

FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK

des Arbeitskreises Forschung und Lehre der

Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG)

321

Johannes Kahrs

Untersuchungen zur pneumatischen Aufnahme von Unkrautsamen

Dissertation

Hohenheim 1998

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

**Untersuchungen zur pneumatischen Aufnahme
von Unkrautsamen**

Dissertation

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

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Johannes Kahrs
aus Alfstedt

Hohenheim 1998

Die vorliegende Arbeit wurde am 12.06.1997 von der Fakultät IV - Agrarwissenschaften II, Agrarökonomie, Agrartechnik und Tierproduktion - der Universität Hohenheim als Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung	:	11.12.1997
Dekan	:	Prof. Dr. Th. Jungbluth
Berichterstatter, 1. Prüfer	:	Prof. Dr.-Ing. H. D. Kutzbach
Mitberichterstatter, 2. Prüfer	:	Prof. Dr. K. Hurlé
Beisitzer	:	Prof. Dr. S. Kleisinger

D 100

ISSN 0931-6264

Copyright 1998

im Selbstverlag Johannes Kahrs

Bezugsquelle: Institut für Agrartechnik
Universität Hohenheim
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart

Alle Rechte, auch die der Übersetzung und des Nachdruckes sowie jede Art der photo-mechanischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Grundlagen der Landtechnik des Institutes für Agrartechnik an der Universität Hohenheim.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H. D. Kutzbach, der diese Arbeit angeregt und wissenschaftlich betreut hat, gilt mein besonderer Dank. Prof. Kutzbach förderte, nicht zuletzt durch sein entgegengebrachtes Vertrauen, die Selbständigkeit bei der Durchführung dieses Forschungsprojektes.

Herrn Prof. Dr. Hurlle danke ich für die Durchsicht der Arbeit und für die Übernahme des Mitberichts.

Besonders zu schätzen weiß ich die fachkundige Unterstützung und Hilfsbereitschaft bei Konstruktion und Aufbau der Meßeinrichtung durch Herrn Obergeringenieur Klaus Lutz, Mitarbeitern der Werkstatt und der Meßtechnik. Allen Beteiligten sei herzlich gedankt.

Dieser Dank gilt auch den Technischen Assistentinnen Elke Wörner und Britta Schmidt, deren Mithilfe bei den Untersuchungen und Auswertungen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Desweiteren möchte ich den zahlreichen wissenschaftlichen Hilfskräften für ihre Einsatzbereitschaft und ihr Durchhaltevermögen bei den Feldversuchen danken (Danke Eva).

Die Zeit am Institut hat mich nicht nur fachlich, sondern auch persönlich weitergebracht. Hierzu hat der freundschaftliche Umgang miteinander und die konstruktive Kritik untereinander besonders beigetragen. Stellvertretend für alle meine Kollegen seien an dieser Stelle die Herren Dr.-Ing. Martin Büermann und Dipl.-Ing. Heinrich Schneider erwähnt, die in allen Lebenslagen immer ein offenes Ohr für mich hatten.

Hohenheim, im Januar 1998

Johannes Kahrs

Formelzeichen	7
1 Einleitung	11
2 Problemstellung und Lösungsansatz	13
2.1 Bedeutung der Unkrautbekämpfung für die Getreideproduktion	13
2.2 Bisherige Untersuchungen zum Einsatz des Mähdeschers zur Behandlung von Unkrautsamen	17
3 Bisherige Untersuchungen zur pneumatischen Aufnahme	19
3.1 Historischer Überblick	19
3.2 Pneumatische Aufnahme von Erntegütern	20
4 Theoretische Grundlagen der Aufsaugung	23
4.1 Kräfte am liegenden Samenkorn	23
4.2 Luftgeschwindigkeit zur pneumatischen Aufnahme von Samen	26
4.2.1 Luftgeschwindigkeit zur Lösung von Samen	26
4.2.2 Luftgeschwindigkeit zur Aufnahme der Samen	30
4.3 Lage des Samens an der Bodenoberfläche	33
5 Aerodynamische Eigenschaften unterschiedlicher Unkrautsamenarten	35
5.1 Schwebeverhalten	35
5.2 Aufsaugverhalten von Unkrautsamen	40
5.3 Vergleich der aerodynamischen Eigenschaften	42
6 Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung	44
6.1 Beschreibung der Versuchseinrichtung	44
6.1.1 Messung des Luftdurchsatzes	47
6.1.2 Kalibrierung der Meßdüse	47
6.1.3 Messung des statischen Drucks	50
6.1.4 Kalibrierung der Drucksensoren	50
6.1.5 Messung der Überfahrgeschwindigkeit	51
6.2 Meßwerterfassungssystem	52
6.3 Versuchsdurchführung	53
6.3.1 Versuchsgut	53
6.3.2 Versuchsmethodik	54
6.3.3 Versuchsauswertung	57
6.4 Untersuchte Saugdüsen und Saugdüsen-Kombinationen	60
6.4.1 Beschreibung der Saugdüsen	60

6.5 Messung der Bodenrauheit	66
6.5.1 Methoden zur Erfassung der Oberflächengestaltung	66
6.5.2 Charakterisierung der Versuchsflächen	69
7 Versuchsergebnisse	73
7.1 Luftströmungsprofile unter den Saugdüsen	73
7.2 Versuche auf Beton-Fahrbahn	81
7.2.1 Einfluß des Luftdurchsatzes und des Abstands	81
7.2.2 Einfluß der Luftleistung und des Abstands	82
7.2.3 Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit	83
7.2.4 Einfluß der Gummidichtlippen	84
7.3 Versuche auf landwirtschaftlichen Flächen	86
7.3.1 Einfluß der Versuchsbedingungen	86
7.3.1.1 Einfluß der Rauheit der Bodenoberfläche	86
7.3.1.2 Einfluß des Bodenfeuchtegehaltes	87
7.3.1.3 Einfluß einer Befeuchtung	89
7.3.1.4 Einfluß des Versuchsjahres	92
7.3.2 Einfluß des Abstands von der Bodenoberfläche	96
7.3.3 Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit	99
7.3.4 Einfluß der Gummidichtlippen	104
7.3.5 Einfluß der Düsegestaltung und des Luftdurchsatzes	106
7.3.6 Untersuchungen über das Aufsaugverhalten kombinierter Saugdüsen	112
7.3.6.1 Druckluft-Saugluft-Kombination	112
7.3.6.2 Walzenbesen-Saugluft-Kombinationen	116
7.3.6.2.1 Einfluß der Drehzahl des Walzenbesens	116
7.3.6.2.2 Einfluß der Beborstung des Walzenbesens	118
8 Zusammenfassung und Ausblick	120
9 Literaturverzeichnis	122
Anhang	

Formelzeichen

a	m/s^2	Beschleunigung
a_i	-	Regressionskoeffizient
A_R	m^2	Fläche des Ansaugrohres
A_S	m^2	angeströmte Fläche des Samens
$b_{Dü}$	mm	Saugdüsenbreite
b_i	Pa	Regressionskonstante
c_W	-	Luftwiderstandsbeiwert
F_a	N	Beschleunigungskraft
F_A	N	Strömungskraft der Luft
F_{AD}	N	Adhäsionskraft
F_{ADx}	N	Adhäsionskraft in x-Richtung
F_{ADy}	N	Adhäsionskraft in y-Richtung
F_G	N	Gewichtskraft
F_N	N	Normalkraft
f_R	-	Haftreibungsbeiwert
F_R	N	Haftreibungskraft
F_S	N	Strömungskraft der Luft
F_W	N	Luftwiderstandskraft
g	$9,81 m/s^2$	Erdbeschleunigung
h	mm	Abstand
i	-	Anzahl der Wiederholungen
k	kg/m	Samenkonstante
l	cm	Meßlänge
l_E	mm	wirksame Länge der Saugdüse
l_S	mm	Länge der Saugdüse
m	-	Öffnungsverhältnis der Meßdüse
m_{Bo}	t	aufgenommene Bodenmasse
\bar{m}_{Bo}	t/ha	bezogene aufgenommene Bodenmasse
\dot{m}_{ED}	kg/s	Luftmassendurchsatz an der Einlaufdüse
m_{Ges}	t	aufgenommene Gesamtmasse
\bar{m}_{Ges}	t/ha	bezogene aufgenommene Gesamtmasse

