zu. Die Trennleistung des Planetentrommelsortierers ist in diesem Drehzahlbereich ohne zusätzliche Elemente besser.

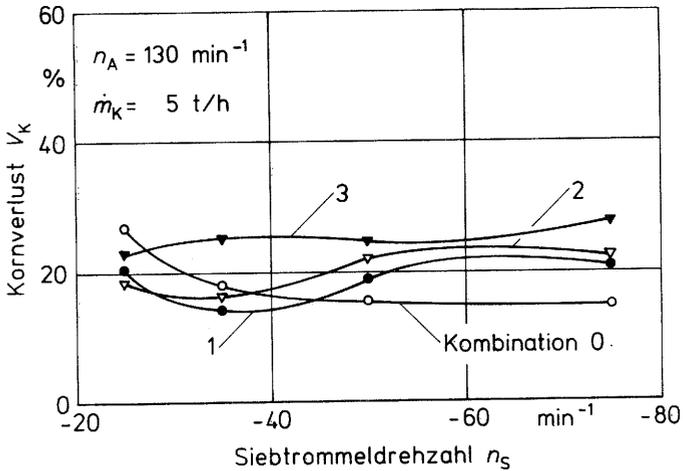


Bild 32 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$.

In Bild 33 und 34 ist die Reinheit der einzelnen Kornfraktionen für unterschiedliche Kombinationen der keilförmigen Auflockerungselemente aufgezeichnet.

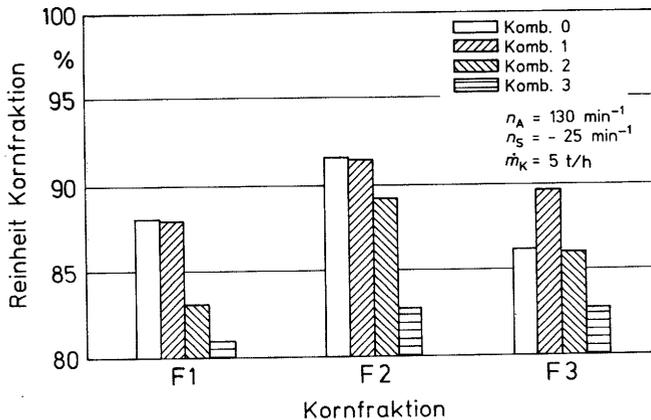


Bild 33 : Reinheit der einzelnen Kornfraktionen bei unterschiedlichen Anordnungen der Auflockerungselemente.

Bei der niedrigen negativen Siebtrommeldrehzahl (Bild 33) sind die Differenzen zwischen den untersuchten Auflockerungskombinationen größer. Bei der Kombination 3 ist die Verminderung der Reinheit am größten. Die starke Auflockerung des Gutes und die bei dieser Drehzahleinstellung großen Fliehkräfte bedingen eine sehr hohe Kurzstrohabscheidung und eine stärkere Verunreinigung des separierten Kornes. Die kräftige Störung der Gutniere verursacht sogar Reinheitsverschlechterung oberhalb des mit Elementen bestückten Siebbereiches, so beeinflusst z.B. die Kombination 2 auch die Reinheit in der Fraktion 1.

Die Versuche mit der Kombination 1 zeigen dagegen eine Verbesserung der Reinheit im unteren Bereich des Siebes. Die Auflockerung des durch die hohen Fliehkräfte gepressten Materials unterstützt die Kornabscheidung in der Fraktion 3, ohne aber die NKB-Abscheidung zu erhöhen. Es treten keine nennenswerten Rückwirkungen auf die Fraktionen 1 und 2 auf, die Reinheit bleibt in diesen Fraktionen nahezu konstant.

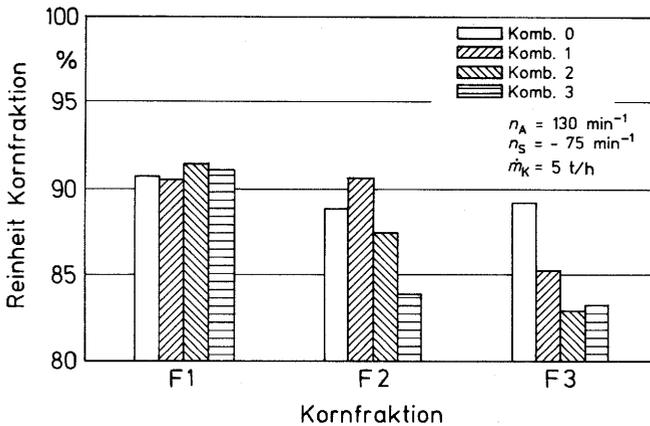


Bild 34 : Reinheit der einzelnen Kornfraktionen bei unterschiedlichen Kombinationen der Auflockerungselemente.

Bei der hohen negativen Siebtrommeldrehzahl $n_S = -75 \text{ min}^{-1}$ (Bild 34) bewirkt die mechanische Auflockerung eine Reinheitsverminderung des abgeschiedenen Kornes, hauptsächlich in den Fraktionen 1 und 2.

Die untersuchten keilförmigen Auflockerungselemente zeigen keine durchgreifende Verbesserung der Abscheideleistung des Planetentrommelsortier-Verfahrens. Die Reduzierung des Kornverlustes im Arbeitsbereich mit hohen Fliehkräften ($n_S = -25 \text{ min}^{-1}$) wird von einer deutlichen Verringerung der Reinheit des abgeschiedenen Kornes begleitet.

5.3.2. Schneckenförmige Auflockerungselemente

Der Einsatz schneckenförmiger Auflockerungselemente (siehe Bild 35) im Planetentrommelsortierer hat zwei Ziele: Die Auflockerung der Gutmatte in einem bestimmten Abstand vom Sieb und eine kontrollierte Axialführung des Gutes. Mit diesen Effekten soll eine Umschichtung des durch die hohe Beschleunigung verdichteten Gutes und gleichzeitig eine kontrollierte Vertikalbewegung des aufgelockerten Materials erreicht werden, um einen zu schnellen Durchgang des Gutes durch die Siebtrommel zu verhindern.

Es wurden verschiedene Modelle schneckenförmiger Auflockerungselemente mit unterschiedlichen Abständen zwischen Sieb und Auflockerungsbereich, Steigungen, Länge und Führungsrichtung (nach oben oder nach unten) untersucht.

Die Untersuchung des Einflusses der schneckenförmigen Auflockerungselemente auf die Abscheideleistung wurde in zwei Versuchsgruppen geteilt, die sich durch die Führungsrichtung des Gutes unterscheiden: Förderung nach oben und Förderung nach unten. In Tabelle 3 sind die untersuchten Auflockerungselemente mit ihren Bezeichnungen und Abmessungen angegeben.

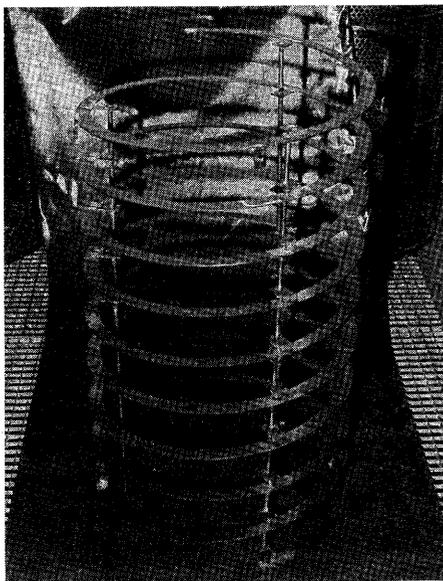


Bild 35 : Schneckenförmiges Auflockerungselement, (Flachstahl 3*30, Höhe 1 m, Steigung 100 mm, Abstand zur Siebwand 20 mm).

Förderung nach oben

s \ d	30 mm	20 mm
100 mm	SA I	SA IV
175 mm	SA II	SA V
200 mm	SA III	SA VI

Förderung nach unten

s \ l	1 m	0,5 m
100 mm	SA VII	SA IX
200 mm	SA VIII	SA X

Tabelle 3 : Bezeichnungen und Abmessungen der untersuchten schneckenförmigen Auflockerungselemente. (s: Steigung, d: Abstand zur Siebwand, l: Höhe ab Unterkante).

Untersuchung der Auflockerung mit Gutförderung nach oben.

Mit der Absicht, eine Umschichtung der Gutmatte im inneren Bereich der Gutniere und eine Zurückförderung des aufgelockerten Gutes in den oberen Bereich des Siebes zu bewirken, Bild 36, wurden die Auflockerungselemente SA I bis SA VI (Tabelle 3) in 6 Versuchsreihen am Planetentrommelsortierer untersucht.

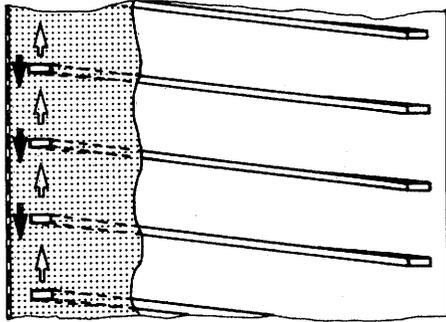


Bild 36 : Schematische Darstellung der Gutbewegung in der Siebtrommel bei Einsatz schneckenförmiger Auflockerungselemente mit Förderung nach oben.

Die starke Förderung nach oben beeinflusst die vertikale Gutbewegung stark. Das zugeführte Gutgemisch wird schon im oberen Bereich der Siebtrommel von den schneckenförmigen Elementen mitgenommen und wieder nach oben gefördert. Bei größerer Steigung der Auflockerungselemente findet ein Siebüberlauf des Gutes und eine Verstopfung im oberen Bereich der Siebtrommel statt.

Nur mit der Auflockerungsschnecke mit der geringsten Steigung und größtem Abstand zur Siebwand (SA I) werden stationäre Gutbewegungsverhältnisse erreicht. Bild 37 zeigt den Verlauf des Kornverlustes über der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit dieser Auflockerungsschnecke im Vergleich zu Versuchen ohne mechanische Einrichtung.

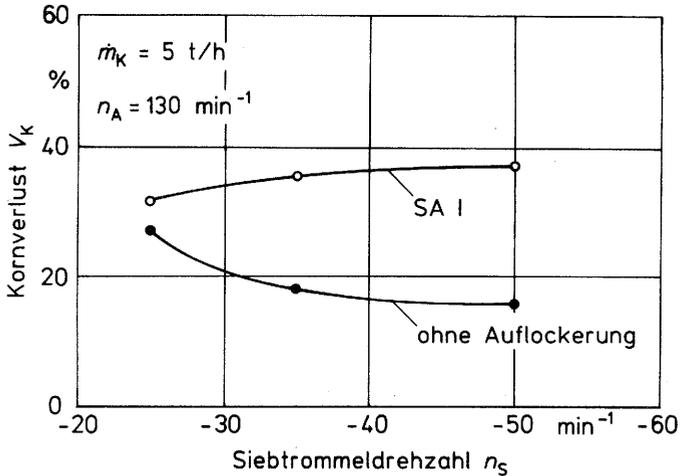


Bild 37 : Kornverlust in Abhängigkeit von Siebtrommeldrehzahl bei Auflockerungsschnecke SA I im Vergleich zu Versuchen ohne Einbauten.

Der Kornverlust der Versuche mit Auflockerungselementen ist im Vergleich zu Versuchen ohne mechanische Einrichtung deutlich höher. Die Differenz zwischen beiden Verlustkurven wird mit zunehmender negativer Siebtrommeldrehzahl größer.

Der Führungseffekt der schneckenförmigen Elemente auf das Gut ist zu stark. Die Zurückförderung des aufgelockerten Gutes in den oberen Teil der Siebtrommel ist schwer kontrollierbar. Die Gutniere wird so verdichtet, daß sie sich vor der Auflockerungsschnecke staut und eine kontinuierliche Vertikalbewegung verhindert.

Untersuchung der Auflockerung mit Gutförderung nach unten.

Durch die abwärtsgerichtete Steigung der 30 mm von der Siebwand angebrachten Auflockerungsschnecke sollte eine verzögerte kontrollierte Axialförderung und Auflockerung der Gutniere er-

reicht werden. Dafür wurden die Auflockerungsschnecken SA VII bis SA X mit 1 m bzw. 0,5 m Höhe untersucht (s. Tabelle 3).

Die untersuchten Auflockerungsschnecken bewirkten in Abhängigkeit von Steigung und Siebtrommeldrehzahl eine Verringerung der Axialgutbewegung in der Siebtrommel. Bei der Auflockerungsschnecke mit geringster Steigung (SA VII) kommt es bereits zu Verstopfungen der Siebtrommel.

Die verzögerte Axialgeschwindigkeit des Gutes führt zu einer längeren Verweildauer des Materials in der Siebtrommel. Durch unterschiedliche Ein- und Auslaufgeschwindigkeiten baut sich eine immer dicker werdende Gutschicht an der Siebwand auf.

Die an der Innenseite der Gutnieren wirkenden Zentrifugalkräfte werden mit zunehmender Gutnierendicke kleiner. Nach Überschreitung einer kritischen Gutnierendicke überwiegt der Anteil der in Axialrichtung wirkenden Gewichtskräfte und es lösen sich an der Innenseite größere Mengen aus dem verfilzten Material ab und fallen schlagartig abwärts.

Regelmäßigere Gutbewegungsverhältnisse in der Siebtrommel werden durch Auflockerungsschnecken mit größerer Steigung (SA VIII und SA X) erreicht. Bild 38 zeigt den Kornverlustverlauf über der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit den Elementen SA VIII und SA X im Vergleich zu einer Versuchsreihe ohne Auflockerungselemente.

Der niedrigste Kornverlust dieser Versuchsreihe wird bei der Siebtrommeldrehzahl $n_G = -50 \text{ min}^{-1}$ ohne Auflockerung erreicht. Die Verlustkurve bei den Versuchen mit der 1 m langen Auflockerungsschnecke (SA VIII) verläuft ziemlich linear und erreicht sein Minimum bei der Siebtrommeldrehzahl $n_G = -35 \text{ min}^{-1}$.

Die nur im unteren Bereich der Siebtrommel eingebaute 0,5 m lange Auflockerungsschnecke (SA X) verursacht ein von der Siebtrommeldrehzahl nahezu unabhängiges Verlustverhalten.

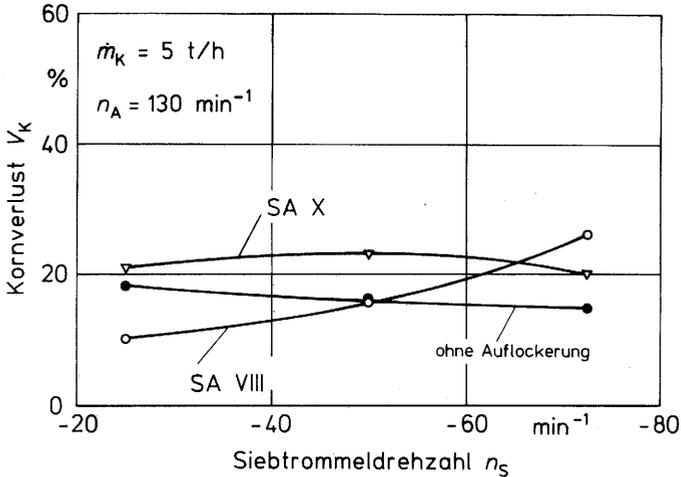


Bild 38 : Kornverlust in Abhängigkeit von Siebtrommeldrehzahl bei Auflockerungsschnecken SA VIII und SA X im Vergleich zu Versuchen ohne Einbauten.