\dot{m}_{MD}	kg/s	Luftmassendurchsatz an der Meßdüse
m_s	kg	Samenmasse
m_{Sa}	t	aufgenommene Samenmasse
m_{Sa0}	t	ausgelegte Samenmasse
m_{St}	t	aufgenommene Stoppelrestmasse
\bar{m}_{St}	t/ha	bezogene aufgenommene Stoppelrestmasse
n	1/min	Drehzahl des Walzenbesens
P_i	Pa	Druck an der Stelle i
P_{st0}	Pa	statischer Druck an der Meßdüse
P_{st1}	Pa	Druckabfall an der Saugdüse
p_{st11}	Pa	Druckabfall an der Saugdüse, bestimmt mit Sensor 11
p_{st12}	Pa	Druckabfall an der Saugdüse, bestimmt mit Sensor 12
P_{st2}	Pa	statischer Druck an der Meßstelle 2
p_{st21}	Pa	statischer Druck an der Meßstelle 2, bestimmt mit Sensor 21
p_{st22}	Pa	statischer Druck an der Meßstelle 2, bestimmt mit Sensor 22
P_L	kW	Luftleistung
\bar{P}_L	kW/m	bezogene Luftleistung
r^2	-	Regressionskoeffizient
R_a	mm	arithmetischer Mittenrauhwert
R_s	mm	Standardabweichung des arithmetischen Mittenrauhwertes
s	m	überfahrene Saugstrecke
t	s	Zeit
t_d	d	Lagerungsdauer
U_{Bo}	%	Bodenfeuchtegehalt
U_i	V	Spannung
$v(t)$	m/s	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t
v_F	m/s	Überfahrgeschwindigkeit
v_L	m/s	Luftgeschwindigkeit
v_{La}	m/s	Luftgeschwindigkeit zur Aufnahme des Samens
v_{LS}	m/s	Schwebegeschwindigkeit
\bar{V}_{DL}	$m^3/s \cdot m$	bezogener Luftdurchsatz der Druckluft
V_i	m^3/s	Luftdurchsatz an der Stelle i
V_L	m^3/s	Luftdurchsatz

\bar{V}_L	m ³ /s·m	bezogener Luftdurchsatz
Z	%	Aufsaugegrad
Δp	Pa	Wirkdruck an der Normdüse
Δp_i	Pa	Druckabfall an der Stelle i
Δp_{01}	Pa	Druckabfall an der Meßdüse, bestimmt mit Sensor 01
Δp_{02}	Pa	Druckabfall an der Meßdüse, bestimmt mit Sensor 02
α	-	Durchflußzahl
ϵ	-	Expansionszahl
ρ_L	kg/m ³	Luftdichte

1 Einleitung

In der Landwirtschaft verstärkt sich der Trend zu immer größeren Erntemaschinen, insbesondere bei Mähdreschern [1]. Die Vergrößerung der landwirtschaftlichen Betriebe und ein zunehmend überbetrieblicher Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen hat diese Entwicklung gefördert.

Eine schnelle, schlagkräftige Ernte ist nicht immer das einzige Ziel bei der Getreideernte. Auch Erntegutqualität und Vermeidung der Überlastung einer Maschine, zur Verhinderung von Schäden, nehmen bei der Getreideernte einen hohen Stellenwert ein [2]. Es gibt weitere Ansätze, den Mähdrescher so einzusetzen, daß bei der Getreideernte weitere Arbeitsschritte bereits in bzw. an der Erntemaschine durchgeführt werden.

Während der Ernte mit dem Mähdrescher wird heute schon eine Ertragskartierung durchgeführt [3]. Dazu wird der Mähdrescher durch ein Ortungs-, ein Korndurchsatzmeß- und ein Datenerfassungssystem ergänzt. Die gewonnenen Daten können zur teilflächenspezifischen Bearbeitung von landwirtschaftlich genutzten Flächen herangezogen werden [4]. Eine umweltverträglichere Landbewirtschaftung durch pflanzengerechte Düngung und eine wesentliche Einsparung an Herbiziden zur Bekämpfung von Unkräutern erscheint dadurch möglich [5].

Zusätzlich kann die Erntearbeit mit dem Mähdrescher für die Unkrautbekämpfung genutzt werden. Die Unkrautbekämpfung, bzw. die Beeinflussung der Unkrautpopulation beim Mähdrusch kann mit unterschiedlichsten Geräten und Einrichtungen durchgeführt werden. Zur Unkrautbekämpfung ist die direkte Applikation von Pflanzenschutzmitteln auf Unkrautpflanzen mit einer angebauten Spritze geeignet [6]. Eine indirekte Beeinflussung der Unkrautpopulation ist durch die Saat einer Sommerzwischenfrucht bei der Ernte möglich [7 - 9], wodurch ein Konkurrenzpflanzenbestand zu keimenden Unkräutern aufgebaut wird.

Insbesondere in biologisch wirtschaftenden Betrieben sollte die Erntearbeit mit dem Mähdrescher aus ökonomischen und ökologischen Gründen genutzt werden, um Unkrautsamen von der Ackerfläche zu entfernen und damit dem Unkrautsamenvorrat des Bodens zu entziehen. Eine Möglichkeit ist die Sammlung der bei der Getreideernte auf der Bodenoberfläche liegenden Unkrautsamen.

Eine Einrichtung zur Sammlung von Unkrautsamen kann unter dem Schneidwerk eines Mähdreschers angebracht werden, denn dort liegen die Samen auf der Bodenoberfläche und wurden nicht von den Reifen des Mähdreschers in den Boden gedrückt.

Unbekannt sind bisher geeignete Konstruktionsformen von Aufnahmeaggregaten zur Aufnahme von Unkrautsamen. Auch verfahrenstechnische Kennzahlen fehlen. Diese Kenntnisse sind notwendig, um praxistaugliche Einrichtungen für die Landwirtschaft entwickeln zu können. Nur ein Aufsammlerverfahren, das zuverlässig und mit geringem Input einsetzbar ist und problemlos arbeitet, kann sich in der landwirtschaftlichen Praxis durchsetzen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden spezielle Saugeinrichtungen für die pneumatische Aufnahme von Unkrautsamen untersucht. Unter unterschiedlichen Versuchsbedingungen wurden Saugdüsen in Feldversuchen und auf einer Beton-Fahrbahn eingesetzt. Dabei wurden Untersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Parameter auf die pneumatische Aufnahme durchgeführt. Abschließend findet eine Bewertung der Aufnahmeeigenschaften der Saugdüsen statt.

2 Problemstellung und Lösungsansatz

2.1 Bedeutung der Unkrautbekämpfung für die Getreideproduktion

Beim Anbau von Getreidekulturen ist Unkraut das Hauptproblem der Landbewirtschaftung. Unkrautbekämpfung ist deshalb die zentrale pflanzenbauliche Maßnahme bei der Führung eines Bestandes zur Sicherung der Getreideerträge. Unkraut führt nicht nur direkt zu einer Ertragsdepression, sondern erschwert auch durch seine Anwesenheit bei der Getreideernte den Ernteprozess. Maschinenschäden, Verstopfungen und die Ernte von nicht marktfähigem Getreide sind unerwünschte Folgen. Deshalb wurden in Deutschland schon zu Beginn des Mähdeschereinsatzes unkrautfreie Getreidebestände gefordert, um eine mühelose Getreideernte zu ermöglichen [10].

Beim Getreideanbau sind neben den sich vegetativ vermehrenden Unkräutern wie *Agropyron repens* (Gemeine Quecke) und *Cirsium arvense* (Acker-Kratzdistel) besonders die sich generativ vermehrenden Unkrautarten von Bedeutung. In Getreidekulturen gehören zu diesen sich über Samen verbreitende Arten besonders *Avena fatua* (Flughäfer), *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz), *Apera spica-venti* (Windhalm) und *Galium aparine* (Klettenlabkraut). *Galium aparine* rankt um Getreidepflanzen, es kommt in einem Getreidebestand zu einer Teppichbildung, die den Ernteprozess stark behindert. Schon bei geringen Pflanzendichten kann es zu Erntestörungen kommen. Als Schadenschwelle wurde die geringe Anzahl von 0,1 Pflanzen pro Quadratmeter festgestellt [11].

Avena fatua, *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* sind Ungräser, die in Getreidekulturen nur mit relativ hohen Kosten chemisch bekämpft werden können. Im weiteren treten bei diesen Unkrautarten inzwischen verstärkt Herbizidresistenzen auf [12], so daß eine Bekämpfung durch die verringerte Auswahl an wirksamen Pflanzenschutzmitteln zusätzlich erschwert wird.

Samen dieser Pflanzen können sich über viele Jahre im Boden halten, wodurch dem Bodenvorrat an Unkrautsamen eine wichtige Bedeutung für die Verunkrautung bzw. das Verunkrautungspotential einer landwirtschaftlich genutzten Fläche zukommt. *Alopecurus myosuroides* z.B. ist im Boden noch nach einer Lagerungsdauer von 11 Jahren keimfähig. Im Durchschnitt kann von einer Keimfähigkeit der im Boden lagernden Samen von mehreren Jahren ausgegangen werden [13].

Die Zusammensetzung von Unkrautpopulationen und damit indirekt des Unkrautsamenvorrates im Boden hängt von den Unkrautbekämpfungsmaßnahmen [14], der Fruchtfolge [15], der Bodenbearbeitung [16], der Düngung und der Ernte der Kulturfrüchte ab [13].

Schon zu Beginn der Anwendung des Mähdrusches in Deutschland zeigten sich Wechselwirkungen zwischen den Ernteverfahren und dem Unkrautbestand [17]. Eine zusätzliche Verbreitung von Unkrautsamen durch den Mähdrusch wurde vermutet [18].

Nach einer Zusammenstellung von FOGELFORS [19], keimen bei Getreidekulturen von einem durchschnittlichen Gesamtbestand von 50 000 Unkrautsamen je Quadratmeter Fläche in einem Jahr ca. 30 % der Samen, **Bild 1**. Die Hälfte dieser Keimlinge erreicht nicht die Bodenoberfläche und stirbt schon vor dem Auflaufen ab. Von den übrigen 15 %, die auflaufen, produzieren 5 % Samen.

Von der gesamten produzierten Samenmenge liegen bei der Getreideernte schon 40 % auf der Bodenoberfläche. Von den restlichen 60 % gelangen 35 % in den Korntank. Die übrigen 25 %, die sich in 3 % Aufnahmeverluste, 3 % Schüttlerverluste, 14 % Reinigungsverluste und 5 % Verluste an den Restpflanzen im Stoppel aufteilen, gelangen wieder auf das Feld. Somit verbleiben 65 % der produzierten Samenmenge nach der Getreideernte auf dem Feld.

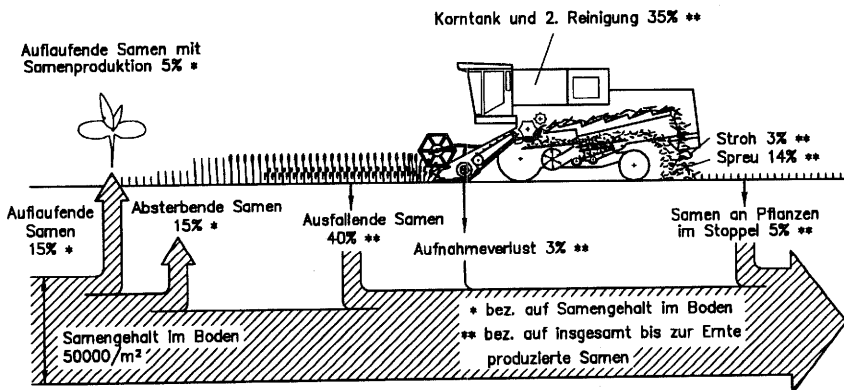


Bild 1: Verteilung der Unkrautsamen in einem Getreidefeld, geändert nach [19]

Arbeiten von PETZOLDT [17] zeigen, daß ein Teil der Unkrautpflanzen ihre Samen größtenteils schon vor der Getreideernte abwerfen. **Tabelle 1** zeigt anhand einer Literaturübersicht für vier wichtige Unkräuter im heutigen Getreideanbau die Anteile der vor der Ernte abgeworfenen Samen.

Unkrautart	Samenausfall bis zur Getreideernte [%]	Autor
<i>Alopecurus myosuroides</i> (Ackerfuchsschwanz)	ca. 60 68-93 95 65-75	PETZOLDT [17] DOLLINGER [20] MOSS [21] KOCH/HURLE [22]
<i>Apera spica-venti</i> (Windhalm)	ca. 70 95-100	PETZOLDT [17] KOCH/HURLE [22]
<i>Avena fatua</i> (Flughäfer)	71-95 ca. 90 98 65-95	DOLLINGER [20] PETZOLDT [17] KOCH [13] KOCH/HURLE [22]
<i>Galium aparine</i> (Klettenlabkraut)	20-40 ca. 40	KOCH/HURLE [22] PETZOLDT [17]

Tabelle 1: Samenausfall vor der Getreideernte einiger ausgewählter Unkrautarten

Ungräser wie *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti* und *Avena fatua* werfen bis zur Getreideernte 60 bis 100 % der produzierten Samenmenge ab. Eine Verschiebung der Mähdruschernte um einige Tage wirkt sich dabei stark auf den Samenausfall aus [17], denn die zusätzliche Zeit bewirkt ein weiteres Aussamen der reifen Unkrautpflanzen. Dies ist auch ein Grund, weshalb die Werte der einzelnen Autoren schwanken. *Galium aparine* hat mit 40 % der produzierten Samenmenge einen etwas geringeren Vorernteausfall. Aufgrund der niedrigen Schadensschwelle ist es wichtig, von dieser Pflanze möglichst viele Samen und damit zukünftige Pflanzen einer Ackerfläche zu entziehen.

Die Verteilung der Unkrautsamen auf der Ackerfläche ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Der Vorernteausfall von Samen führt zu einer Verbreitung der Unkrautsamen in der Nähe der Pflanzen. Sind Unkrautpflanzen ganzflächig verteilt, werden auch die Unkrautsamen, die durch Vorernteausfall auf den Boden gelangen, ganzflächig verteilt sein. Bei früh aussamenden Unkrautarten bestimmt somit die Verteilung der Unkrautpflanzen die Verteilung der Samen.

Anders ist das bei Samen, die durch den Mährescher gelangen und zusammen mit dem Reinigungsübergang, bzw. dem Schüttlerübergang wieder ausgeschieden werden. Ist kein Spreuverteiler bzw. Häcksler mit Verteiler eingebaut und eingeschaltet, so werden Unkrautsamen hinter dem Mährescher auf Maschinenbreite konzentriert abgelegt [23, 24].

WARTENBERG [24] zeigt in Untersuchungen zur Unkrautverteilung nach der Ernte mit einem Mährescher (Arbeitsbreite 6 m), daß eine streifenweise Konzentration von Unkrautpflanzen nach der Getreideernte in nachfolgenden Feldkulturen stattfindet. Es wurden bei diesen Untersuchungen Unkrautdichten bis über 1500 Pflanzen pro Quadratmeter gefunden, **Bild 2**. Die Flächen konzentrierter Unkrautpflanzendichten deckten sich mit den Streifen der Spreublage.

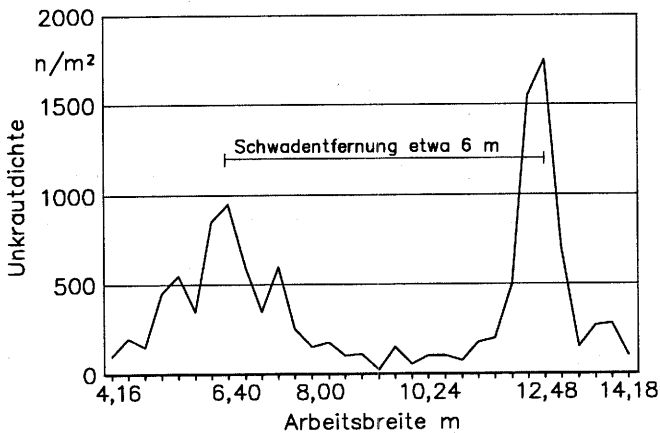


Bild 2: Unkrautverteilung nach der Ernte mit einem Mährescher E516 [24]

Es kann festgestellt werden, daß das Mähdruschverfahren in der heutigen Zeit zu einer Selektion auf Unkrautarten mit früh ausfallenden Samen führt. Leichte Unkrautsamen werden mit dem Reinigungsübergang wieder auf dem Feld streifenweise abgelegt. Diese Unkrautarten werden dadurch in ihrer Verbreitung durch das Mähdruschverfahren begünstigt.

2.2 Bisherige Untersuchungen zum Einsatz des Mähdreschers zur Behandlung von Unkrautsamen

Der Mähdrescher wurde schon seit Beginn seines Einsatzes in Deutschland auch als kombiniertes Erntegerät genutzt. Anfang der 50er Jahre war es üblich, den Mähdrescher mit einer zusätzlichen Einrichtung zur Sammlung der Spreu einzusetzen [25]. Die in der Spreu bzw. dem Reinigungsübergang enthaltenen Unkrautsamen wurden so von den landwirtschaftlich genutzten Flächen entfernt. Die Ernte der Spreu diente jedoch hauptsächlich zu Fütterungszwecken und nicht der Unkrautbekämpfung.

In den 70er und 80er Jahren wurde in Schweden die Ernte der Spreu wieder aufgegriffen [26]. Der Mähdrescher wurde dazu mit einer Einrichtung versehen, die den Reinigungsübergang auf das Strohschwad ablegt. Wieder stand der Fütterungszweck der Spreu im Vordergrund, aber die so auf das Strohschwad abgelegten Unkrautsamen in der Spreu konnten beim Aufsammeln des Strohs leicht mit entfernt werden.

Untersuchungen zur Änderung der Reinigungseinstellung des Mähdreschers zur Sammlung von Unkrautsamen wurden von WACKER [27] durchgeführt. Hierzu wurden der Reinigungswind der Reinigungsanlage im Mähdrescher und die Sieböffnungen variiert. Ohne Reinigungswind und bei Verwendung eines Drahtsiebes anstatt eines Lamellensiebes, konnte die Sammlung von Samen von *Sonchus sp.* (Gänse Distel) von 37 % auf 88 % erhöht werden. Das Untersieb wurde ausgebaut. Das Erntegut im Korntank wurde durch diese veränderte Reinigungseinstellung feuchter und besaß eine geringe Schüttdichte, da feuchte Spreu mit in den Korntank gelangte. Die verringerte Schüttdichte verkürzte weiterhin das Abtankintervall. Eine sofortige stationäre Nachreinigung des Getreides wurde notwendig, um das Erntegut lagerfähig zu halten, damit es sich nicht an der mitgeernteten Spreu weiter befeuchtete.