Ein ähnlicher Verlauf der Kornverlustkurven wird bei Versuchen mit der Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ erreicht. Bild 39 zeigt, daß das gesamte Verlustniveau der drei untersuchten Alternativen bei der höheren Auslegerdrehzahl absinkt.

Die Linearität der Verlustkurve bei der 1 m langen Auflockerungsschnecke (SA VIII) steht in Zusammenhang mit der durch die Drehzahl der Siebtrommel und der Steigung der Auflockerungsschnecke bedingten Axialgeschwindigkeit des Gutes.

Bei kleiner werdender negativer Siebtrommeldrehzahl wird die Förderung des Gutes in Axialrichtung langsamer. Die bei der Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ erzeugten maximalen Fliehkräfte ermöglichen eine bessere Entmischung des aufgelockerten Gutes und hierdurch einen größeren Siebdurchgang für das Korn.

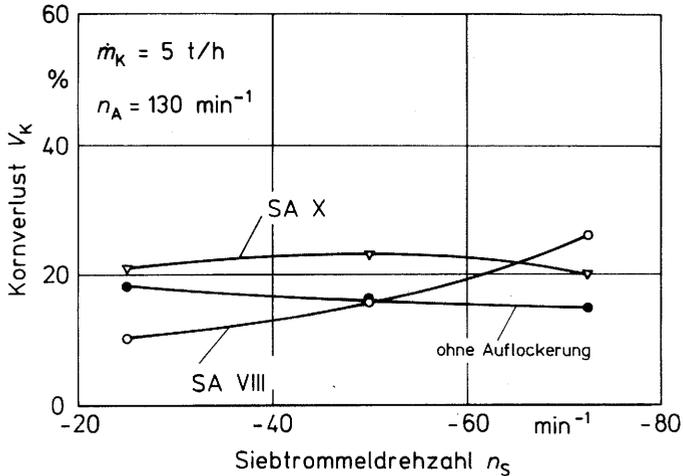


Bild 39 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl mit Auflockerungsschnecken SA VIII und SA X im Vergleich zu Versuchen ohne Einbauten.

Bei dieser Drehzahleinstellung wird mit der 1 m langen Auflockerungsschnecke eine Halbierung des Kornverlustes im Vergleich zu dem Standardversuch erreicht.

Die Einbauten zeigen auch einen Einfluß auf die Reinheit der Kornfraktionen. Die Auflockerung bewirkt einen größeren Siebdurchgang für Nichtkornbestandteile. In Bild 40 wird die Reinheit der verschiedenen Kornfraktionen bei Versuchen mit 0,5 m (SA X) und 1 m langen (SA VIII) Auflockerungsschnecken und ohne Einbauten verglichen.

Die 0,5 m lange Auflockerungsschnecke, die auf der unteren Siebhälfte montiert ist, zeigt eine geringe Verbesserung der Reinheit der Fraktionen 1 und 2. In der unteren Fraktion 3, in der aufgelockert wird, wird die Reinheit schlechter. Den gleichen Effekt erkennt man bei dem 1 m langen Element, das bei allen Kornfraktionen einen höheren Anteil an Kurzstroh und Spreu verursacht.

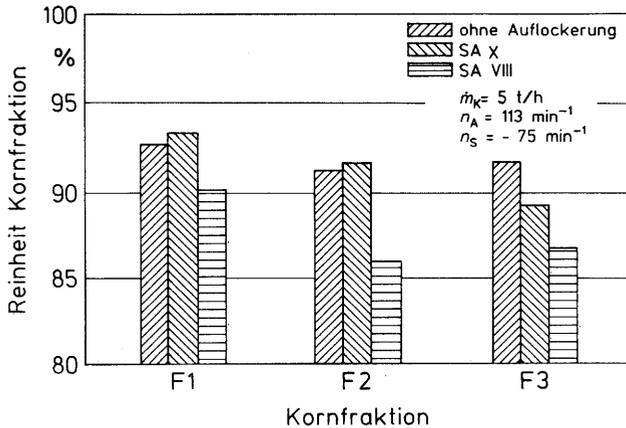


Bild 40 : Vergleich der Reinheiten der Kornfraktionen mit und ohne Auflockerungsschnecken.

Aus den Ergebnissen der bisher durchgeführten Versuche am Planetentrommelsortierer mit mechanischen Auflockerungselementen lassen sich einige konkrete Aussagen machen.

- Mechanische Auflockerung kann das bei Standardversuchen ermittelte Verlustniveau bei bestimmten Einstellungen reduzieren. Eine verbesserte Kornabscheidung geht immer mit einer Verschlechterung der Reinheit des abgeschiedenen Korns einher.
- Durch die mechanischen Auflockerungseinrichtungen kann die Gutbewegung in der Siebtrommel derart beeinträchtigt werden, daß es zu Verstopfungen kommen kann. Diese Empfindlichkeit des Planetentrommelsortierers auf Beeinflussung der Gutaxialgeschwindigkeit ist sehr groß.

5.4. Einfluß der Axialgeschwindigkeit des Gutes

Um den Einfluß der Axialgeschwindigkeit auf die Kornabscheidung untersuchen zu können, wurden im Planetentrommelsortierer schneckenförmige Elemente direkt an der Siebtrommelinnenwand eingebaut, die die Axialgeschwindigkeit des Gutes durch die Siebtrommeldrehzahl vorbestimmen. Die Abmessungen der untersuchten Förderschnecken sind in Tabelle 4 angegeben.

$s \backslash b$	100 mm	30 mm
1670 mm (48°)	FS I	FS II
1000 mm (62°)	FS III	FS IV

Tabelle 4 : Bezeichnung und Abmessungen der untersuchten Förderschnecken, (s : Steigung ; b : Breite der Schnecke).

5.4.1. Beschleunigende Förderschnecke

Bild 41 zeigt die eingebaute Förderschnecke FS I in der Siebtrommel.

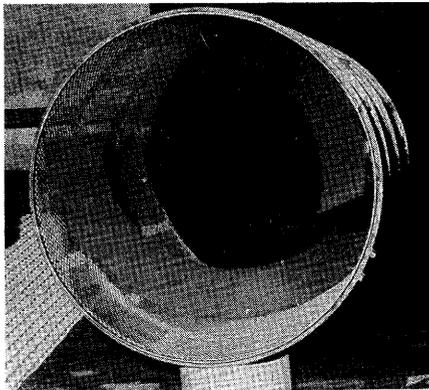


Bild 41 : Eingebaute Förderschnecke FS I in der Siebtrommel.

Die Steigung der Schnecken FS I und FS II von $s = 1670 \text{ mm}$ ($\beta = 48^\circ$) wurde gewählt, um eine Zunahme der Gutgeschwindigkeit von etwa $0,3 \text{ m/s}$ bei den Auslegerdrehzahlen von 130 min^{-1} und 113 min^{-1} zu erreichen. Bei der Auslegerdrehzahl 90 min^{-1} verursacht die Schnecke eine Verzögerung der Axialbewegung. Bild 42 zeigt den Verlauf der Axialgeschwindigkeit des Gutes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei drei unterschiedlichen Auslegerdrehzahlen und mit eingebauter Förderschnecke FS I bzw. FS II.

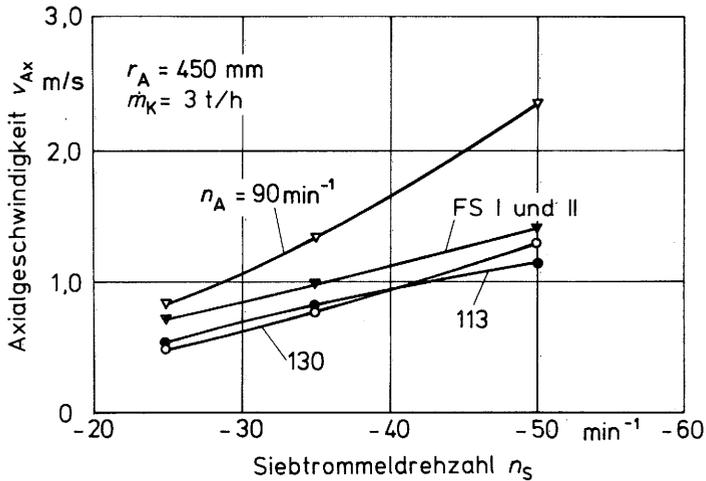


Bild 42 : Axialgeschwindigkeit des Gutes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei unterschiedlichen Auslegerdrehzahlen.

Als Parameter für die Beurteilung des Einflusses der Axialgeschwindigkeit auf die Kornabscheidung wurde der Verlauf der Kornverluste und die Reinheit der drei Kornfraktionen bei unterschiedlichen Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen untersucht. Die folgenden Versuche wurden bei einem Durchsatz von 3 t/h durchgeführt. Bild 43 zeigt die Kornverluste in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei den Versuchen mit eingebauter Förderschnecke FS I.

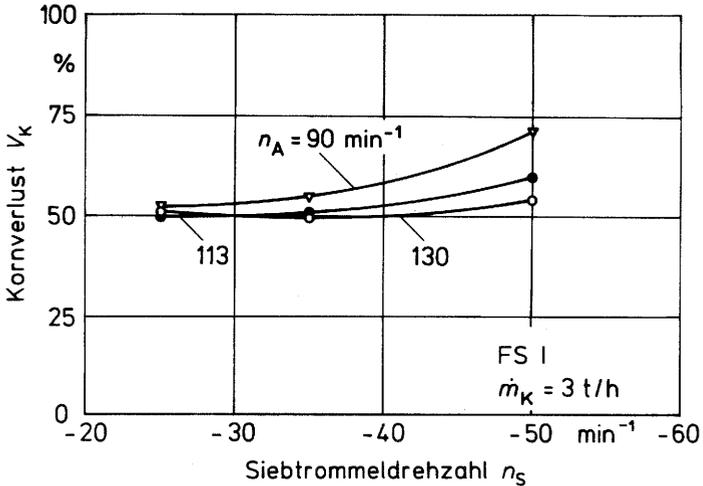


Bild 43 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei der Förderschnecke FS I und unterschiedlichen Auslegerdrehzalen.

Die Verlustkurven zeigen eine deutliche Verminderung der Kornabscheidung, wobei die Kornverluste über 50 % bei den verschiedenen Drehzahleinstellungen liegen. (vergl. mit Verlustkurve Bild 27).

Die Zunahme des Verlustniveaus gegenüber den Versuchen ohne Förderschnecke läßt sich durch die Verschlechterung der Umschichtung und Auflockerung des Gutes erklären. Das sich nach unten bewegende Gut wird durch die breite Schnecke gebremst. Dadurch wird die Axialgeschwindigkeit verringert, aber zusätzlich tritt eine unerwünschte Verdichtung des Gutes zwischen der Schnecke und dem Sieb ein, die die Kornabscheidung behindert. Diese Verlagerung des Gutes auf die Schnecke wird bei abnehmender Auslegerdrehzahl und zunehmender negativer Siebtrommeldrehzahl aufgrund der sinkenden Führungsbeschleunigungen größer. Diese Verschlechterung der Bedingungen für die Kornabscheidung wird auch in der Reinheit der Kornfraktionen bemerkbar, Bilder 44 und 45.

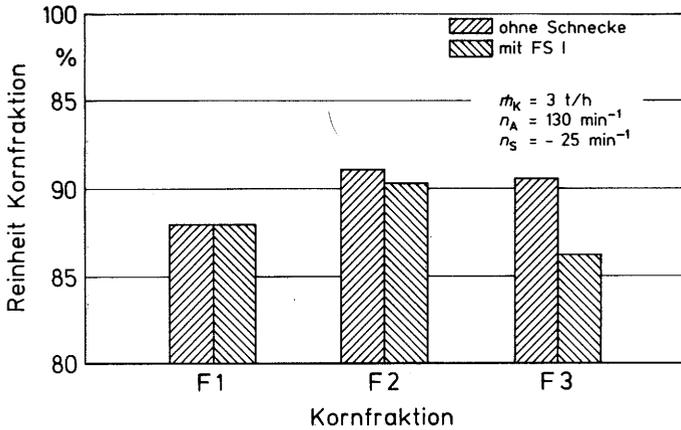


Bild 44 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen ohne und mit Förderschnecke FS I.

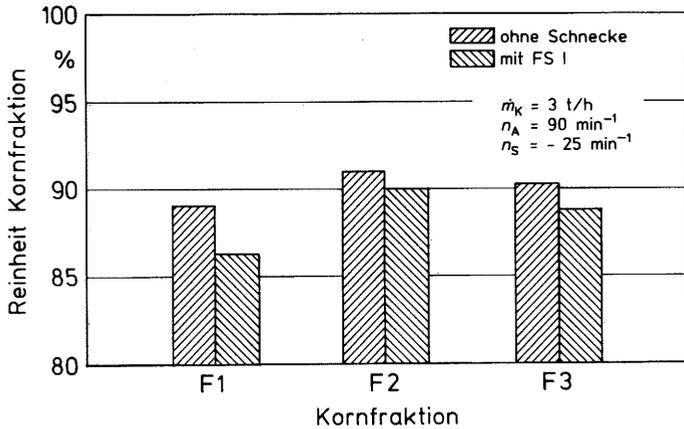


Bild 45 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen ohne und mit Förderschnecke FS I.

Bei allen untersuchten Drehzahlkombinationen wird die Reinheit des abgeschiedenen Korns sowie die Abscheideeffizienz durch die Wirkung der Schnecke vermindert.

Als Alternative wurde eine nur 30 mm breite Förderschnecke mit derselben Steigung von $s = 1670 \text{ mm}$ ($\beta = 48^\circ$) untersucht. Bild 46 zeigt die eingebaute schmalere Förderschnecke FS II in der Siebtrommel.

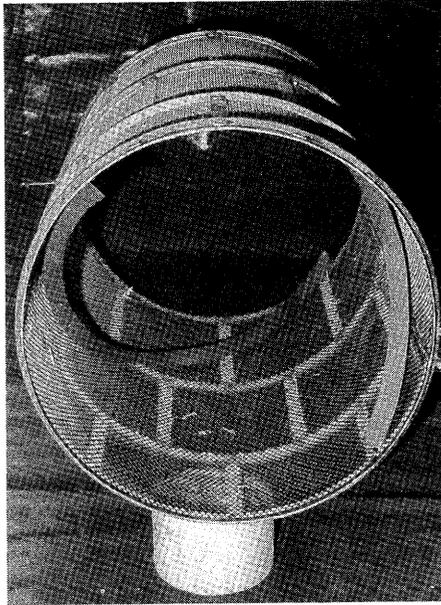


Bild 46 : Eingebaute Förderschnecke FS II in der Siebtrommel.

Durch das schmalere Leitblech der Förderschnecke wird das Gut in vertikaler Richtung weniger gepreßt. Nur an der Siebwand erfolgt eine kontrollierte Axialführung des Gutes. An der Innenseite der Gutniere bewegt sich das Material frei und ungehindert nach unten. Dadurch findet eine intensive Umschichtung der Gutniere statt.

Bild 47 zeigt den Verlauf des Kornverlustes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei den Versuchen mit der Förderschnecke FS II.