Von BALSARI et al. [28] wurde ein Mähdrescher zur Reisernte so umgebaut, daß unter dem Dreschkorb zwei Siebe mit 3 mm Lochdurchmesser angebracht wurden. Durch das Sieb abgesehene feine Unkrautsamen wurden einer Hammermühle zugeführt und direkt im Mähdrescher zerstört. Durch diese Maßnahme wurden bis zu 80 kg Unkrautsamen je Hektar gesammelt und zerstört. Das wieder ausgetragene zermahlene Samenmaterial besaß nur noch eine sehr geringe Keimfähigkeit. Die Keimfähigkeit von *Echinochloa sp.* (Hirse) konnte durch Zermahlen um bis

zu 99 % gesenkt werde. Die Siebe unter dem Dreschkorb setzten sich jedoch teilweise sehr schnell zu, so daß die Siebe durch andere Siebkombinationen ersetzt werden mußten. Das Konzept für diese Art der Unkrautsamenabtrennung wurde in Deutschland bereits 1957 patentiert [29].

Der Einsatz von Hammermühlen auf dem Mähdrescher zur Behandlung von Spreu und Unkrautsamen wurde 1985 patentiert [30]. Die Reinigungsanlage eines Mähdreschers wird durch ein zusätzliches Sieb und eine Förderrinne ergänzt. Das gesammelte Material wird einer Schlagmühle zugeführt. Durch Verwendung eines Gebläses an der Schlagmühle werden die zerstörten Unkrautsamen mit der Spreu wieder auf das Feld ausgetragen.

Ähnliche Einrichtungen zur Behandlung der Unkrautsamen wurden schon 1949 in den USA patentiert [31]. Hierbei handelte es sich um eine Einrichtung, die am Ende des Obersiebes den Reinigungsübergang einer Einrichtung zur Zerstörung der Unkrautsamen zuführt.

Auch Mähdrescherhersteller wie CLAAS [32] ließen sich Einrichtungen zur Behandlung von Spreu patentieren. Zum Einsatz gelangten sie entweder nicht oder nur in sehr geringen Stückzahlen.

Zur Zeit wird die Spreu beim Mähdruschverfahren möglichst breitflächig verteilt. Hierzu werden Spreuverteiler angeboten. Deren Einsatz wurde durch die Verwendung großer Schneidwerksbreiten an Mähdreschern notwendig, denn eine konzentrierte Ablage der Spreu führte zu Problemen bei der Bodenbearbeitung im Anschluß an die Getreideernte.

3 Bisherige Untersuchungen zur pneumatischen Aufnahme

3.1 Historischer Überblick

Die Idee, Getreidekörner und Ähren von der Bodenoberfläche pneumatisch aufzunehmen, ist nicht neu. Eine durch Pferde gezogene Maschine zur Straßenreinigung wurde schon 1892 durch SÖRENSEN [33] für die pneumatische Aufnahme zur Sammlung von "Getreidekörnern und Ähren vom Acker, Staub und Schmutz von Straßen" patentiert. Das aufgebaute Sauggebläse an diesem Gerät wurde über ein Bodenrad angetrieben. Der Saugluftstrom zur Aufnahme von Partikeln wurde durch einen Druckluftstrom ergänzt. Der "Druckwind tritt so aus dem Mundstück aus, daß ein rotierender Luftstrom erzeugt wird, welcher die am Boden liegenden Teile anhebt". Hierdurch sollte eine bessere Saugwirkung erreicht werden.

Eine "Maschine zum Auflesen von Getreidekörnern, Unkrautsamen und dergleichen" wurde 1910 von BÖVING [34] zum Patent angemeldet. Als Antrieb für das Sauggebläse wurde ein Verbrennungsmotor verwendet. Als Aufnahmeorgan der Maschine diente wieder eine Düse mit Saug- und Druckluft. Dieses Gerät wurde im Einsatz durch eine Person geschoben. Eine Beschreibung über die Arbeitsqualität der beiden Maschinen liegt nicht vor.

Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen zur pneumatischen Aufnahme von Getreideähren aus dem Getreidestoppel liegen von FISCHER-SCHLEMM [35] vor. Er untersuchte in Hohenheim in den Jahren 1938-1940 in Labor- und Feldversuchen die pneumatische Aufnahme von nach der Ernte auf dem Boden liegenden Getreideähren und -körnern. Ziel war die Zuführung dieser Körner der menschlichen bzw. tierischen Ernährung. Serien-, bzw. Vorseriengeräte unterschiedlicher Hersteller [36, 37] wurden auf abgeernteten Getreidestoppeln zur Sammlung von Ähren eingesetzt. Diese Geräte besaßen eine Vielzahl einzelner Saugorgane anstelle einer einzelnen Saugdüse wie bei den oben beschriebenen Geräten. Auch eine Zuführung von Druckluft entfiel. Durch die Anbringung einzelner Saugrüssel war eine gute Bodenanpassung möglich. Kleine Rohrquerschnitte der einzelnen Saugrüssel neigten aber sehr leicht zu Verstopfungen, wodurch die Verfahrenssicherheit nicht immer gewährleistet war.

Laborversuche mit einer von FISCHER-SCHLEMM entwickelten Saugdüse zeigten ein gutes Aufnahmevermögen bei einem Abstand von 50 mm zur Bodenoberfläche. Beim zusätzlichen

Einsatz von Druckluft bestand die Gefahr, daß aufzusaugende Körner verblasen wurden, und somit nicht aufgenommen werden konnten. Praxisversuche im Feld erbrachten aber auch mit der gegenüber den untersuchten Seriengeräten verbesserten Saugdüse keine befriedigenden Ergebnisse.

Bei Feldversuchen scheiterten die dargestellten Verfahren hauptsächlich am Eintreten der Samen in den Erdboden bei der Ernte durch Erntepersonal und Erntemaschinen. Bei lose aufgestreuten Samen ergaben sich bei einer Fahrgeschwindigkeit von 0,8 m/s Saugerfolge von 33 %. Der Boden- und Strohanteil war aber für eine Verwertung des aufgenommenen Materials zu Ernährungszwecken zu hoch.

Das Gesamtergebnis der Arbeiten von FISCHER-SCHLEMM zeigt, daß die Arbeitsleistung der eingesetzten Geräte im Geschwindigkeitsbereich zwischen 0,6 bis 0,8 m/s sehr gering war. Der Arbeitserfolg wurde als schlecht angesehen, besonders auf feuchten, lehmigen Böden. Das aufgesaugte Material bestand zum größten Teil aus unbrauchbarem Material wie Strohrefen und Bodenpartikeln und war folglich für die menschliche oder tierische Ernährung nicht geeignet.

Entwicklungen von Einrichtungen an Mähdreschern zur pneumatischen Aufnahme von Unkrautsamen aus den Getreidestoppeln wurden nach SPOKAS [38] in neuerer Zeit auch in der ehemaligen UdSSR durchgeführt. Sie wurden aufgrund von technischen Störungen nicht weiter verfolgt.

3.2 Pneumatische Aufnahme von Erntegütern

Die Entwicklung von Erntemaschinen zur Aufnahme von auf der Bodenoberfläche liegenden Früchten mit Hilfe von Saugluft begann in den USA. Dort wurde zuerst die Ernte von **Haselnüssen** durch pneumatische Sammelgeräte durchgeführt. PRICE und LUNDE [39] bauten 1945 Saugrüssel an eine Schlepperfront, an denen 400 mm breite Saugdüsen angebracht waren. Der Abstand der Saugdüsen von der Bodenoberfläche betrug ca. 25 mm. Die Gebläseleistung war allerdings so gering, daß selbst bei einer Fahrgeschwindigkeit von 0,66 m/s die Aufnahme der Haselnüsse nur ungenügend war. Verbesserungen der pneumatischen Aufnahme ergaben sich durch den Einsatz eines stärkeren Sauggebläses. Probleme traten bei der Ernte auf nassem

Untergrund auf, so daß eine Ergänzung der Saugdüsen durch Walzenbesen angeregt wurde. Um eine zufriedenstellende Aufnahme zu gewährleisten, mußte bei den verwendeten Düsenformen min-destens ein Luftdurchsatz von 1,5 m³/s pro Meter Arbeitsbreite eingestellt werden.

PARKS und FAIRBANK [40] untersuchten 1948 eine Reihe von Aufsammlermaschinen zur Ernte von **Mandeln**. Zur Realisierung einer guten pneumatischen Aufnahme wurden Einzeldüsenbreiten von ca. 500 mm verwendet. Der Abstand der Saugdüse vom Boden betrug 38 mm. Die einzelnen Saugdüsen wurden mittels Stützrollen am Boden geführt. Die Abscheidung der Mandeln aus dem Saugluftstrom erfolgte in großen Beruhigungskammern. Staub und feine Bodenpartikel wurden durch das Sauggebläse wieder ausgeblasen. Diese partikelbeladene Luft führte allerdings zu einem großen Verschleiß am Sauggebläse.

Weiterhin gab es Entwicklungen zur Ernte von **Pekaniüssen** [41]. Auch hier konnte bei der Ernte nur eine Fahrgeschwindigkeit von unter 0,5 m/s realisiert werden. Eine Walzenbürste zum Lösen der Nüsse von der Bodenoberfläche arbeitete unter allen Erntebedingungen gut, teilweise jedoch etwas zu aggressiv, so daß das Erntegut stark verschmutzt wurde. Bei feuchter Witterung neigten die Saugdüsen zu Verstopfungen.