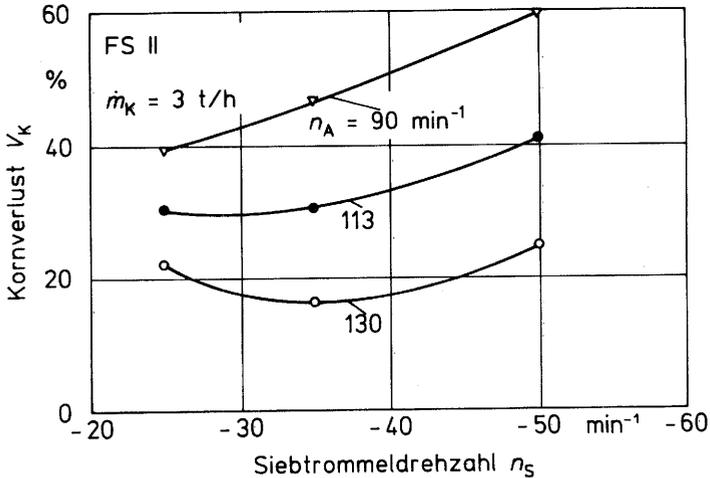


Bild 47 : Kornverluste in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei verschiedenen Auslegerdrehzahlen mit der Förderschnecke FS II.

Im Vergleich zu Versuchen mit der breiteren Förderschnecke (s. Bild 43) wird bei der schmalen Schnecke eine bessere Abscheideleistung erreicht. Bei der höheren Auslegerdrehzahl wird der Kornverlust gegenüber Versuchen mit breiter Schnecke halbiert. Die Wirkung der Schnecke wird dabei durch die höheren Fliehkräfte unterstützt. Das Material wird nicht vollständig gegen das Leitblech der Schnecke in Axialrichtung gepreßt und es findet eine bessere Gutumschichtung statt. Bei niedrigen Auslegerdrehzahlen wirkt die Schnecke als Verzögerer der Axialgeschwindigkeit des Gutes (s. Bild 42). Andererseits werden bei diesen niedrigen Drehzahlen die auf das Gut wirkenden Fliehkräfte kleiner. Dieser Effekt beeinflusst die Gutabscheidung in der Siebtrommel negativ.

Die Wirkung der schmalen Schnecke auf die Reinheit der Kornfraktionen ist gegenüber der der breiten Schnecke günstiger. Bilder 48 und 49 zeigen die Reinheit des abgeschiedenen Kornes bei den Versuchen mit und ohne Förderschnecke FS II bei zwei

verschiedenen Auslegerdrehzahlen.

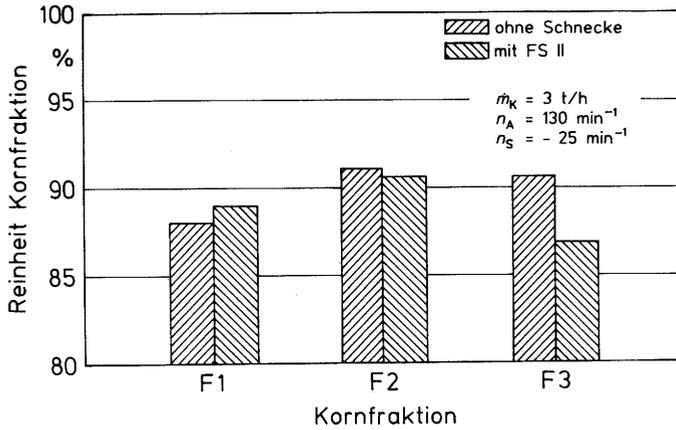


Bild 48 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen ohne und mit Förderschnecke FS II.

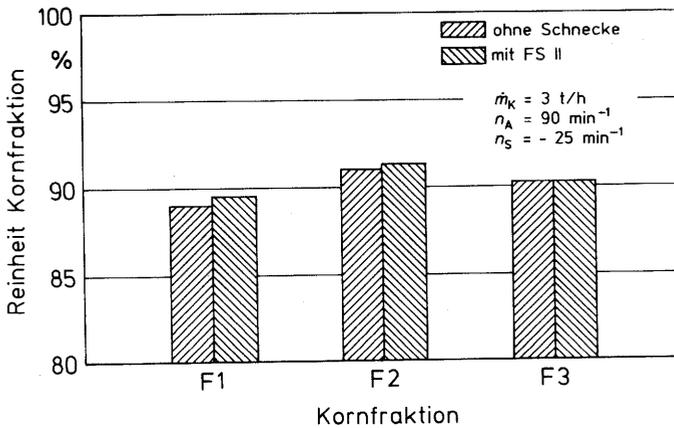


Bild 49 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen ohne und mit Förderschnecke FS II.

Bei höherer Auslegerdrehzahl (s. Bild 48) wird die Reinheit des Kornes nur in Fraktion 1 durch die Wirkung der Schnecke verbessert. Eine schnellere Stabilisierung und Führung des eintretenden Gutes nach unten wird in diesem oberen Siebtrommelbereich erreicht. Ab diesem Punkt wird durch die Beschleunigung der Axialgutbewegung im Vergleich zum Versuch ohne Förderschnecke ein geringer Korndurchgang im unteren Siebbereich verursacht.

Bei niedriger Auslegerdrehzahl (s. Bild 49) ist der Einfluß der Schnecke auf die Reinheit der Kornfraktionen gegenüber dem Versuch ohne Förderschnecke gering. Eine kleine Verbesserung der Reinheit in der Fraktion 1 und 2 wurde festgestellt. Die Förderwirkung der Schnecke nimmt mit kleiner werdenden Auslegerdrehzahlen aufgrund der sinkenden Fliehkräfte ab.

5.4.2. Verzögernde Schnecke

Neben Versuchen mit höherer Axialgeschwindigkeit des Gutes wurden Versuche mit niedrigeren Axialgeschwindigkeiten durchgeführt, um deren Einfluß auf die Korn-Spreu-Abscheidung zu untersuchen.

Mit einem flacheren Steigungswinkel der Förderschnecke wurde erreicht, daß die Axialgeschwindigkeit des Gutes um etwa 30% reduziert wurde. Bild 50 zeigt die in der Siebtrommel eingebaute Förderschnecke FS III (s. Tabelle 4).

Bild 51 zeigt den Verlauf der Axialgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei freier und durch die Schnecke beeinflusster Gutbewegung.

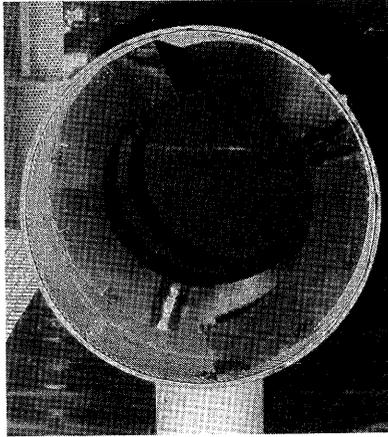


Bild 50: Eingebaute Förderschnecke FS III in der Siebtrommel.

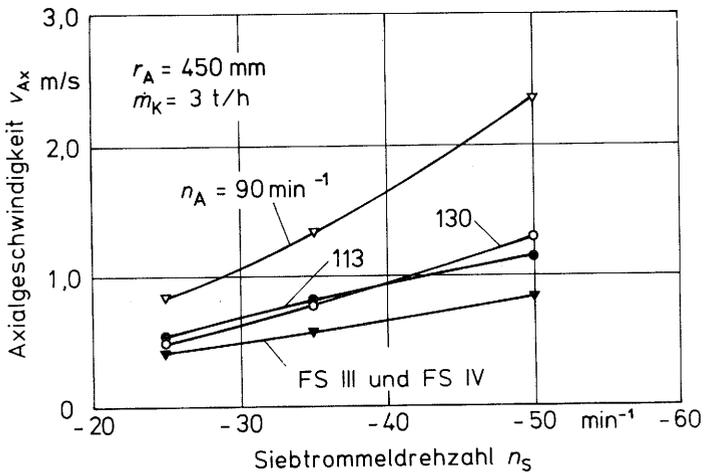


Bild 51 : Axialgeschwindigkeit des Gutes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei verschiedenen Auslegerdrehzahlen.

Die freie Axialbewegung des Gutes, die abhängig ist von den in horizontaler und vertikaler Richtung wirkenden Beschleunigung-

gen, wird von den Sieb- und Auslegerdrehzahlen stark beeinflusst. Für jede Drehzahleinstellung ergibt sich dann eine bestimmte Gutgeschwindigkeit.

Durch die Wirkung der Förderschnecke wird die Vertikalbewegung des Gutes nur von der Siebtrommeldrehzahl und der Schneckensteigung kontrolliert. Die Axialgeschwindigkeit nimmt bei konstanter Steigung proportional zur Siebtrommeldrehzahl zu.

Die verzögernde Förderschnecke wurde unter den gleichen Bedingungen wie die beschleunigende Förderschnecke untersucht. Bild 52 zeigt die Kornverluste in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei drei verschiedenen Auslegerdrehzahlen.

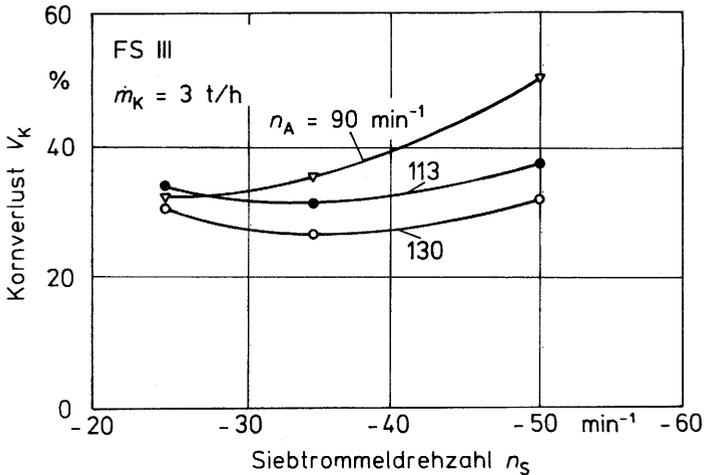


Bild 52 : Kornverluste in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei drei verschiedenen Auslegerdrehzahlen mit Förderschnecke FS III.

Die Kornverlustkurven bei den Auslegerdrehzahlen $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ und $n_A = 113 \text{ min}^{-1}$ haben etwa den gleichen Verlauf, die niedrigsten Verlustwerte werden bei der Siebtrommeldrehzahl $n_S = -35 \text{ min}^{-1}$ erreicht.

Bei der Auslegerdrehzahl von $n_A = 90 \text{ min}^{-1}$ treten größere Kornverluste auf, die aus dem Zusammenhang mit der niedrigen Führungsbeschleunigung und der Gutverlagerung auf die Schneckenfläche zu erklären sind.

Die durch die Förderschnecke reduzierte Axialgeschwindigkeit des Gutes in der Siebtrommel führt zu einer dickeren Gutsschicht, die sich teilweise an dem Leitblech der Schnecke anlagert. Das Gut bleibt länger in der Siebtrommel und die Gutpartikel haben mehr Möglichkeiten, in Kontakt mit der Siebwand zu kommen. Dagegen erschwert die höhere zu trennende Gutmasse pro Siebflächen-Einheit die Kornabscheidung.

Die breite verzögernde Förderschnecke verursacht im Vergleich zu Versuchen ohne Einbauten keine bedeutende Änderung der Reinheit der Kornfraktionen, Bild 53.

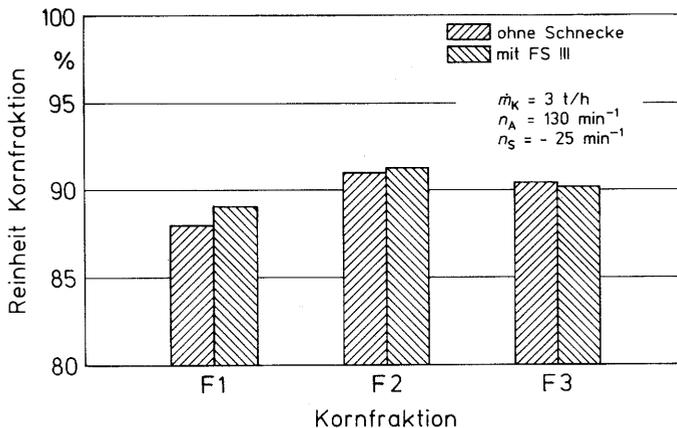


Bild 53 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit und ohne Förderschnecke FS III.

Die in die Siebtrommel eingebaute schmalere Förderschnecke mit derselben Steigung, FS IV ist in Bild 54 dargestellt.

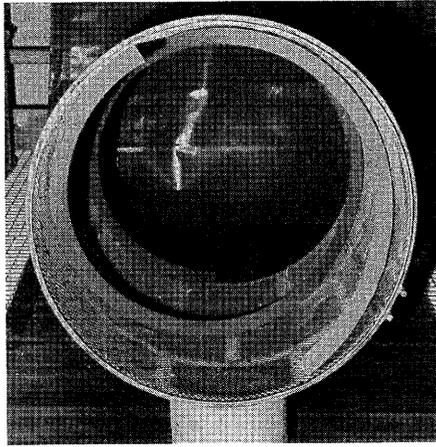


Bild 54 : Eingebaute Förderschnecke FS IV in der Siebtrommel.

Bild 55 zeigt die Kornverluste bei Versuchen mit der Förderschnecke IV in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei drei unterschiedlichen Auslegerdrehzahlen.

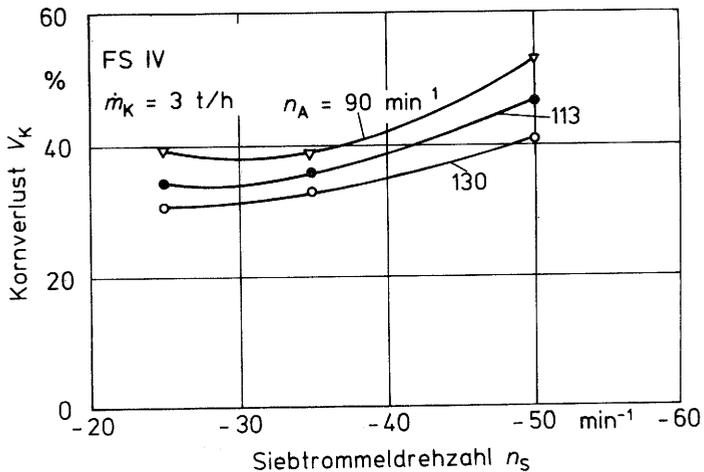


Bild 55 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei der Förderschnecke FS IV mit verschiedenen Auslegerdrehzahlen.

Im Vergleich zu den vorherigen Versuchen mit der breiten Förderschnecke (s. Bild 52) ist das Kornverlustniveau bei Siebtrommeldrehzahlen ab $n_S = -35 \text{ min}^{-1}$ höher. Nur bei der Siebtrommeldrehzahl $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$ bleiben die Verluste vergleichbar.

Der Einfluß der schmalen Förderschnecke FS IV auf die Reinheit der Kornfraktionen im Vergleich zu Versuchen ohne Einbauten sind in den Bildern 56 und 57 dargestellt.

Bei höheren Auslegerdrehzahlen (Bild 56) sind die Reinheiten der Kornfraktionen 2 und 3 mit der Förderschnecke schlechter als ohne Einbauten.

Im Gegensatz hierzu ist bei der niedrigen Siebtrommeldrehzahl (Bild 57) die Wirkung der Förderschnecke FS IV auf die Reinheit positiver. Alle Fraktionen zeigen eine Verbesserung der Reinheit im Vergleich zu den Versuchen ohne Einbauten.