In neuerer Zeit gibt es Untersuchungen zur pneumatischen Aufnahme von **Jojobasamen** von der Bodenoberfläche. Nach Angaben von COATES und LORENZEN [42] wird erstmalig 1984 von einer pneumatischen Erntemaschine für Jojobasamen berichtet. Die Nachteile der Maschinen mit Saugluft zur pneumatischen Aufnahme von Samen lagen u.a. in der geringen Ernteleistung und im hohen Leistungsbedarf. Weiterhin waren bis zu 85 % der aufgenommenen Masse nicht verwendungsfähige Bodenreste und Steine [43]. Eine Erntemaschine für Jojobasamen, welche mit Druck- und Saugluft arbeitete, untersuchten CARNEGIE und PURCELL [44]. Sie erzielten nach vier Überfahrten einen Auflesegrad von 90 %. Das Erntegut bestand zu 75 Vol. % aus Beimenungen. Für eine gute pneumatische Aufnahme wurden an den Saugdüsen Luftgeschwindigkeiten von 64-75 m/s gemessen. Auch diese Autoren berichten von Verstopfungsproblemen und einer starken Abnutzung der Gebläse.

Grundlagenuntersuchungen zur pneumatischen Aufnahme von Jojobasamen wurden von COATES und YAZICI durchgeführt [45]. Ziel der Laboruntersuchungen war es, theoretische Grundlagen für eine verbesserte Aufnahme von Jojobasamen bei gleichzeitig verringerter Aufnahme von Bodenmaterial zu erarbeiten. Sowohl der Einfluß von Druckluft als auch Saugluft auf die Bewegung von Jojobasamen und Steinen wurde untersucht. Eine verjüngte Saugdüse bei einem möglichst großen Abstand von der Bodenoberfläche stellte sich als günstig heraus. Zusätzliche Luftleitbleche zur Kanalisierung der Saugluft wirkten sich weiterhin positiv auf die Trennung zwischen Samen und Steinen aus. Die Saugdüse mit den besten Aufnahmeeigenschaften ist in **Bild 3** dargestellt. Zur Höhenführung der Saugdüse dienten Kufen. Bewegliche Klappen sollten ein Ansaugen von Fehlluft verhindern.

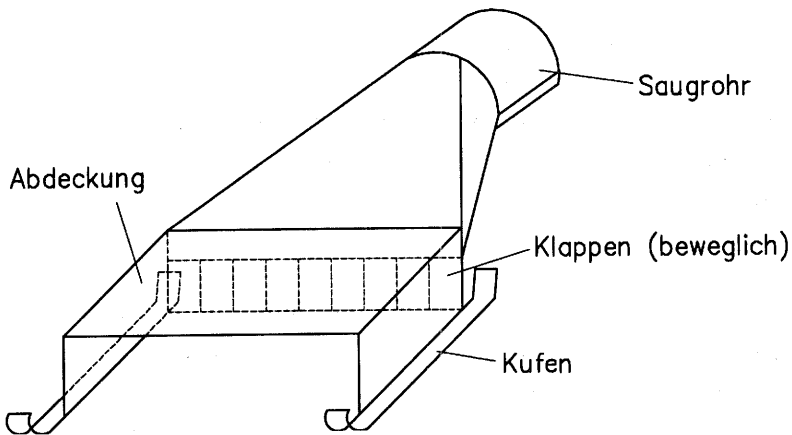


Bild 3: Empfohlene Saugdüse für die pneumatische Sammlung von Jojobasamen nach COATES und YAZICI [45]

Ziel der pneumatischen Nußernte ist immer eine möglichst gute Aufnahme des Erntegutes bei geringem Beimengungsanteil. Bei der pneumatischen Aufnahme von Unkrautsamen aus den Getreidestoppeln ist der Beimengungsanteil unwichtiger, vielmehr ist es wichtig, einen möglichst hohen Anteil an Unkrautsamen bei einem geringen Leistungsbedarf zu erfassen. Zusätzlich muß dieses Aufnahmeggerät bei gleicher Fahrgeschwindigkeit wie der Mähdescher arbeiten. Nur so ist ein Verfahren in Kombination mit der Getreideernte zu realisieren.

4 Theoretische Grundlagen der Aufsaugung

4.1 Kräfte am liegenden Samenkorn

Auf Samen, die auf der Bodenoberfläche liegen, wirken eine Vielzahl von Kräften ein. Je nach Bodenzustand und Samenart können diese Kräfte unterschiedliche Größenordnungen einnehmen. Zur Optimierung der Loslösung der Samen für eine pneumatische Aufnahme von der Bodenoberfläche ist eine Betrachtung dieser Kräfte notwendig.

Bild 4 zeigt schematisch die an einem auf dem Boden liegenden Samenkorn angreifenden Kräfte.

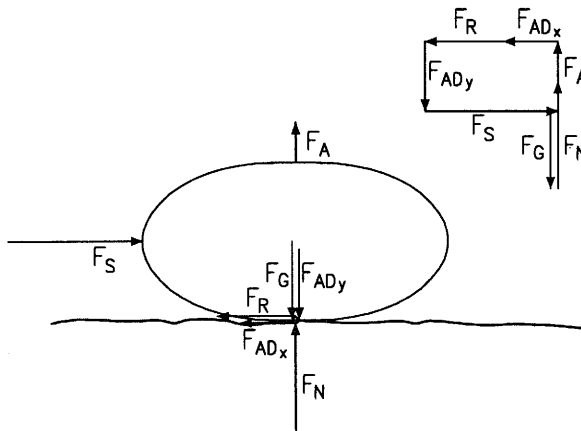


Bild 4: Kräfte an einem auf der Bodenoberfläche liegenden Samenkorn

Der durch die Luftströmung bewirkten Strömungskraft der Luft F_S wirken die Adhäsionskraft F_{ADx} in x-Richtung und die Haftreibungskraft F_R entgegen, Gl. (1). Sind diese Kräfte gleich groß, so befindet sich das Korn in einem Ruhezustand. Bei Erhöhung der Strömungskraft der Luft durch eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit v_L werden die Adhäsionskraft in x-Richtung und die Haftreibungskraft überwunden, und das Samenkorn wird horizontal beschleunigt.

$$F_S \geq F_{ADx} + F_R \quad (1)$$

In y-Richtung wirken auf das Korn einerseits die Gewichtskraft F_G und die Adhäsionskraft F_{ADy} in y-Richtung und diesen entgegen die Strömungskraft F_A und die Normalkraft F_N , Gl. (2). Ein

Samenkorn wird sich erst dann aus seiner stabilen Lage in y-Richtung beschleunigen, wenn die Strömungskraft größer als die Gewichtskraft ist. Zur Beschleunigung in y-Richtung muß die Strömungskraft der Luft größer als die Adhäsionskraft in y-Richtung sein, damit das Korn von der Bodenoberfläche abgelöst werden kann.

$$F_A + F_N \geq F_{AD,y} + F_G \quad (2)$$

Für die Loslösung eines auf dem Boden liegenden Samenkornes ist die Überwindung der Adhäsionskraft von entscheidender Bedeutung, insbesondere wenn das Samenkorn durch Oberflächenfeuchtigkeit eine sehr große Kontaktfläche zur Bodenoberfläche hat.

Adhäsionskräfte von Unkrautsamen am Boden

Adhäsionskräfte von Unkrautsamen am Boden wurden unter Laborbedingungen mit Samen von *Galium aparine*, *Alopecurus myosuroides* und *Avena fatua* bestimmt. Als Boden diente ein Lößlehm der Filderebene mit einem Anteil der Schlufffraktionen von 68,3 %. Der Tonanteil der anorganischen Fraktion betrug 22,9 %, **Tabelle 2**.

Fraktion	Humus	Sand	Schluff	Ton
Anteil [%]	3,8	5,0	68,3	22,9

Tabelle 2: Körnungsanalyse des verwendeten Bodenmaterials

Zur Messung der Adhäsionskräfte wurde eine Universalprüfmaschine Instron 4301 eingesetzt. Fäden aus Baumwolle wurden mit Schwanenheimer Industriekleber an Samen geklebt und diese anschließend auf die Bodenoberfläche in vorbereitete Probenbehälter aufgebracht [46]. Diese Fäden dienten bei der Bestimmung der Adhäsionskräfte zur Einspannung zwischen den Backen der Instron 4301. Die Samen wurden in ihrer Oberflächenbeschaffenheit durch das Ankleben nicht verändert. Jeder Zugversuch wurde 10-fach wiederholt.