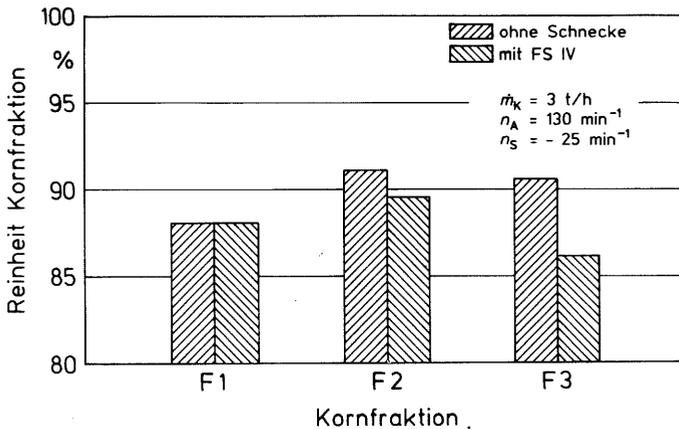


Bild 56 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit und ohne Förderschnecke FS IV.

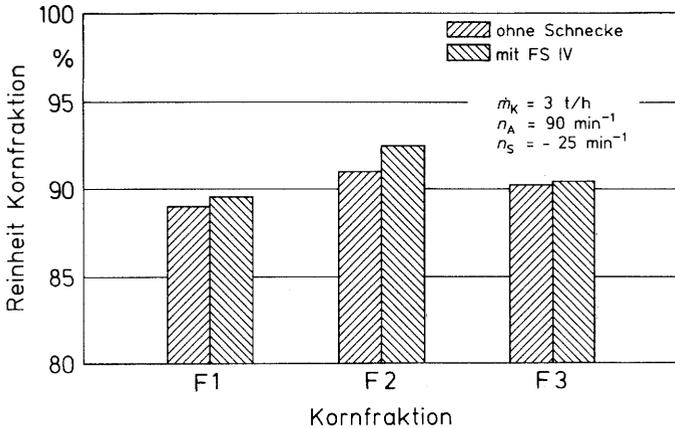


Bild 57 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit und ohne Förderschnecke FS IV.

Die mechanische Beeinflussung der Axialgutbewegung in der Siebtrommel durch eine Förderschnecke führt in den meisten untersuchten Einstellkombinationen zu einer Verschlechterung der Abscheideeffizienz und der Reinheit der abgetrennten Körner.

Die breiten Förderschnecken (FS I u. FS III) verursachen eine Verlagerung des Gutes zu dem Schneckenblech, die mit abnehmenden Führungsbeschleunigungen (niedrige Auslegerdrehzahl, hohe Siebtrommeldrehzahl) stärker wird.

Bei den Versuchen mit schmalen Förderschnecken (FS II u. FS IV) zeigen sich bei hohen Führungsbeschleunigungen positive Wirkungen durch eine Erhöhung der Axialgutgeschwindigkeit. Grund dafür sind die Unterstützung der Vertikalbewegung des an der Siebwand verdichteten Gutes, ohne jedoch eine Gutverlagerung auf das Schneckenblech zu verursachen, und die hohe, die Kornabscheidung unterstützende Führungsbeschleunigung. Der Einsatz von Förderschnecken im Planetentrommelsortierer ist unter diesen Bedingungen vorteilhaft.

5.5. Luftströmung

In den bisherigen Kapiteln wurden die Ergebnisse beim Einsatz des Planetentrommelsortierers als rein mechanisch arbeitende Trenneinrichtung vorgestellt. Die Separation des Korns von der Spreu findet in begrenztem Maße bei adäquaten Kombinationen von Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen, Auslegerlänge, Siebtrommeldurchmesser und Gutzuführung statt. Die untersuchte optimale Kombination dieser Parameter ist jedoch nicht ausreichend, um eine akzeptable Kornabscheidung und Reinheit zu erzeugen.

Der hohe Kornverlust ist hauptsächlich das Ergebnis einer ungenügenden Auflockerung des Gutes, wodurch die Bewegung der Körner durch das Stroh hindurch stark behindert wird.

Andererseits fördert eine intensive mechanische Auflockerung des Gutes am Siebrand die Durchdringung von Kurzstroh und Spreu durch das Sieb, was eine schlechtere Reinheit verursacht.

Eine Verbesserung wird durch selektive Auflockerung der Gutmischung mit einer pneumatischen Einrichtung erwartet, durch die eine zur Fliehkrafttrichtung entgegengesetzte Luftströmung auf die Partikel mit verschiedener Schwebegeschwindigkeit unterschiedlich stark einwirkt.

Diese Auflockerungsluftströmung soll in dem Siebbereich eingreifen, in dem die Gutanlagerung stattfindet. Dabei ist die Luftgeschwindigkeit der Normalkomponente der auf die Gutpartikel wirkenden Fliehkräfte anzupassen.

5.5.1. Auflockerungsgeschwindigkeit der Luftströmung an der Siebwand

Bei der durch die einzelnen Gutbestandteile in der Siebtrommel gebildeten geschlossenen Gutschicht liegen andere Strömungs-

verhältnisse als bei einem frei umströmten Einzelkörper vor.

Nach Keuneke [42], Matthies [43], Zabeltitz [44] u.a. wird die Luftgeschwindigkeit, bei der die Strömungskräfte dem Eigengewicht der ruhenden Schicht entsprechen, als Auflockerungsgeschwindigkeit v_A bezeichnet. Bei hohen Luftgeschwindigkeiten bildet sich eine Wirbelschicht aus, die durch eine Schichtausdehnung charakterisiert ist. Die Struktur der einzelnen Bestandteile des Gutes ist ein wichtiger Parameter, von dem die Auflockerungsgeschwindigkeit abhängt.

Bei dem Planetentrommelsortierverfahren werden die Eigengewichte als wirkende Normalkraftkomponenten angenommen. Die von Damm [45] und Freye [4] gemessenen Auflockerungsgeschwindigkeiten (Tabelle 5) wurden als Referenzwerte für die Berechnung der Luftgeschwindigkeit an der Siebtrommel genommen.

<u>Gutart</u>		<u>Auflockerungsgeschwindigkeit v_A</u>
Korn	:	1,0 - 1,1 m/s
Spreu-Stroh	:	0,49 - 0,56 m/s
Spreu	:	0,2 - 0,5 m/s
Kurzstroh	:	0,5 - 0,85 m/s

Tabelle 5 : Auflockerungsgeschwindigkeiten für Weizen [45,4].

Für die durch eine auf die Gutpartikel wirksame Luftgeschwindigkeit v_L erzeugte Strömungskraft gilt :

$$F_L = c_w \cdot A_p \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_L^2 \quad . \quad (12)$$

Bei horizontalen Kräftesystemen, wie sie sich im Planetentrommelsortierer bilden, sind die durch die rotierende Bewegung auf das Partikel erzeugten Normalbeschleunigungen für die Berechnung der Strömungskraft heranzuziehen, da die Luft von außen nach innen entgegen diesen Normalbeschleunigungen wirken soll. Für die Siebtrommel wurden die Normalbeschleunigungen a_N

am Sieb im Bereich der Gutniere mit Hilfe eines Rechenprogramms berechnet und daraus die Auflockerungsgeschwindigkeit bestimmt.

$$v_A = v_L \cdot \sqrt{\frac{a_N}{g}} \quad (13)$$

Tabelle 6 enthält die berechneten Auflockerungsgeschwindigkeiten an drei Stellen des Siebtrommelumfangs (s. Bild 64) bei verschiedenen Siebtrommel- und Auslegerdrehzahlen.

n_A min ⁻¹	n_S min ⁻¹	Umfangswinkel		
		90°	45°	0°
90	-25	5,50	3,60	1,41
	-35	5,09	3,42	1,02
	-50	4,60	3,16	0,54
	-75	4,15	2,92	0,07
113	-25	9,02	5,98	2,60
	-35	8,40	5,66	2,04
	-50	7,76	5,25	1,33
	-75	6,91	4,76	0,48
130	-25	12,21	8,08	3,70
	-35	11,54	7,68	3,03
	-50	10,65	7,17	2,15
	-75	9,52	6,54	1,02

Tabelle 6 : Auflockerungsgeschwindigkeiten v_A für drei verschiedene Umfangswinkel α der Siebtrommel.

Die berechneten Auflockerungsgeschwindigkeiten sind von Ausleger- und Siebtrommeldrehzahl, sowie vom Umfangswinkel α stark abhängig. Bei einer Auslegerdrehzahl von 130 min⁻¹ werden die größten Auflockerungsgeschwindigkeiten der Luftströmung mit Werten von über 12 m/s berechnet, weil bei diesen Drehzahleinstellungen die größten Fliehkräfte auftreten. Bei dem Umfangswinkel von 90° wurden bei extrem unterschiedlichen Siebtrommeldrehzahlen, $n_S = -25$ und -75 min⁻¹, Geschwindigkeitsunterschiede von fast 3 m/s ermittelt. Bei unterschiedlicher Positionierung der Gutpartikel am Siebum-

fang, z.B. von 90° bis 0°, stellen sich bei derselben Ausleger- und Siebtrommeldrehzahl Geschwindigkeitsunterschiede von ca. 8 m/s ein.

5.5.2. Aufbau der Luftströmungseinrichtung

Die Erzeugung einer Luftströmung an der Siebwand des Planetentrommelsortierers zur Auflockerung der Gutmatte stellt einige Probleme dar. Es müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Radial nach innen gerichtete Luftströmung im Bereich der Gutnieren.
- Gleichmäßige, einstellbare Luftverteilung in diesem Bereich.
- Geringe Masse des Luftverteilungssystems, da dieses zwar nicht mit der Siebtrommel aber mit der Grundplatte mitrotiert.
- Luftzuführung in das rotierende System.

Um diese Anforderungen erfüllen zu können, wurde ein Luftverteilungssystem entwickelt, das mit Druckluft von außen gespeist wird. Die Luftströmung wird in verschiedenen Bereichen des Siebes erzeugt und ihre Wirkung auf die Kornverluste bewertet. Eine vollständige Luftströmung im gesamten Bereich der Gutnierenbildung war mit der verfügbaren Drucklufteinrichtung ($\dot{V} = 1000 \text{ l/min}$; $p = 8 \text{ bar}$) nicht möglich.

Die Verteilung der Luftströmung wird mit Hilfe selbstentwickelter Luftdüsen erreicht, die um die Siebtrommel herum angebracht werden. Die Düsen haben einen Streuwinkel von 105°.

Jede Düse hat 13 Bohrungen, eine zentrale und je 6 Bohrungen in zwei konzentrisch angeordneten Kreisen. Jede Bohrung hat einen Durchmesser von 0,7 mm.

Bild 58 (s. Seite 82) zeigt die schematische Darstellung einer Düse.

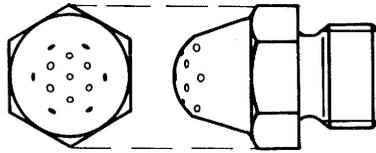


Bild 58 : Düse für die Verteilung des Luftstroms.

Bild 59 zeigt den Verlauf des Luftdurchsatzes in Abhängigkeit vom Druck bei einer und mehreren Düsen.

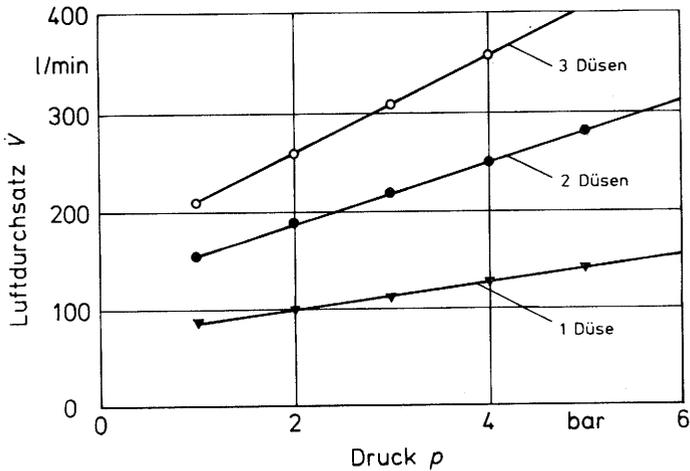


Bild 59 : Luftdurchsatz einer und mehrerer Düsen bei unterschiedlichen Drücken.

Die Druckluft wird mit Hilfe einer drehbaren Kupplung über die zentrale Achse des Planetentrommelsortierers dem Luftverteilsystem zugeführt. Bild 60 zeigt eine schematische Darstellung der Drucklufteinrichtung mit Zulaufrohr und dem oberen Teil der Siebtrommel.

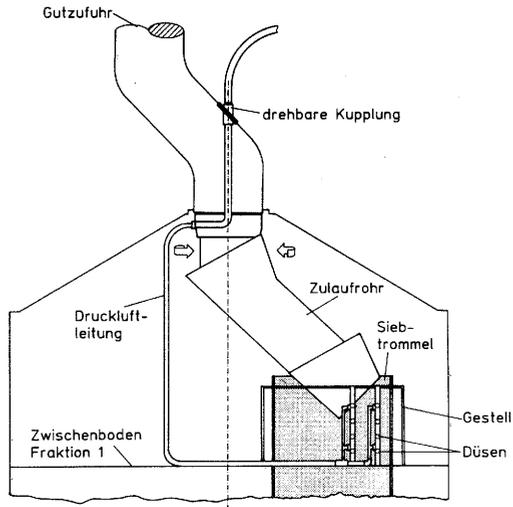


Bild 60 : Aufbau der Drucklufteinrichtung.

Je 4 Düsen wurden auf 50 cm langen Rechteck-Profilen angebracht. Die Düsen wurden an die Druckluftleitung angeschlossen und die Profile am Gestell festgeschraubt. Bild 61 zeigt das Gestell mit den angebauten Profilen und den Düsen.

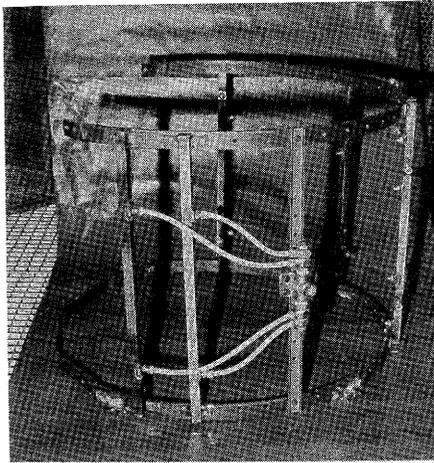


Bild 61 : Gestell mit Rohren und Düsen.

Zur Beurteilung des Geschwindigkeitsprofils wurde die durch die Düsen innerhalb der Trommel erzeugte Luftgeschwindigkeit gemessen. Die Geschwindigkeiten wurden in 20 mm Entfernung von der Siebinnenwand mit einem Hitzdraht-Anemometer ermittelt. Zur Luftstrommessung waren zwei Rechteck-Profile mit je 4 Düsen am Umfangswinkel von 22° und 38° eingebaut. Der Druck betrug 3 bar bzw. 5 bar.

Bilder 62 und 63 (s. Seite 85) zeigen die Luftgeschwindigkeiten an den in 5 verschiedenen Höhen und im Bereich von 0° bis 60° am Siebumfang verteilten 7 Meßpunkten für zwei unterschiedliche Drücke. Die höchsten Luftgeschwindigkeiten werden im Bereich zwischen den Düsen erreicht.

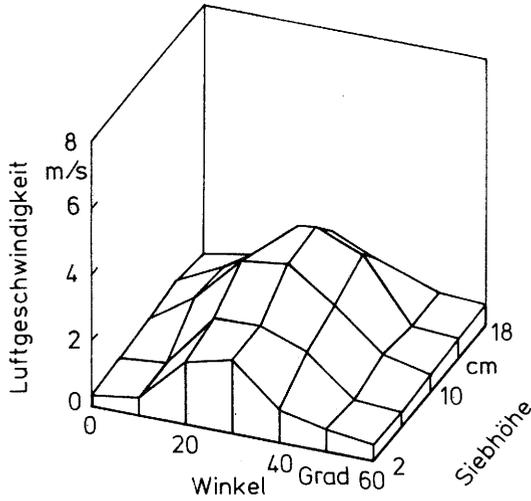


Bild 62 : Geschwindigkeitsprofil der Luftströmung in 20 mm Entfernung von der Siebinnenwand bei einem Druck von $p = 3$ bar auf 8 Düsen, Winkelstellung 22° und 38° .

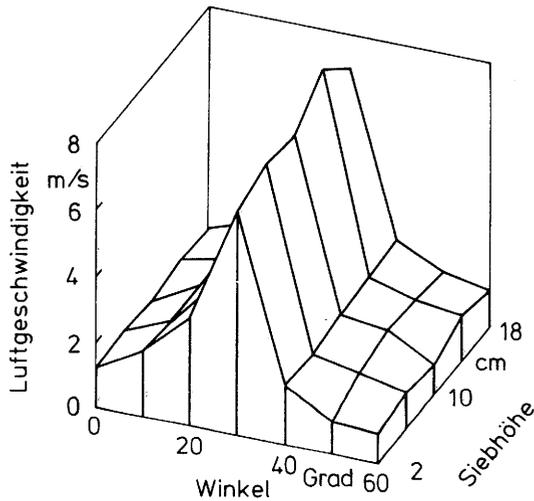


Bild 63 : Geschwindigkeitsprofil der Luftströmung in 20 mm Entfernung von der Siebinnenwand bei einem Druck von $p = 5$ bar auf 8 Düsen, Winkelstellung 22° und 38° .

5.5.3. Untersuchung der pneumatischen Auflockerung

Um den Einfluß der Luftströmung auf die Gutauflockerung zu ermitteln, wurden Versuche mit zwei unterschiedlichen Luftdurchsätzen bei verschiedenen Winkelstellungen durchgeführt. Zuerst wurde eine Versuchsreihe mit niedrigem Luftdurchsatz (maximale Werte von ca. $v_L = 3$ m/s) durchgeführt, der durch einen Luftdruck von ca. $p = 3$ bar und 8 Düsen erzeugt wurde. Der Wirkungsbereich der Luftströmung auf die Fraktion 1 hatte am Siebumfang die Länge von 20 cm.

Bei der zweiten Versuchsreihe wurden hohe Luftdurchsätze untersucht. Mit einem Druck von $p = 5$ bar und 4 Düsen wurden Luftgeschwindigkeiten bis zu 8 m/s erreicht. Der Wirkungsbereich hatte am Siebumfang eine Länge von 10 cm. Bei beiden Versuchsreihen wurden die Düsen an verschiedenen Stellen des Siebumfanges angebracht. Im Bild 64 ist die Winkeleinteilung angegeben.

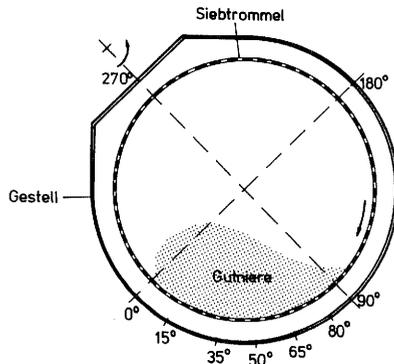


Bild 64 : Siebtrommel mit der Winkeleinteilung des Siebumfanges im Bereich der Gutmierenbildung.

Zur Bewertung der Versuche wurde der gesamte Kornverlust V_K und die Reinheit der Kornfraktion 1 herangezogen. Tabelle 7 zeigt die gemessenen Kornverluste und Reinheiten der Versuchsreihe mit niedriger Luftgeschwindigkeit und für Versuche ohne pneumatische Unterstützung.

Düsen- anordnung	Auslegerdrehzahl n_A [min ⁻¹]					
	130		113		90	
	V_K [%]	R_H [%]	V_K [%]	R_H [%]	V_K [%]	R_H [%]
0°-15°	15,78	89,04	25,58	91,19	40,36	91,88
35°-50°	16,04	88,86	21,10	91,16	43,70	91,20
65°-80°	16,36	89,87	23,13	92,17	39,42	92,93
ohne Luft	15,86	87,55	23,60	89,88	38,48	92,51

Tabelle 7 : Kornverluste und Reinheiten der Fraktion 1 in Abhängigkeit von Auslegerdrehzahl und Anordnung der Luftdüsen im Vergleich zu Versuchen ohne Luftströmung, $v_L = 3$ m/s, $n_g = -50$ min⁻¹, $\dot{m}_K = 5$ t/h.

Die niedrige Strömungsgeschwindigkeit wirkt nur auf die leichten Kurzstrohteilchen. Die Gutmatte wird nicht genügend aufgelockert. Die ermittelten Kornverluste zeigen dementsprechend keine große Änderung bei den verschiedenen Anordnungen. Nur die Reinheit der Kornfraktion 1 wird bei höheren Auslegerdrehzahlen und Luftunterstützung etwas besser. Die erwartete Wirkung auf die Reinheit bei den Einstellungen mit niedrigen Fliehkräften konnte nicht nachgewiesen werden.

Bei der Untersuchung mit der hohen Luftgeschwindigkeit bei vier verschiedenen Anordnungen der Düsen (Winkelstellung = 0°, 30°, 60° und 90°) wird der Einfluß auf die Kornabscheideleistung deutlicher.

Bilder 65 bis 68 zeigen den Verlauf der Kornverluste bei verschiedenen Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen bei Versuchen mit und ohne Luftströmung.

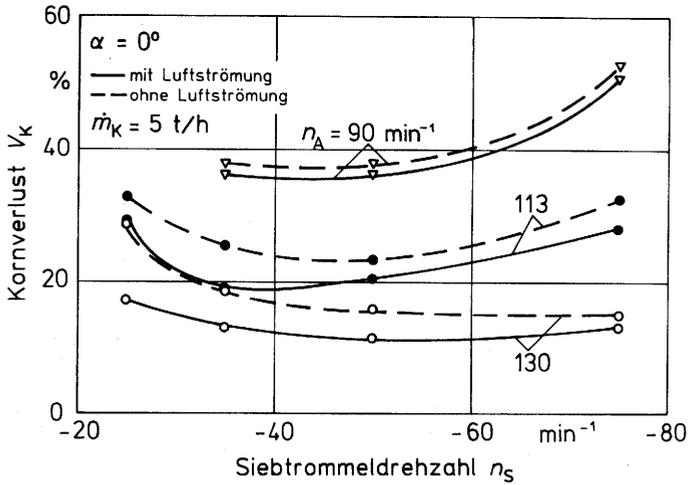


Bild 65 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl für verschiedene Auslegerdrehzahlen bei Versuchen ohne und mit Luftströmung, $v_L = 8 \text{ m/s}$, $\alpha = 0^\circ$.

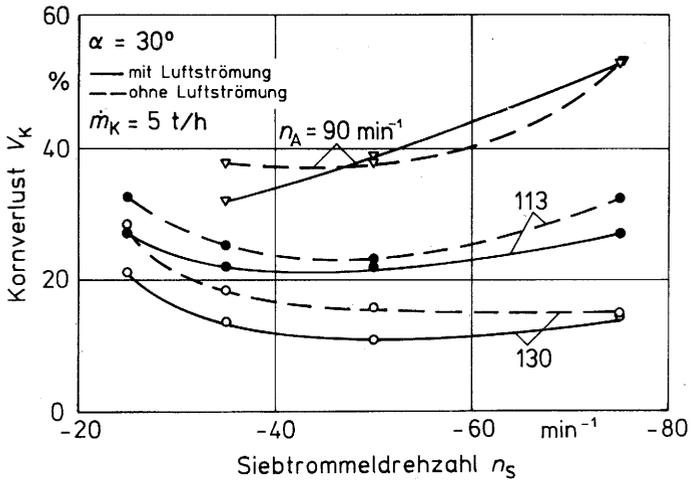


Bild 66 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl für verschiedene Auslegerdrehzahlen bei Versuchen ohne und mit Luftströmung, $v_L = 8 \text{ m/s}$, $\alpha = 30^\circ$.

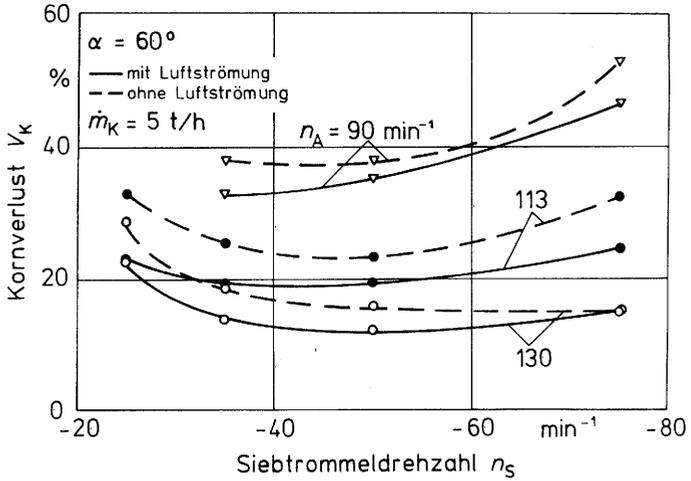


Bild 67 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl für verschiedene Auslegerdrehzahlen bei Versuchen ohne und mit Luftströmung, $v_L = 8 \text{ m/s}$, $\alpha = 60^\circ$.

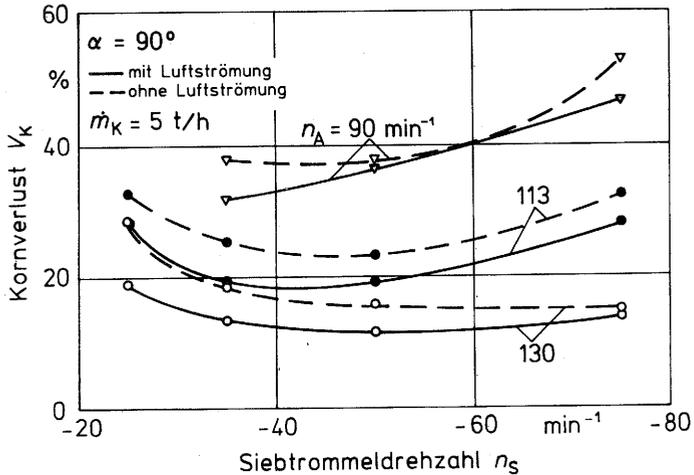


Bild 68 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl für verschiedene Auslegerdrehzahlen bei Versuchen ohne und mit Luftströmung, $v_L = 8 \text{ m/s}$, $\alpha = 90^\circ$.

Die Luftströmung verbessert auch die Reinheit der Kornfraktion 1. In Tabelle 8 sind die ermittelten Kornverluste und Reinheiten bei der Versuchsreihe mit hoher Luftgeschwindigkeit zusammengefaßt.

Düsen- anordnung	Auslegerdrehzahl n_A [min ⁻¹]					
	130		113		90	
	V_K [%]	R_H [%]	V_K [%]	R_H [%]	V_K [%]	R_H [%]
0°	11,03	90,49	21,24	90,26	36,74	92,68
30°	10,51	91,68	22,03	92,35	35,49	92,33
60°	12,44	91,94	20,50	90,94	35,15	92,66
90°	12,32	91,15	20,47	90,74	37,09	93,67
ohne Luft	15,86	87,55	23,60	89,88	38,50	92,50

Tabelle 8 : Kornverlust und Reinheit in Abhängigkeit von der Auslegerdrehzahl und Anordnung der Luftdüsen im Vergleich zu Versuchen ohne Luftströmung, $v_L = 8 \text{ m/s}$, $n_S = -50 \text{ min}^{-1}$, $\dot{m}_K = 5 \text{ t/h}$.

Die Luftströmung im oberen Bereich der Siebtrommel verursacht eine Verbesserung der Reinheit der abgeschiedenen Körner. Besonders deutlich wird dies bei höheren Auslegerdrehzahlen. Trotz des sehr begrenzten Wirkungsbereiches der Luftströmung auf das Sieb (ca. 10 cm x 20 cm in Fraktion 1) werden Reduzierungen der Kornverluste von bis zu 30 % und Reinheitsverbesserungen bis zu 4 % erreicht.

Die Wirkung der Luftströmung auf die Abscheidung wird bei niedrigeren Siebtrommeldrehzahlen noch deutlicher. Bei der Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ und der Siebtrommeldrehzahl $n_S = -25 \text{ min}^{-1}$ wird eine Senkung des Kornverlustes durch die Luftströmung von ca. 35% erreicht.

Die starke Wirkung einer begrenzten Auflockerungsströmung auf die Trennleistung erlaubt die Aussage, daß die Windsichtung als aussichtsreichste Alternative für die Weiterentwicklung und Verbesserung des Planetentrommelsortier-Verfahrens angesehen werden kann.

5.6. Einfluß der Guteigenschaften

5.6.1. Korn-NKB-Verhältnis

Die Zusammensetzung des zu trennenden Gutes spielt für die Abscheideleistung des Planetentrommelsortierers eine entscheidende Rolle. Kleine Variationen im Korn-NKB-Verhältnis des Gutes haben großen Einfluß auf die Kornverluste. Die physikalischen Eigenschaften der Spreu und des Strohs sind hauptsächlich dafür verantwortlich. Die Ausbildung der Gutniere, die Gutumschichtung und die Kornabscheidung werden vom NKB-Anteil des Gutes stark beeinflusst.

Die Ergebnisse der von Grobler [35] untersuchten Mischungsverhältnisse des Gutes von 70, 77, 82 und 85 % Korn haben diesen Einfluß bestätigt. Eine Reduzierung des NKB-Anteils auf 5 % an der gesamten Gutmasse führte zu einer Reduzierung der Kornverluste um 50 %.

Um die Empfindlichkeit der Kornabscheidung bei Variation des Korn-NKB-Verhältnisses am Planetentrommelsortierer zu bewerten, wurden Versuche mit verschiedenen Mischungsverhältnissen ab 90 % Korn durchgeführt. Dieser höhere Kornanteil in den untersuchten Gutmischungen simuliert den Effekt einer Vorreinigungstufe.

Bild 69 (s. Seite 92) zeigt den Verlauf des Kornverlustes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit 90 und 95 % Korn in der Gutmischung. Deutlich zu erkennen ist, daß bei niedriger NKB-Belastung die Kornverluste sehr stark sinken. Schon bei einem Mischungsverhältnis von 90:10 bei Siebtrommeldrehzahlen ab $n_g = -35 \text{ min}^{-1}$ liegen die Verluste unter 2 %. Im Vergleich zu Versuchen mit einem Mischungsverhältnis von 80:20 wird bei denselben Drehzahleinstellungen (s. Bild 23) durch eine Halbierung der Strohbelastung (von 20 % zu 10 % der Gutmasse) eine Reduzierung des Kornverlustes auf ein Zehntel erreicht. Versuche mit einer höheren Auslegerdrehzahl haben eine geringere Empfindlichkeit des Verfahrens

gegenüber Siebtrommeldrehzahländerungen gezeigt, Bild 70.