Der Zusammenhang zwischen Bodenfeuchtigkeit und Adhäsionskraft ist in **Bild 5** dargestellt. Maximale Adhäsionskräfte treten bei Samen auf, die feucht auf die Bodenoberfläche gelegt

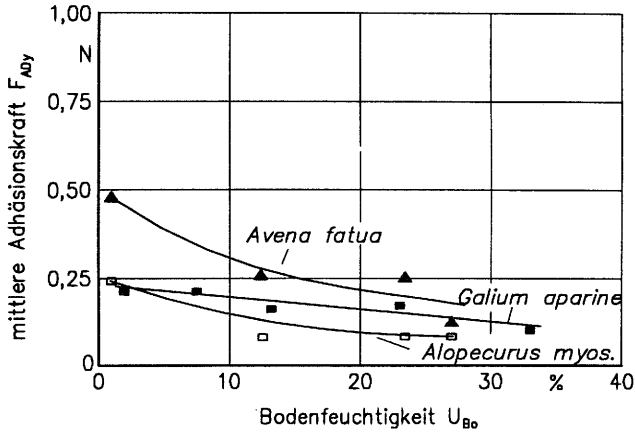


Bild 5: Einfluß der Samenart und der Bodenfeuchtigkeit auf die mittlere Adhäsionskraft ($i=10$) [46]

wurden und anschließend das Haftwasser durch Trocknung wieder entfernt wurde. Dieses simulierte den Witterungsverlauf zwischen Abfall des Samens von der Pflanze und Entfernen des Samens von der Erdoberfläche, insbesondere den morgentlichen Tau. Der Wechsel zwischen Trocknung und Befeuchtung der Samen bewirkte eine Einbindung des Samens in die Oberflächenstruktur des Bodens. So ist es zu erklären, daß einzelne Adhäsionskräfte bis 1 N gemessen wurden; das entspricht mehr als der tausendfachen Gewichtskraft eines Samenkorns. Durch die Mittelwertbildung der zehn Wiederholungen werden diese Extreme in den Bildern nicht dargestellt.

Im weiteren wurden Untersuchungen zum Einfluß der Lagerungsdauer des Samens auf der Bodenoberfläche auf die Adhäsionskräfte durchgeführt, **Bild 6**. Die aufgelegten Samen wurden unterschiedlich lange bei einer Bodenfeuchtigkeit von 30 % gelagert. Die Lagerung fand bei einer Temperatur von 4°C statt, damit die Samen nicht keimten. Untersucht wurden Lagerungsdauern bis zu 16 Tagen. Es zeigte sich, daß die Dauer der Lagerung keinen Einfluß auf die Adhäsionskräfte hat. Für Samen von *Alopecurus myosuroides* wurde eine mittlere Adhäsionskraft von 0,008 N sowohl nach einem, als auch nach 12 Tagen Lagerungsdauer ermittelt. Für Samen von *Galium aparine* und *Avena fatua* ergaben sich unabhängig von der Lagerungsdauer mittlere Adhäsionskräfte von 0,062 N bzw. 0,065 N.

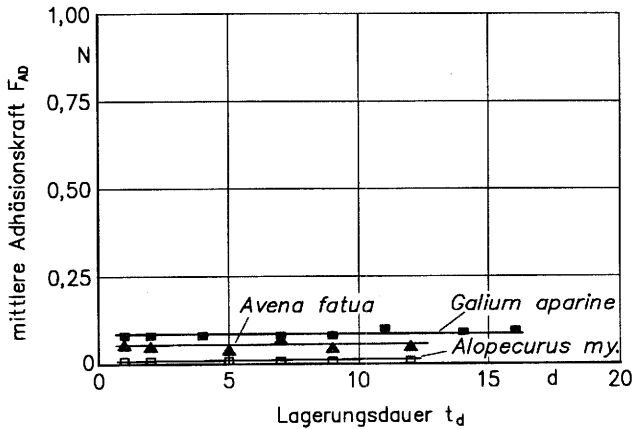


Bild 6: Einfluß der Samenart und Lagerungsdauer auf die mittlere Adhäsionskraft ($i=10$) [46]

Aus diesen Laboruntersuchungen kann der Schluß gezogen werden, daß der Einfluß der Lagerungsdauer der Unkrautsamen auf der Bodenoberfläche gegenüber den Feuchtigkeitsverhältnissen zu vernachlässigen ist.

4.2 Luftgeschwindigkeit zur pneumatischen Aufnahme von Samen

Die notwendige Luftgeschwindigkeit, um einen Samen pneumatisch aufzunehmen, ist von der Adhäsionskraft des Samens am Boden abhängig. Nach der Loslösung des Samens vom Boden muß der Same während der Überfahrt der Saugdüse in diese hinein beschleunigt werden, um aufgenommen zu werden.

4.2.1 Luftgeschwindigkeit zur Lösung von Samen

Die Strömungskraft F_S der Luft, die für die Bewegung von Samen entlang der Bodenoberfläche verantwortlich ist, setzt sich aus der angeströmten Fläche A_S , dem Luftwiderstandsbeiwert c_W , der Luftdichte ρ_L und der Luftgeschwindigkeit v_L zusammen, Gl. (3). Für turbulent umströmte

Körper ist die Luftwiderstandskraft F_W und damit die Strömungskraft F_S der Luft nach [47]:

$$F_W = c_w \cdot A_S \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_L^2 = F_S \quad (3)$$

Für den Fall, daß das Samenkorn sich ohne Adhäsionskräfte auf der Bodenoberfläche befindet, muß diese Luftwiderstandskraft die Reibungskraft überwinden, die sich aus der Gewichtskraft F_G evtl. vermindert um die Strömungskraft F_A und dem Haftreibungsbeiwert f_R berechnet. Für $F_A=0$ gesetzt gilt, Gl. (4):

$$F_W = F_G \cdot f_R \quad (4)$$

Aus den Gleichungen (3) und (4) errechnet sich die Luftgeschwindigkeit, bei dem sich ein Samenkorn aus dem Ruhezustand bewegt, Gl. (5).

$$v_L = \sqrt{\frac{F_G \cdot f_R \cdot 2}{c_w \cdot A_S \cdot \rho_L}} \quad (5)$$

Die angeströmte Fläche eines Samens kann aus den Grundabmessungen berechnet werden, **Tabelle 3**. Die Abmessungen sind der Literatur entnommen und geben nur die Durchschnittswerte wieder.

Samenart	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]
<i>Lolium perenne</i>	6,3	1,4	0,8
<i>Alopecurus myosuroides</i>	5,7	1,75	0,9
<i>Apera spica-venti</i>	2,4	0,7	0,35
<i>Avena fatua</i>	15,2	3,0	2,0
<i>Galium aparine</i>	3,25	2,75	2,25

Tabelle 3: Durchschnittliche Abmessungen einiger wichtiger Samenarten (nach [48])

Die beiden Extremwerte für die angeströmte Fläche einzelner Samenarten sind in **Tabelle 4** dargestellt. Zur Vereinfachung wurden die angeströmten Flächen als Rechteck aus den

Abmessungen berechnet. Der Wert A_s (l) bezieht sich auf eine Anströmung der Luft in Längsrichtung des Samens. Als Höchstwert ergibt sich die angeströmte Fläche bei Anströmung in Querrichtung zum Samen A_s (q). Für einen angenommenen Luftwiderstandsbeiwert $c_w=0,5$, einen Haftreibungsbeiwert $f_R=1$ und die Luftdichte $\rho_L=1,2 \text{ kg/m}^3$ ergeben sich für die Luftgeschwindigkeiten v_L die in Tabelle 4 dargestellten Extremwerte.

Bei Anströmung in Querrichtung des Samens ist für *Lolium perenne* eine Luftgeschwindigkeit im Bereich von 5,3 m/s notwendig, um den Samen an der Bodenoberfläche in Bewegung zu versetzen. Bei Anströmung in Längsrichtung wird dieser Samen erst bei einer Luftgeschwindigkeit von 11,3 m/s in Bewegung versetzt.

Für *Galium aparine* liegt diese Luftgeschwindigkeit fast unabhängig von der Anströmungsrichtung in einem sehr engen Bereich zwischen 5,3 und 6,9 m/s. Dieses hängt mit der kugelähnlichen Gestalt des Samens zusammen. *Alopecurus myosuroides* benötigt eine Luftgeschwindigkeit im Bereich von 3,4 bis 6,2 m/s. *Apera spica-venti* wird bei Luftgeschwindigkeiten ab 2,1 m/s zur Bewegung angeregt. Sehr hohe Luftgeschwindigkeiten sind erforderlich um *Avena fatua* in Bewegung zu versetzen, bei einer Anströmung in Längsrichtung sogar 11,2 m/s.

Samenart	A_s (l) [mm ²]	A_s (q) [mm ²]	v_L (l) [m/s]	v_L (q) [m/s]
<i>Lolium perenne</i>	1,1	5,0	11,3	5,3
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1,6	5,1	6,2	3,4
<i>Apera spica-venti</i>	0,25	0,8	3,8	2,1
<i>Avena fatua</i>	6,0	30,4	11,2	4,9
<i>Galium aparine</i>	6,2	7,3	6,9	5,3

Tabelle 4: Angeströmte Flächen und Luftgeschwindigkeiten zur Lösung von am Boden liegenden Samen

Diese theoretischen Betrachtungen zeigen, daß die Anströmungsrichtung einen starken Einfluß auf die notwendige Luftgeschwindigkeit zur Bewegung von Samen hat. Die Zahlenwerte der Tabelle 4 beziehen sich auf die durchschnittlichen Abmessungen der dargestellten Samen, große Abweichungen von diesen Werten können auftreten.