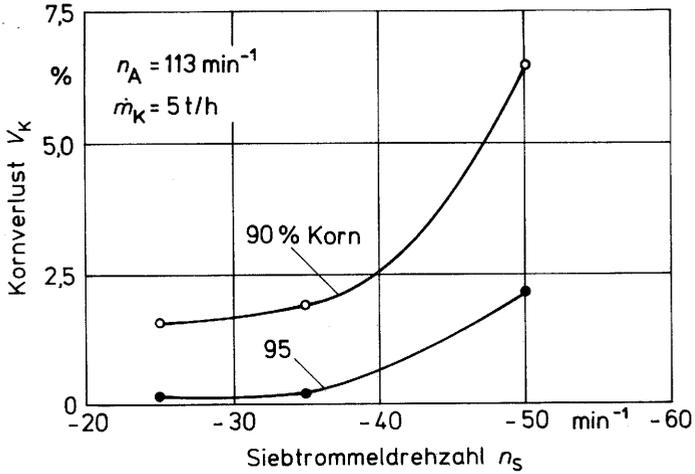


Bild 69 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen des Versuchsgutes.

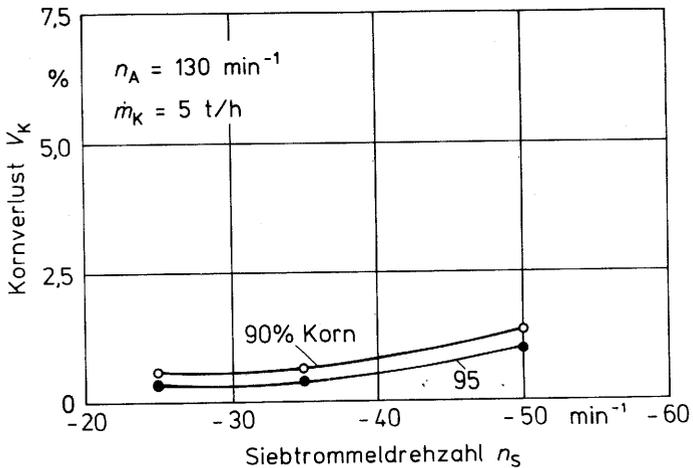


Bild 70 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen des Versuchsgutes.

Für die untersuchten Mischungsverhältnisse liegen die Kornverluste bei fast allen Drehzahlkombinationen unter 1 %. Gegenüber Versuchsergebnissen mit dem normalen Versuchsgut (Korn-NKB-Mischung von 80:20) zeigt sich eine überproportionale Verbesserung der Abscheideleistung des Verfahrens.

Der Anteil beeinflusst ebenfalls die Abscheideeffizienz über der Sieblänge. Versuche mit 80 %, 90 %, 95 % und 100 % Kornanteil zeigen, daß die auf 100 mm Sieblänge bezogene Kornabscheidung stark von der NKB-Belastung abhängig ist, Bild 71.

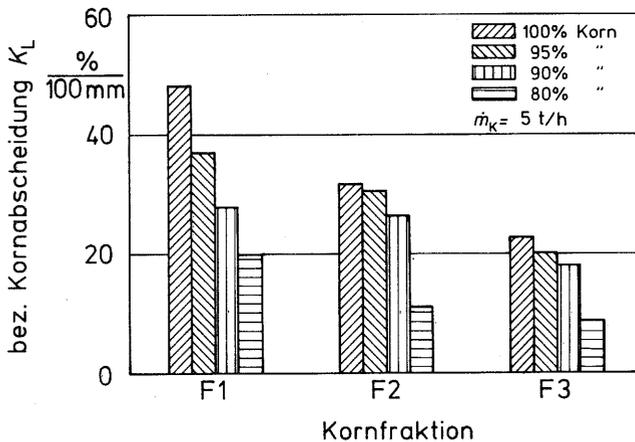


Bild 71 : Bezogene Kornabscheidung für die drei Kornfraktionen bei Versuchen mit unterschiedlichen Korn-NKB-Verhältnissen; $n_A = 113 \text{ min}^{-1}$, $n_S = -35 \text{ min}^{-1}$.

Bei den untersuchten Mischungsverhältnissen von 80:20, 90:10, 95:5 und 100:0 wurde ein Kornverlust V_K von jeweils 25,0 %, 1,88 %, 0,27 % und 0 % festgestellt.

Die höchste bezogene Kornabscheidung von 47,8 %/100 mm wurde in Fraktion 1 beim Versuch mit reinem Korn ermittelt. Mit zunehmendem NKB-Anteil sinkt die Kornabscheidung überproportional ab.

Bei der Fraktion 2 liegen die Kornabscheidungen bei Versuchen mit einem NKB-Anteil von 10 % oder weniger in einem engen Bereich. Erst bei höherer NKB-Belastung nimmt die Kornabscheidung stark ab. Der gleiche Effekt wird bei der Fraktion 3 beobachtet. Hiervon ausgenommen sind die Versuche mit 100 % Korn, bei denen die gesamte Kornabscheidung in der 3. Fraktion von nur 0,02 kg bereits im oberen Teil stattfindet.

Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche zeigen eine deutliche Verbesserung der Trennleistung bei NKB-Belastungen von 10 % oder weniger. Bei normalen Erntebedingungen wird der Reinigungsanlage eine Gutmischung zugeführt, deren NKB-Anteil von 30 % bis 10 % (schlechte bis ideale Bedingungen) schwankt. Die Reduzierung des NKB-Anteils in dem zu trennenden Gut ist eine aussichtsreiche Alternative, um den Einsatz des Planetentrommelsortierers als Reinigungsanlage im Mähdrescher zu ermöglichen.

5.6.2. Feuchtigkeit des Gutes

Um den Einfluß des Feuchtegehaltes der Nichtkornbestandteile auf die Abscheideleistung des Planetentrommelsortierers zu untersuchen, wurden Versuche mit befeuchtetem Versuchsgut durchgeführt.

Es wurde für jeden Versuch eine Masse von 6,21 kg Material auf eine ebene Fläche (1,5 m x 2,5 m) gleichmäßig verteilt und befeuchtet. Für die gewählten Feuchtegehalte von $U_{\text{NKB}} = 15\%$ und $U_{\text{NKB}} = 20\%$ wurden Wassermengen von jeweils 0,093 l/kg-NKB und 0,125 l/kg-NKB versprüht. Nach der Wassergabe wurde das Material 20 Stunden mit einer Folie bedeckt, um eine Homogenisierung der Wasserverteilung im Stroh und in der Spreu zu erreichen.

Die Versuche wurden mit den verschiedenen Feuchtegehalten bei einer Auslegerdrehzahl von $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$, unterschiedlichen Siebtrommeldrehzahlen und einem Durchsatz $\dot{m}_K = 5 \text{ t/h}$ durchge-

führt. Für das Korn-NKB-Gemisch wurde der NKB-Anteil so berechnet, daß für die verschiedenen Feuchtegehalte das Volumen nahezu konstant gehalten wurde. Das heißt, die notwendige NKB-Menge wurde bei trockenem Gut bestimmt und danach befeuchtet. Bild 72 zeigt den Verlauf der Kornverluste in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit 9,6 %, 15 % und 20 % Feuchtegehalt der Nichtkornbestandteile.

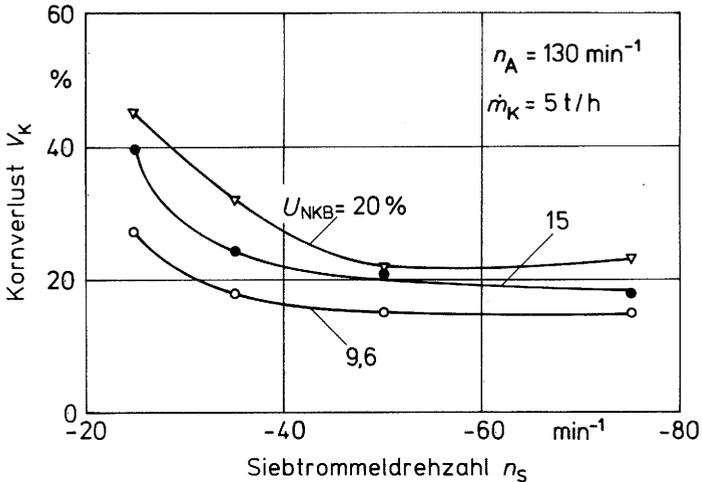


Bild 72 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei unterschiedlichen Feuchtegehalten der NKB.

Bei zunehmender NKB-Feuchtigkeit werden die Kornverluste größer. Die Kornverlustdifferenz zwischen unterschiedlichen Feuchtegehalten ist bei niedrigen Siebtrommeldrehzahlen größer. Grund dafür sind die höheren Fliehkräfte und die mit dem Wassergehalt zunehmenden Reibungskräfte zwischen den Partikeln, die die inneren Bewegungen der Gutniere und den Korndurchgang erschweren.

Die verschiedenen NKB-Feuchtegehalte beeinflussen die Abscheidung des Kornes und der NKB in der Siebtrommel. Bild 73

zeigt die gesamte Abscheidung von Korn und NKB bei den unterschiedlichen Feuchtegehalten.

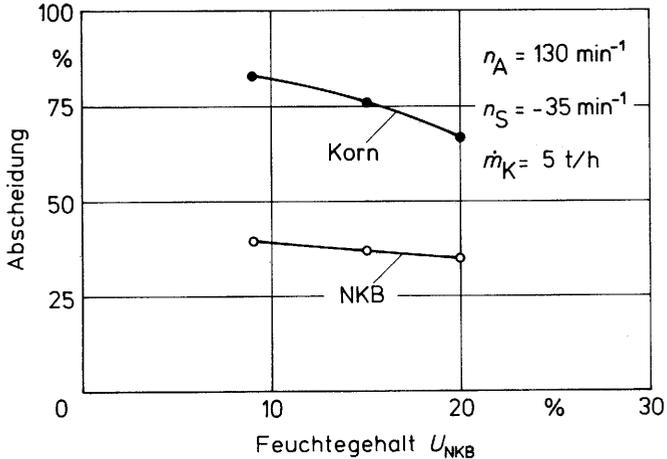


Bild 73 : Abscheidung von Korn und NKB in der Siebtrommel bei unterschiedlichen Feuchtegehalten der NKB.

Die Abscheidung von Korn und NKB nimmt nicht gleichmäßig bei zunehmendem Feuchtegehalt ab. Die Kornabscheidung wird stärker beeinflusst. Ab einem NKB-Feuchtegehalt von $U_{\text{NKB}} = 15 \%$ sinkt die NKB-Abscheidung kaum, dagegen nimmt die Kornabscheidung um etwa 10 % ab.

Die Reinheit des abgeschiedenen Kornes wird auch durch den NKB-Feuchtegehalt beeinflusst. Bild 74 zeigt die Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit verschiedenen NKB-Feuchtegehalten.

Die höchste Reinheit des abgeschiedenen Kornes wird bei Versuchen mit einem NKB-Feuchtegehalt von $U_{\text{NKB}} = 15 \%$ erreicht. Bei diesem Feuchtegehalt werden die Spreupartikel nicht so

leicht wie bei trockenem Gut abgeschieden. Höhere Feuchtegehalte der NKB verursachen eine kompaktere Gutmatte und erschweren dadurch den Korndurchgang, so daß trotz einer geringeren NKB-Abscheidung die Reinheit wegen der noch geringeren Kornabscheidung wieder zurückgeht.

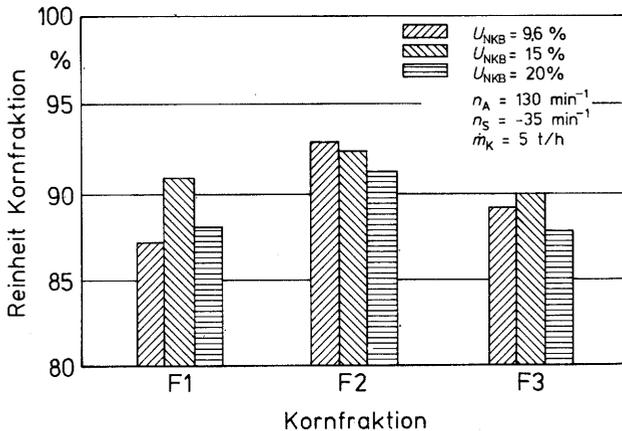


Bild 74 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit unterschiedlichem NKB-Feuchtegehalt.

5.6.3. Zusammensetzung des NKB-Anteils

Um den Einfluß einer Reduzierung des Spreuanteiles des Gutes auf die Abscheideleistung des Planetentrommelsortierers zu untersuchen, wurden Versuche mit einer simulierten Vorreinigungsstufe durchgeführt.

Der Spreuanteil des Versuchsgutes wurde vor den Untersuchungen in einem getrennten Separationsprozeß verringert. Durch einen mehrmaligen Durchgang des Versuchsgutes durch eine Siebtrommel mit einem Sieblochdurchmesser von 8 mm wurde die Halmlängensklasse des Versuchsgutes (0-2 cm) stark reduziert. Bei dem als Vorreinigungsstufe angewandten Verfahren wurde von dem zugeführten Gut ein Massenanteil von 43,4 % getrennt. Der Rest

wurde als Versuchsgut für die Untersuchung verwendet. Die Zusammensetzung dieses Versuchsgutes, die als NKB(*) bezeichnet wird, ist im Bild 75 dargestellt (vergl. Bild 11).

Mit dem spreuarmeren Gut NKB(*) wurden Versuche bei verschiedenen Ausleger- und Siebtrommeldrehzahlen bei konstanter Auslegerlänge und konstantem Durchsatz durchgeführt. Das Korn-NKB-Verhältnis wurde wie bei vorherigen Versuchen um 80:20 gehalten.

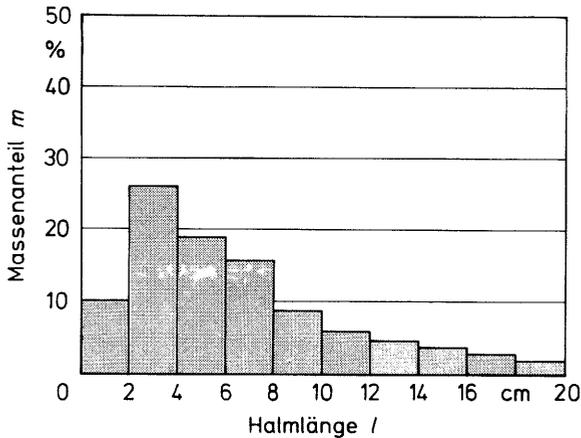


Bild 75 : Halmlängenverteilung nach der Behandlung mit der Vorreinigungstufe.

Bild 76 zeigt den Verlauf des Kornverlustes in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit drei unterschiedlichen Auslegerdrehzahlen (s. Seite 99).

Der Verlauf der Kornverlustkurve zeigt eine große Ähnlichkeit zu den Versuchsergebnissen mit normalem Versuchsgut (vgl. Bild 23). Die Abscheideleistung des Verfahrens wird von der NKB-Zusammensetzung weniger beeinflusst als vom NKB-Anteil des zu trennenden Gutes.

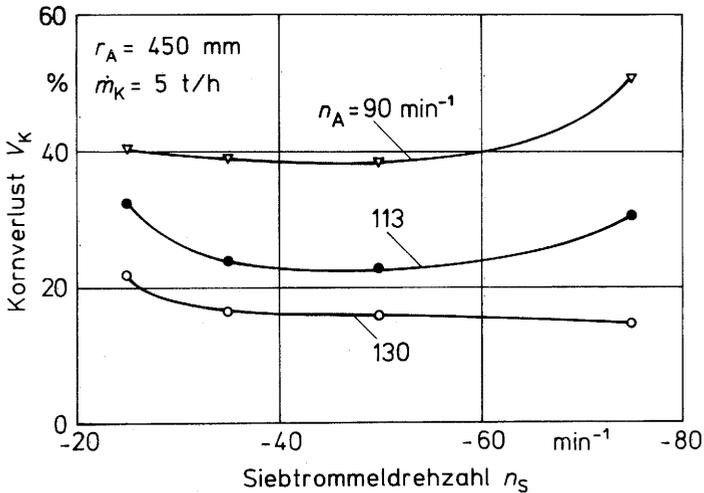


Bild 76 : Kornverlust in Abhängigkeit von der Siebtrommeldrehzahl bei Versuchen mit spreuarmem Versuchsgut NKB(*)

Im Gegensatz hierzu wird die Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit spreuarmem Versuchsgut NKB(*) deutlich besser. Bild 77 (s. Seite 100) zeigt einen Vergleich der Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit normalem und spreuarmem Versuchsgut.

Die prozentuale Reinheit des abgetrennten Kornes wird bei Versuchen mit der Korn-NKB(*)-Mischung um ca. 5 %-Punkte gegenüber Standard-Versuchen verbessert. Die Verbesserung der Fraktionsreinheit mittels einer Reduzierung des Spreuanteils wird durch die während der Versuche auftretende Strohzerkleinerung in der Siebtrommel begrenzt.

Die Reduzierung des Spreuanteils des Gutes hat eine direkte Wirkung auf die Reinheit der Kornfraktionen aber praktisch keine auf die Kornverluste.

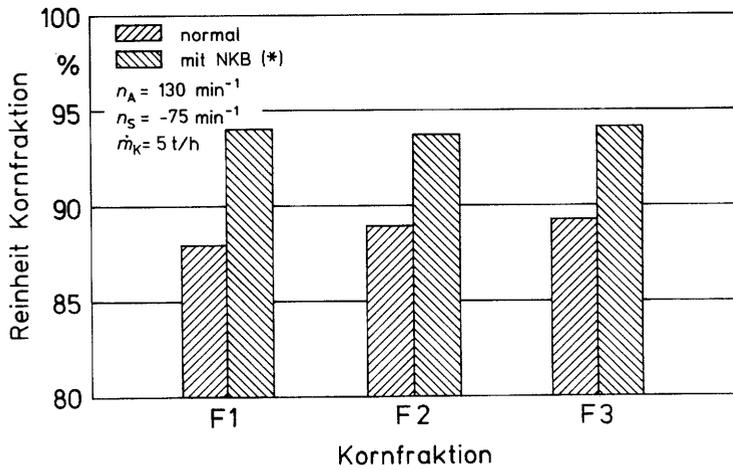


Bild 77 : Reinheit der Kornfraktionen bei Versuchen mit normalem und spreurem Versuchsgut NKB(*).

6. Zusammenfassung der Untersuchungen

Mit den am Planetentrommelsortierer durchgeführten Versuchen wurde der Einfluß von Geometrie, mechanischer Auflockerung, Axialbewegung des Gutes, pneumatischer Auflockerung und Guteigenschaften auf die Abscheideleistung des Verfahrens untersucht. Anhand der Ergebnisse konnten wichtige Eigenschaften dieses rotierenden Trennverfahrens festgestellt werden. Im folgenden Abschnitt werden die Versuchsergebnisse der untersuchten Parameter zusammengefaßt und diskutiert.

Leistungsbedarf

Für den Maschinenantrieb wurden bei der Messung des Leistungsbedarfs wesentlich höhere Werte als bei konventionellen Reinigungsanlagen ermittelt. Hierbei sollte beachtet werden, daß der untersuchte Planetentrommelsortierer nicht für den industriellen Einsatz entwickelt wurde. Es handelt sich um einen vielseitig einstellbaren Prüfstand mit leistungsstarkem Motorantrieb und mit einer einzigen Separationstrommel. Unter solchen Bedingungen ist der Wirkungsgrad bzw. die Abscheideleistung gegenüber traditionellen Trennverfahren noch zu niedrig.

Der Leistungsbedarf des Planetentrommelsortierers bei Leerlauf von 2,7 kW und der Verlauf der Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von Siebtrommel- und Auslegerdrehzahl sowie der Einfluß des Guteinlaufes sollten als Anhaltspunkte für die zukünftige Entwicklung einer leistungsfähigen Maschine dienen. Eine Mehrtrommelmaschine mit angepaßtem Motorenantrieb und verbesserter Gutzuführung wäre eine Möglichkeit.

Gutzuführung

Die Untersuchung einer exzentrischen Gutzuführung in der Siebtrommel hat gezeigt, daß die Beschickung und die Gut-

nierenbildung im oberen Teil der Siebtrommel einen großen Einfluß auf die gesamte Abscheideleistung des Trennverfahrens hat. Die verbesserte Gutzuführung hat bei allen untersuchten Drehzahleinstellungen Senkungen der Kornverluste von bis zu 20 %-Punkten bewirkt. Die bezogene Kornabscheidung der Fraktion 1 konnte von $K_L = 19,5 \text{ \%/100 mm}$ auf $K_L = 26,0 \text{ \%/100 mm}$ (Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$; Siebtrommeldrehzahl $n_S = -35 \text{ min}^{-1}$; Durchsatz $\dot{m}_K = 5 \text{ t/h}$) erhöht werden.

Mehr als 50 % des gesamten abgeschiedenen Kornes wird in den ersten 200 mm der Sieblänge abgeseibt. Durch eine größere aktive Siebfläche im Bereich der Einlaufzone kann die Gutzuführung schon am Siebtrommelanfang erreicht und die Abscheideleistung optimiert werden.

Geometrie

Der Einfluß der Geometrie auf die Kornabscheidung in dem Planetentrommelsortierer wurde bei verschiedenen Ausleger- und Siebtrommelradien untersucht. Beide Parameter bestimmen die mögliche Anzahl von Siebtrommeln und die äußeren Abmessungen der Maschine.

Die Versuchsergebnisse zeigen einen deutlichen Vorteil der größeren Abmessungen, bei denen geringere Kornverluste erreicht werden. Von den untersuchten drei Siebtrommeldurchmessern ($d_S = 300, 400$ und 600 mm) und den drei Auslegerlängen ($r_A = 150, 265$ und 450 mm) wird die beste Kornabscheidung bei $d_S = 600 \text{ mm}$ und $r_A = 450 \text{ mm}$ erreicht. Größere Radien erzeugen höhere Beschleunigungen und damit stärkere Fliehkräfte auf das Gut, die den Separationsvorgang des Kornes unterstützen.

Diese Abmessungen der Ausleger- und Siebtrommelradien legen die maximale Anzahl der Siebtrommeln in der Maschine auf 3 fest. Durch diese Bedingungen ist der Durchsatz beim derzeitigen Bauraum auf $\dot{m}_K = 15 \text{ t/h}$ begrenzt.

Die Untersuchung größerer Auslegerlängen (höhere Fliehkräfte) und mehrerer Trommeln (höherer Durchsatz) könnte die Möglichkeit einer industriellen Anwendung des Planetentrommelsortierers verwirklichen.

Mechanische Auflockerung

Die mechanische Auflockerung des Gutes in der Siebtrommel wurde mittels zweier verschiedener Einbauten untersucht.

Keilförmige Auflockerungselemente bewirken eine kräftige Störung der Gutmatte im Siebwandbereich. Die starke Auflockerung im oberen Bereich der Siebtrommel ist für die Kornabscheidung nicht vorteilhaft. Die frühe Zerstörung der Gutniere führt zu einer geringeren Kornabscheidung in Fraktion 1 und 2.

Die Auflockerungswirkung wird in der Fraktion 3 positiver, die Durchdringung des Kornes durch den höheren und stark verdichteten NKB-Anteile des Gutes im unteren Siebtrommelbereich wird durch eine starke Auflockerung verbessert.

Eine mechanische Auflockerung in der Siebtrommel mit keilförmigen Auflockerungselementen zeigt nur bei sehr verdichteter Gutmatte und bei höherem NKB-Anteil eine positive Wirkung auf die Kornabscheidung des zu trennenden Gutes. Als Nebenwirkung steigt auch die NKB-Abscheidung.

Schneckenförmige Auflockerungselemente bewirken im inneren Bereich der Gutniere eine nicht zu starke Störung der Gutmatte. Gleichzeitig findet ein Fördereffekt des Materials statt, der von der Steigung der Auflockerungselemente und der Siebtrommeldrehzahl bestimmt wird. Nur von Auflockerungselementen mit einer starken Förderung nach unten wird eine Verringerung der Kornverluste erreicht.

Der Einsatz von Auflockerungselementen mit Fördereffekt im inneren Bereich der Gutniere stellt die Axialgutbewegung und

die Kornabscheidung bei höchster Beschleunigungswirkung sicher. Bei hoher Auslegerdrehzahl und niedriger Siebtrommeldrehzahl treten die höchsten Beschleunigungen auf. Unter diesen Bedingungen wird die Kornabscheidung unterstützt.

Axialgeschwindigkeit

Die Axialgeschwindigkeit des Gutes ist abhängig von Sieb- und Auslegerdrehzahl. Hohe Ausleger- und niedrige Siebtrommeldrehzahlen bewirken hohe Fliehkräfte und hierdurch eine Gutverdichtung und eine größere Reibung zwischen Gut und Sieb, die eine langsamere Axialgutbewegung in der Siebtrommel verursacht. Für die untersuchten Drehzahleinstellungen wurden Werte von $v_{Ax} = 0,55$ bis $2,36$ m/s gemessen.

Die Abscheideleistung des Planetentrommelsortierers zeigt keine direkte Abhängigkeit von der Axialgeschwindigkeit des Gutes. Bei unterschiedlichen Drehzahleinstellungen wurden gleiche Axialgeschwindigkeiten des Gutes, aber sehr unterschiedliche Abscheideleistungen ermittelt.

Die Verweildauer in der Siebtrommel betrug bei unterschiedlichen Einstellungen $0,42$ bis $1,98$ s. Eine langsamere Gutbewegung und damit eine längere Verweildauer verursachen eine Verlagerung des zu trennenden Gutes und eine höhere Siebbelastung. Das bedeutet nicht unbedingt höhere Kornverluste. Die Kornabscheidung wird von größeren Fliehkräften, sowie von höheren Reibkräften und langsamerer Gutbewegung in der Siebtrommel gefördert. Bei zunehmenden Beschleunigungen gibt es einen Punkt, von dem ab die Reibungskräfte die Axialgutbewegung behindern und die Kornverluste wieder steigen. Bevor diese Drehzahleinstellung erreicht wird, werden die niedrigsten Kornverluste ermittelt (z.B. bei Auslegerdrehzahl $n_A = 130 \text{ min}^{-1}$ und Siebtrommeldrehzahl $n_S = -75 \text{ min}^{-1}$).

Die Untersuchung des Einflusses der Axialgeschwindigkeit des Gutes auf die Kornabscheidung wurde durch verschiedene

Förderschnecken durchgeführt. Diese Einbauten stellen eine kontrollierte Gutförderung in der Siebtrommel sicher. Dabei treten unerwünschte Nebenwirkungen auf. Die Förderung oder Verzögerung der Gutbewegung durch eine an der Siebwand befestigte offene Schnecke verdichtet das Material in Axialrichtung und stört die Gutnierenbildung. Dieser Effekt bewirkt eine Senkung der Kornabscheideleistung.

Eine Kontrolle der Axialgeschwindigkeit des Gutes durch offene Schnecken sollte in einem Bereich durchgeführt werden, in welchem keine Behinderung des Kontaktes zwischen Gut und Siebwand stattfindet. Nur eine Berührung des inneren Gutnierenbereiches durch Einbauten wird als sinnvoll betrachtet, um keine Verschlechterung der Abscheideleistung in der Siebtrommel zu bewirken.

Pneumatische Auflockerung

Die Auflockerung der Gutmatte mit einer Luftströmung und ihre Wirkung auf die Abscheidung und Reinheit des Kornes wurde mit einer Drucklufteinrichtung im oberen Bereich der Siebtrommel untersucht. Für die Versuche wurden unterschiedliche Luftströmungsgeschwindigkeiten in einem bestimmten Siebbereich der Fraktion 1 untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, daß mit einer örtlich begrenzten, kräftigen Luftströmung, die nur auf den Siebbereich der Fraktion 1 gewirkt hat, erhebliche Senkungen der Kornverluste bei praktisch allen Einstellkombinationen erreicht werden. Die selektive Wirkung der Luftströmung auf die unterschiedlichen Bestandteile des Gutes ermöglicht eine Auflockerung der Gutmatte, ohne die Körner an der Durchdringung der Siebwand zu hindern.

Die Reinheit des abgeschiedenen Kornes wird ebenfalls positiv von der pneumatische Auflockerung beeinflußt. Für die durchgeführten Versuche mit einem sehr engen Wirkungsbereich der

Luftströmung wurden erhebliche Reinheitsverbesserungen ermittelt.

Die Anwendung der pneumatischen Auflockerung für die Verbesserung der Kornabscheidung erscheint gegenüber den anderen untersuchten Verfahren am aussichtsreichsten. Die mit pneumatischer Auflockerung erreichte Senkung der Kornverluste und die gleichzeitige Zunahme der Reinheit des abgeschiedenen Kornes konnte mit mechanischen Einrichtungen nicht erreicht werden. Die Untersuchung einer auf die gesamte Sieblänge verteilten Auflockerungsluftströmung verspricht für die Weiterentwicklung des Verfahrens positive Ergebnisse.

Stoffeigenschaften

Die Ergebnisse der untersuchten Parameter Korn-NKB-Verhältnis und Gutfeuchtigkeit haben gezeigt, daß die Abscheideleistung des Verfahrens sehr von der Gutmischung und weniger von der Gutfeuchtigkeit abhängig ist.

Die Reduzierung des NKB-Anteils des Gutes verursacht deutliche Unterschiede in der Kornabscheidung. Die Verringerung des NKB-Anteils um 50 % bewirkt eine deutliche Verbesserung der Abscheideleistung, die den Kornverlust bei bestimmten Drehzeleinstellungen unter 2 % bringt.

Der Einfluß der Gutfeuchtigkeit auf die Trennleistung des Verfahrens ist wie bei konventionellen Reinigungsanlagen deutlich. Eine Zunahme der NKB-Feuchte wirkt sich nachteilig auf die Kornabscheidung aus.

Dagegen verbessert sich die Reinheit der abgeschiedenen Körner bei eine Zunahme der NKB-Feuchte bis $U_{NKB} = 15$ %. Bei einer weiteren Erhöhung der NKB-Feuchte sinkt die Reinheit durch die geringere Kornabscheidung wieder ab.

Die simulierte Vorreinigungsstufe hat die Abscheideleistung

des Planetentrommelsortierers nicht beeinflußt. Die Reduzierung des Spreuanteils des Versuchsgutes verursachte bei der untersuchten Einstellkombination keine ermittelbare Änderung des Kornverlustes im Vergleich zu Versuchen mit normalem Gut. Im Gegensatz hierzu wird die Reinheit der abgeschiedenen Körner deutlich verbessert.