Wirken zusätzlich Adhäsionskräfte, so kann der Haftreibungsbeiwert f_R den Wert 1000 und darüber annehmen, [46]. Es wird eine sehr viel höhere Luftgeschwindigkeit zur Loslösung von an der Bodenoberfläche haftenden Unkrautsamen notwendig. Der Witterungsverlauf zwischen Abfallen des Samens von der Trägerpflanze und Absaugen der Bodenoberfläche durch eine pneumatische Sammeleinrichtung ist entscheidend für die Adhäsionskräfte und damit der Haftreibung. Ein Saugerfolg wird folglich sehr stark von den Witterungsparametern beeinflusst.

4.2.2 Luftgeschwindigkeit zur Aufnahme der Samen

Ist ein Samen an der Bodenoberfläche in Bewegung gekommen, so wird er vollkommen von Luft umströmt und durch pneumatische Förderung der Saugdüse zugeführt. Die Berechnung der Luftgeschwindigkeit v_{La} zur Aufnahme der Samen von der Bodenoberfläche wird hierzu theoretisch dargestellt.

Bild 7 zeigt die Bezeichnungen für die pneumatische Aufnahme von Samen durch eine Saugdüse. Für den Zuführprozeß des Samens zur Saugdüse steht die begrenzte Zeit t_{max} des Überstreichens zur Verfügung. Sie setzt sich aus der wirksamen Länge der Saugdüse l_E und der Überfahrgeschwindigkeit v_F zusammen, Gl. (6). Die wirksame Länge der Saugdüse ist länger als

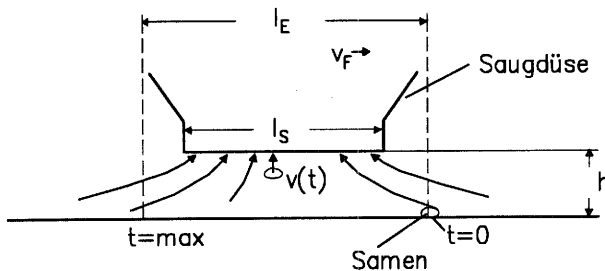


Bild 7: Bezeichnungen für die pneumatische Aufnahme

die Länge der Saugdüse l_S , da die Saugluft auch außerhalb der Außenkanten der Saugdüse über den Boden streicht und Partikel in Bewegung versetzen kann. Der Samen befindet sich zum Zeitpunkt $t=0$ in der Ruhelage auf der Bodenoberfläche und wird durch die strömende Luft in die Saugdüse hinein beschleunigt. Während der Zeit t_{max} muß der Samen um den Abstand h angehoben werden, um in die Saugdüse zu gelangen.

$$t_{max} = \frac{l_E}{v_F} \quad (6)$$

Für den Samen ergibt sich bei Einwirkung einer konstanten Strömungskraft F_A eine gleichförmige Beschleunigung a . Die notwendige Beschleunigung zur Überwindung des Abstands h bei Überfahrt der Saugdüse ergibt sich aus der Überfahrgeschwindigkeit v_F und der wirksamen Düsenlänge l_E , Gl. (7).

$$a = \frac{2 \cdot h}{l^2} = \frac{2 \cdot h \cdot v_F^2}{l_E^2} \quad (7)$$

Die Strömungskraft F_A ist bei Beschleunigung des Samens in y-Richtung gleich der Summe aus der Gewichtskraft F_G und der Beschleunigungskraft F_a , Gl. (8):

$$F_A = F_G + F_a \quad (8)$$

mit $F_G = m_s \cdot g$

und $F_a = m_s \cdot a$

Die Strömungskraft F_A kann auch aus der Luftdichte ρ_L , der Luftgeschwindigkeit v_L , dem Luftwiderstandsbeiwert c_W sowie der angeströmten Fläche A_s des Samens berechnet werden, Gl. (9). Luftdichte, angeströmte Fläche und Luftwiderstandsbeiwert können zur Samenkonstanten k zusammengefaßt werden.

$$F_A = c_W \cdot A_s \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_L^2 = k \cdot v_L^2 \quad (9)$$

mit $k = \frac{1}{2} \cdot c_W \cdot A_s \cdot \rho_l$

Eingesetzt in die Kräftebilanz, Gl. (8) ergibt sich Gl. (10):

$$k \cdot v_L^2 = m_s \cdot g + m_s \cdot a \quad (10)$$

mit Gl. (6), (7):

$$k \cdot v_L^2 = m_s \cdot g + m_s \cdot \frac{2 \cdot h \cdot v_F^2}{l_E^2} \quad (11)$$

Die unbekannte Samenkonstante k erhält man für den Schwebезustand des Samens im vertikalen Luftstrom, Gl. (12). Im Schwebезustand wirkt keine Beschleunigung, die Strömungskraft F_A ist gleich der Gewichtskraft F_G . Die Luftgeschwindigkeit bei diesem Gleichgewichtszustand wird Schwebegeschwindigkeit v_{LS} genannt.

$$k = \frac{m_s \cdot g}{v_{LS}^2} \quad (12)$$

Für die Luftgeschwindigkeit v_{La} zur Beschleunigung des Samens ergibt sich, Gl. (13):

$$v_{La} = v_{LS} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h \cdot v_F^2}{g \cdot l_E^2}} \quad (13)$$

Exemplarisch sind in **Tabelle 7** für einige Samenarten die Luftgeschwindigkeiten v_{La} zur pneumatischen Aufnahme der Samen dargestellt. Als Parameter wurden gewählt: Eine Saugdüse mit einer Düsenlänge l_S von 100 mm und einem Abstand h von 30 mm der Saugdüse von der Bodenoberfläche bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,4 m/s.

Für eine Länge der Saugdüse von 100 mm beträgt die berechnete Luftgeschwindigkeit zur Aufnahme von 99% der Samen von *Lolium perenne* 6,3 m/s. Für *Galium aparine* mit einer mittleren Schwebegeschwindigkeit von 6,9 m/s wurden 11,4 m/s berechnet. Da die Luftströmung auch außerhalb der Saugdüse wirkt, kann angenommen werden, daß die wirksame Länge der Saugdüse wesentlich größer ist als ihre Außenmaße. Wird eine wirksame Länge von 200 mm angenommen, so ergeben sich wesentlich geringere Luftgeschwindigkeiten zur pneumatischen Aufnahme von *Lolium perenne* und *Galium aparine*. Für *Lolium perenne* errechnen sich 6,3 m/s, für *Galium aparine* 8,8 m/s.

Samenart	TKM [g]	v_{LS} [m/s] [99%]	v_{La} [m/s] ($l_E = l_S$)	v_{La} [m/s] ($l_E = 2 \cdot l_S$)
<i>Lolium perenne</i>	4,3	5,5	8,2	6,3
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1,8	4,1	6,1	4,7
<i>Apera spica-venti</i>	0,11	2,7	4,0	3,1
<i>Avena fatua</i>	22,5	6,2	9,2	7,1
<i>Galium aparine</i>	8,8	7,7	11,4	8,8

Tabelle 7: Berechnete Luftgeschwindigkeiten zur Aufnahmen von Samen bei unterschiedlichen wirksamen Düsenlängen l_E

4.3 Lage des Samens an der Bodenoberfläche

Die Loslösung eines Unkrautsamens von der Bodenoberfläche hängt von der Kraft ab, die an dem Samen angreift. Diese Kraft wird indirekt durch die Luftgeschwindigkeit beeinflusst mit der der Samen überstrichen wird. Liegt der Samen in einer Vertiefung der Oberfläche, so daß die angreifende Luft den Samen nicht direkt umströmen kann, so wird der Samen wahrscheinlich nicht bewegt werden, **Bild 8**. Die Art und die Anzahl der Vertiefungen der Bodenoberfläche kann in Zusammenhang mit den Abmessungen der Samen Aufschluß über die zu erwartenden notwendigen Luftgeschwindigkeiten zur Loslösung des Samens geben.

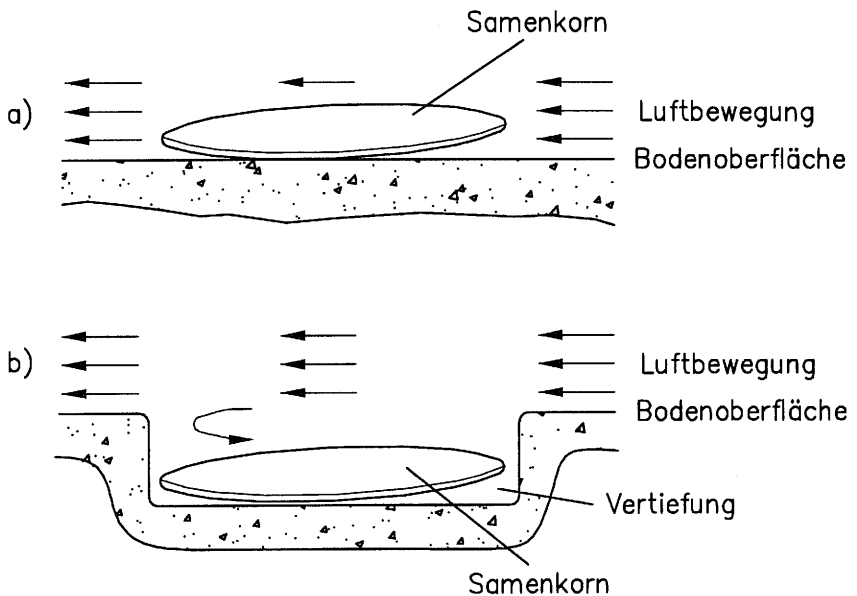


Bild 8: Samenlage an der Bodenoberfläche

Die Durchmesser der Samen einiger wichtiger Unkrautarten sind in **Tabelle 8** dargestellt. Die Daten sind aus [48] entnommen. Der Durchmesser von *Alopecurus myosuroides* liegt zwischen 0,7 und 1,2 mm wobei der mittlere Durchmesser 0,9 mm beträgt. Ein Same wird nur von Luft umströmt, wenn er in einer Vertiefung von unter 1,2 mm liegt. In größeren Vertiefungen müssen zusätzlich Wirbel entstehen, um den Samen anzuheben.