Durch eine vorgeschaltete Reinigungsstufe am Planetentrommelsortierer kann aber trotzdem nicht die Reinheitsqualität von konventionellen Reinigungsanlagen erreicht werden. Da dieses zur Zeit ein rein mechanisches Verfahren ist und während seines Einsatzes durch kräftige Gutbewegungen eine Zerkleinerung des Stroh verursacht, wird die Reinheit der abgeschiedenen Körner dadurch negativ beeinflußt. Nur durch eine Kombination mit einer pneumatischen Reinigung könnte dieser interne mechanische Effekt kompensiert werden.

Aus diesen Versuchen und Ergebnissen können einige wichtige Aussagen abgeleitet werden:

- Das Verfahren muß für eine Verbesserung der Kornabscheidung und der Reinheit eine pneumatische Auflockerungs- und Trennunterstützung haben.
- Eine mechanische Gutförderung in der Siebtrommel mit Auflockerungswirkung kann die Axialgutbewegung bei Einstellungen mit sehr hohen Fliehkräften sichern und die Kornabscheidung unterstützen.
- Der Einsatz einer Vorreinigungsstufe, die den Spreuanteil des Gutes und die gesamte NKB-Belastung des Trennverfahrens reduziert, kann die Abscheideeffizienz, die Reinheit der abgeschiedenen Körner und die Durchsatzleistung des Planetentrommelsortierers verbessern.

7. Zusammenfassung

Der erhöhte Kurzstrohanteil moderner Hochleistungsmähdrescher mit rotierenden Dresch- und Trennelementen und der Wunsch nach einer hangunabhängigen Reinigungsanlage macht die Entwicklung und Untersuchung neuer Separationsverfahren zur Korn-Spreu-Stroh-Trennung notwendig. Als eine Alternative zu den konventionellen Flachsieb-Reinigungsanlagen wurde der Planetentrommelsortierer untersucht. Die theoretischen Grundlagen und erste Versuchsergebnisse wurden bereits von Grobler in einer vorhergehenden Arbeit veröffentlicht.

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung des Arbeitsverhaltens und des Einflusses verschiedener Parameter auf die Trenneigenschaften dieses Verfahrens.

Das theoretische Funktionsprinzip des Planetentrommelsortierers wurde erläutert und der Aufbau des Prüfstandes und die Versuchsdurchführung beschrieben. Der Leistungsbedarf des Planetentrommelsortierers wurde unter verschiedenen Arbeitsbedingungen ermittelt und sein Verlauf in Abhängigkeit von Ausleger- und Siebtrommeldrehzahl analysiert. Die Axialgeschwindigkeit des Gutes in der Siebtrommel wurde ermittelt und die sie beeinflussenden Faktoren beschrieben.

Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter auf die Trenneigenschaften des Verfahrens wurden zahlreiche Versuche durchgeführt. Die Gutzuführung und ihr Einfluß auf die Gutnierenbildung in der Siebtrommel und auf die Kornabscheidung wurde untersucht. Durch eine Optimierung der Anordnung des Zulaufrohres wird eine deutlich höhere Trennleistung erreicht.

Die Ausleger- und Siebtrommelgeometrie wurde bezüglich ihres Einflusses auf die Kornabscheidung und Reinheit des abgeschiedenen Kornes untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine klare Erhöhung der Trennleistung bei den größten Abmessungen von Auslegerlänge und Siebtrommelradius.

Die charakteristische Gutanlagerung in der Siebtrommel (Gutniere) ist einerseits Voraussetzung für die Arbeitsweise dieses Trennverfahrens, beeinträchtigt andererseits aber den Korndurchgang durch die unzureichend aufgelockerte Gutschicht. Zur Verbesserung der Gutauflockerung wurden keil- und schneckenförmige Auflockerungselemente eingesetzt. Die Wirkung dieser mechanischen Auflockerung in der Siebtrommel ist bei höheren Fliehkräften und Gutverdichtungen vorteilhaft.

Mit Hilfe schneckenförmiger Leitelemente (Förderschnecken) wurde der Zusammenhang zwischen Axialgeschwindigkeit und Schichtdicke bzw. Verweildauer des Gutes in der Siebtrommel gezielt beeinflusst. Bei der mechanischen Kontrolle der Axialgutbewegung am Siebrand treten unerwünschte Nebenwirkungen auf, die zu einer verminderten Trennleistung des Verfahrens führen.

Es wurde ein pneumatisches Verfahren zur Unterstützung der Gutauflockerung und des Separationsprozesses entwickelt und eingesetzt. Die mit Hilfe von Düsen und Druckluft erzeugte Luftströmung im oberen Bereich der Siebtrommel hat trotz einer kleinen Wirkungszone einen deutlichen und positiven Einfluß auf die Abscheideleistung und Reinheit des abgeschiedenen Kornes gezeigt.

Der Einfluß der Guteigenschaften auf die Abscheideleistung und Reinheit des abgeschiedenen Kornes des Verfahrens wurde untersucht. Erwartungsgemäß haben die Ergebnisse von Versuchen mit feuchtem NKB-Anteil gezeigt, daß die Trennleistung des Planetentrommelsortierers mit zunehmendem Feuchtegehalt des Nichtkornbestandteiles absinkt.

Den relevanten Einfluß des NKB-Anteiles an dem Versuchsgut auf die Abscheideleistung wurde mit unterschiedlichen Korn-NKB-Verhältnissen untersucht. Durch eine Reduzierung des NKB-Anteils in dem zu trennenden Gut wurde eine deutliche Erhöhung der Kornabscheidung erreicht. Eine Halbierung der NKB-Belastung führt zu einer Reduzierung des Kornverlustes um 80%.

Die Zusammensetzung des NKB-Anteils wirkt sich hauptsächlich auf die Reinheit des abgeschiedenen Kornes aus. Eine Verringerung der Spreubelastung im NKB-Anteil des Versuchsgutes verursacht keine Verbesserung der Kornabscheidung, aber eine sehr positive Erhöhung der Reinheit.

Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern einen Beitrag für die Auslegung und Verbesserung von rotierenden Trennverfahren, die nach dem Planetentrommel-Prinzip arbeiten.

8. Literaturverzeichnis

- [1] KUTZBACH, H.D.: Entwicklung der Erntemaschinen-Mähdrescher. Festschrift 25 Jahre VDI-Fachgruppe Landtechnik, Düsseldorf (1983).
- [2] BUSSE, W.: Mechanisierung der Getreideernte -Revolution für die Kornkammern der Welt. VDI-Berichte (1981) 407. S. 19-26.
- [3] KUTZBACH, H.D.: Verbesserung der Stofftrennung im Mähdrescher. Sammelschrift anlässlich des 30.Jahrestages der Gründung der Fakultät für Agrartechnik in Prag (1982). S. 227-240 Bd. 1.
- [4] FREYE, Th.: Untersuchungen zur Trennung von Korn-Spreu-Gemischen durch die Reinigungsanlage des Mähdreschers. Diss. Uni. Hohenheim (1980). MEG H.47.
- [5] HERBSTHOFER, F.J.: Wo stehen wir im Mähdrescherbau und wie geht es weiter? Grundlagen der Landtechnik 24 (1974) Nr. 3, S. 94-102.
- [6] KUTZBACH, H.D.: Mähdrescher auf der DLG 1984. Landtechnik 39 (1984). H. 7/8, S. 324-326.
- [7] NOACK, C. u. H. JÖRNS: Tendenzen in Mähdrescher-Entwicklung - Mähdrescher Fortschritt E517. Agrartechnik 7 (1988), S. 291-295.
- [8] KUTZBACH, H.D.: Verringerung der Körnerverluste bei Mähdreschern im Hangeinsatz. Landtechnik 40 (1985). H. 6, S. 278-280.
- [9] GUBSCH, M.: Probleme des Mähdreschereinsatzes in Hanglagen. Deutsche Agrartechnik, 17. Jg., (1967), H. 6, S. 248-250.

- [10] FREYE, Th. u. H.D. KUTZBACH : Verminderung der Körnerverluste von Mähdrescher-Reinigungsanlagen im Hangbetrieb durch Regelung des Luftstroms. Grundlagen der Landtechnik 29 (1979) H. 4, S. 540-543.
- [11] HEMKER, H.: Hangunempfindliche Reinigungseinrichtung für Mähdrescher durch dynamischen Hangausgleich 3-D. VDI - 43.Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig (1985), S. 143-144.
- [12] KUTZBACH, H.D.: Körnerfruchternte. Jahrbuch Agrartechnik 1988. Herausgeber : H.J. Matthies u. F. Meier. Maschinenbau Verlag, Frankfurt. S. 91-95.
- [13] PFAHLER, K.: Einfluß der Hangneigung auf Verluste und Verfahrenstechnik bei der Getreideernete. Landtechnik 6, (1986) S. 276 u. 281-283.
- [14] DIEKHANS, N.: Automatisierung am Mähdrescher. Grundlagen der Landtechnik 35 (1985) Nr. 4, S. 111-118.
- [15] ARTMANN, R. u. R. BILLER : Elektronik in der pflanzlichen Produktion. Teil II : Verteilarbeiten und Erntearbeiten. DLG-Manuskript 072, April (1986).
- [16] BERNER, D. u. H. GROBLER : Gesteuerte adaptive Regelung einer Mähdrescher-Reinigungsanlage. Grundlagen der Landtechnik, Bd. 36 (1986) Nr.3, S. 73-78.
- [17] GRAEBER, E.: Automatisierung am Mähdrescher. Landtechnik 6 (1975), S. 265-272.

- [18] BÖTTINGER, S. u. H.D. KUTZBACH : Verminderung des Bedienungsaufwandes und Steigerung des Durchsatzes von Mähdreschern durch Einsatz elektronischer Einrichtungen. XXII.Internationaler Kongreß der Landarbeitswissenschaften (CIOSTA/CIGR V) Universität Hohenheim (1986), S. 195-200.
- [19] MICHEL, B.: Lösungsansätze zur Automatisierung der Mähdrescherreinigung. Dresdener Landtechnisches Kolloquium, Technische Universität Dresden (1986) Teil II, S. 105-112.
- [20] KUTZBACH, H.D.: Dresch- und Trennsysteme neuer Mähdrescher. Landtechnik 6 (1983). S. 226-230.
- [21] GROBLER, W.H. u. P. WACKER : Neue Dresch- und Trennsysteme in Mähdreschern. DLG-Manuskript. 063 (1984).
- [22] BUCHANAN, J.C. u. W.H. JOHNSON : Functional characteristics and analysis of a centrifugal threshing and separating mechanism. Trans. of the ASAE Bd. 7 (1964) Nr. 4, S.460-463 u. 468.
- [23] SRIVASTAVA, A.K., M.Y. HAMDY, G.L. NELSON, W.L. ROLLER u. S.G. HUBER : Centrifugal grain-straw separation: Part I - Theoretical analysis, Part II - Experimental investigations. Trans. of the ASAE 17 (1974) Nr.2, S. 198-204.
- [24] SAIJPAUL, K.K., L.O. DREW, S.G. HUBER, C.D. JONES u. W.L. ROLLER : Testing the concept of an integral separator and cleaner unit for a combine. Trans. of the ASAE 20 (1977) Nr. 2, S. 243-247.
- [25] SAIJPAUL, K.K., S.G. HUBER, L.O. DREW u. C.D. JONES : Combine separation and cleaning device-design concepts. Trans. ASAE Bd. 19 (1976) Nr. 6, S. 1025-1033.

- [26] PARK, J.K.: Vertical rotation screens for separating seeds from thrashy materials. ASAE-Paper No. 72-639 (1972).
- [27] PARK, J.K. u. J.E. HARMOND : A vertical rotating separator. ASAE-Paper No. 66-614 (1966).
- [28] PEDERSEN, H.J.: Grain separation by cylindrical screens rotating with oscillating angular velocity. Royal Veterinary and Agricultural University of Copenhagen, Yearbook (1971), S.221-239.
- [29] LONG, J.D., M.Y. HAMDY u. W.M. JOHNSON : A study of the effects of centrifugal force upon wheat separation. ASAE-Paper No. 67-629 (1967).
- [30] GRINKOV, Yu.V. u. M.K. CHEREPAKHIN : Centrifugal-vibrational method of separating granular materials. Mekhanizatsiya i elektifikatsiya Sotsialisticheskogo Sel'skogo Khozyaistva (Moskau) Bd. 16 (1958) Nr. 5, S. 23-25 (orig. russ.).
- [31] GONCHAROV, E.S. u. A.A. VASILENKO : Centrifugal-vibrational method of grain separation. Vestnik Sel'skochozjajstvennoj Nauki (Moskau) Bd. 8 (1963) Nr. 14 (orig. russ.).
- [32] ZABELTITZ, Chr.: Möglichkeiten der Fliehkraftsiebung Aufbereitungs-Technik Nr. 12 (1972), S.764-766.
- [33] Prospekte der Firma DAMAS Maskinfabrik (Denmark): Reinigungs- und Sortiermaschine SIGMA TS.
- [34] GONZALEZ OLIVA, A.M. u. W.H. GROBLER : Untersuchung zum Einsatz eines Planetentrommelsortierers zur Korn-Spreu-Trennung. VDI - 45.Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig (1987), S. 75-77.

- [35] GROBLER, W.H.: Untersuchungen zur Korn-Stroh-Trennung mit überlagerten Beschleunigungen im Planetentrommel-sortierer. Diss. Uni. Stuttgart (1987). MEG H.140.
- [36] SCHUBERT, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Bd. I, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1975).
- [37] KANTOROWITSCH, S.B.: Chemiemaschinen. VEB Verlag Technik Berlin (1970).
- [38] Test Bericht Nr. 150 : Labor-Untersuchungen an einer Mähdrescher-Reinigungsanlage. Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim (1984).
- [39] PERSSON, S.: Eigenschaften des Reinigungsgutes in Mähdreschern. Landtechnische Forschung 5, Völkenrode (1957), S.41-45.
- [40] BECK, Th.: Arbeitsbericht zum DFG-Forschungsvorhaben DFG-Ku 480/4-1 (1987-1988), Universität Hohenheim, (1988).
- [41] PRAGER, A.: Theoretische und experimentelle Untersuchung der Abscheidfunktion am Planetentrommel-sortierer. Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Hohenheim (1984).
- [42] KEUNEKE, K.: Fluidisierung und Fließbettförderung von Schüttgütern kleiner Teilchengröße. VDI-Forschungsheft 509, VDI-Verlag Düsseldorf (1965).
- [43] MATTHIES, H.-J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungsheft 454. VDI-Verlag Düsseldorf (1956).

- [44] v. ZABELTITZ, Chr.: Über das Trennen von Körpern verschiedener Dichte in einem Fließbett.
Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, (1966) Nr.3.
- [45] DAMM, J.: Der Sortiervorgang beim luftdurchströmten Schwingsieb. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 3,
(1972) Nr 37.

Lebenslauf

Abel Martin González Oliva

- 1957 Geboren am 21. Juli 1957 in Buenos Aires, Argentinien als 3. Kind von Arturo González Oliva und Martha Pellerano de González Oliva.
- 1962 - 1969 Besuch der Grundschule "Antonio Schettino" und Aufbauschule "Antonio Zinny" in Buenos Aires.
- 1970 - 1976 Besuch des technischen Gymnasiums E.N.E.T. Nr. 9 in Buenos Aires.
- 1977 - 1984 Studium der Allgemeinen Agrarwissenschaften an der Universität Buenos Aires.
- 1984 - 1985 Fertigung der Diplomarbeit am Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim. Anschließend Beendigung des Studiums an der Universität Buenos Aires mit dem Abschluß als Dipl.-Ing.agr.
- 1986 - 1988 Wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