Samenart	Durchmesser [mm]		
	<	ø	>
<i>Alopecurus myosuroides</i>	0,7	0,9	1,2
<i>Avena fatua</i>	1,4	2,0	3,0
<i>Galium aparine</i>	1,6	2,25	3,0
<i>Lolium perenne</i>	0,5	0,7	1,1

Tabelle 8: Durchmesser unterschiedlicher Samenarten [48]

Aus der Kenntnis der Samenabmessungen ergibt sich die Notwendigkeit der Erfassung der Oberflächengestaltung der abzusaugenden Oberfläche.

5 Aerodynamische Eigenschaften unterschiedlicher Unkrautsamenarten

Zur Vergleichbarkeit und Übertragung der vorliegenden Versuchsergebnisse auf andere Samenarten ist die Kenntnis der aerodynamischen Eigenschaften unterschiedlicher Samenarten notwendig. Bisherige Untersuchungen zu aerodynamischen Eigenschaften beschäftigen sich hauptsächlich mit der Schwebegeschwindigkeit. Die Schwebegeschwindigkeit beschreibt die Endgeschwindigkeit mit der ein Partikel in Luft fällt, bzw. die Luftgeschwindigkeit bei der ein Partikel in einem vertikalen Luftstrom in Schwebelage gehalten wird. Oberflächengestalt, Dichte und Geometrie der Samen werden in dieser Stoffgröße zusammengefaßt.

Diese aerodynamische Eigenschaft ist hauptsächlich für Trennprozesse und Fördervorgänge nutzbar, wie z.B. in der Reinigungsanlage im Mähdescher. Bei der pneumatischen Aufnahme von der Bodenoberfläche ist sie erst dann relevant, wenn der Partikel vollkommen luftumströmt ist, sich also schon von der Bodenoberfläche gelöst hat und sich in einem Transportprozeß befindet.

5.1 Schwebeverhalten

Das Schwebeverhalten von Unkrautsamen wurde mit dem Hohenheimer-Schwebepfprüfstand nach BECK und BARRELMAYER [49] untersucht, **Bild 9**. Der Versuchsstand zur Bestimmung der Schwebekennlinien besteht aus den Baugruppen Radialventilator mit Luftgeschwindigkeitsmeßeinrichtung, Beruhigungskammer, Schweberohr, Prallabscheider und Waage. Für die Bestimmung der Schwebekennlinien wurden jeweils 40 g des Samens verwendet. Die Zeit bei einer konstanten Luftgeschwindigkeit betrug 15 Sekunden, die Schrittweite der Luftgeschwindigkeitsänderung 0,1 m/s.

Auf ihr Schwebeverhalten wurden 20 unterschiedliche Arten von Unkrautsamen untersucht [50]. Die **Bilder 10, 11 und 12** zeigen die Schwebekennlinien. Die **Tabelle 9** enthält die Zusammenstellung der mittleren Schwebegeschwindigkeit, die benötigte Luftgeschwindigkeit, um 1 bzw. 99 % der Samen abzuschneiden, sowie die Tausendkommasse der untersuchten Samenarten.

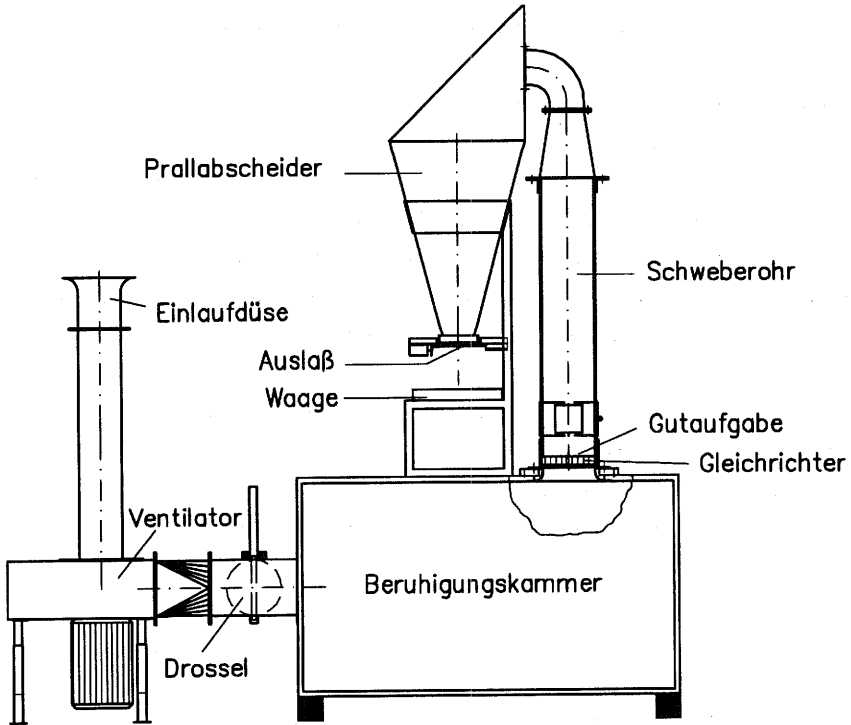


Bild 9: Schema des Schwebepfprüfstands

Das verwendete Samenmaterial für die Untersuchungen war luftgetrocknet. Die Feuchtegehalte betragen zwischen 10 und 12 %. Feuchtere Samen zeigen höhere Schwebegeschwindigkeiten [27]. Die mittlere Schwebegeschwindigkeit kann sich dadurch um bis zu 2 m/s erhöhen.

Bild 10 zeigt die Schwebekennlinien der Samen mit einer mittleren Schwebegeschwindigkeit von unter 3,5 m/s. Zu den Samen mit niedrigen mittleren Schwebegeschwindigkeiten gehören u.a. die Samen von *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti* und *Cirsium arvense*. Diese Samen gelangen bei der Ernte des Getreides mit dem Mähdescher zusammen mit dem Reinigungsübergang wieder auf das Feld und tragen somit zu einer Neuverunkrautung bei.

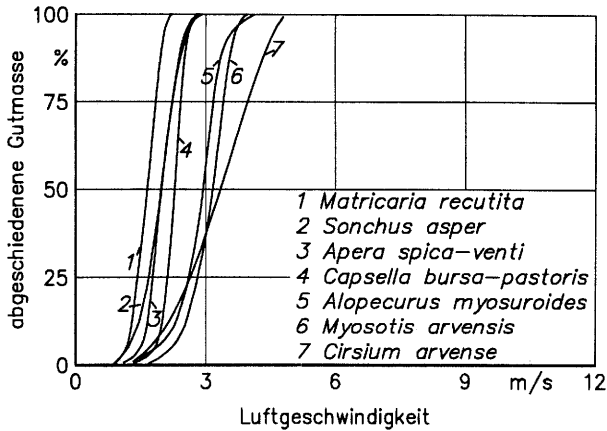


Bild 10: Schwebekennlinien von Samen mit einer mittleren Schwebegeschwindigkeit von unter 3,5 m/s

Bild 11 zeigt die Schwebekennlinien von Samen mit mittleren Schwebegeschwindigkeiten zwischen 3,5 und 4,5 m/s. Zu dieser Gruppe gehören die Samen von *Chenopodium album* und *Atriplex patula*. Diese Samen gelangen bei der Getreideernte mit dem Mähdröschler teilweise in den Korntank, werden zum Teil aber auch mit dem Reinigungsübergang wieder aufs Feld abgelegt.

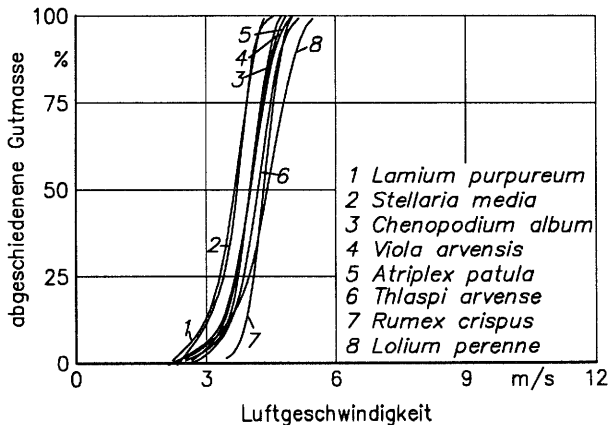


Bild 11: Schwebekennlinien von Samen mit einer mittleren Schwebegeschwindigkeit zwischen 3,5 und 4,5 m/s

In Bild 12 sind die Schwebekennlinien von Samen mit einer mittleren Schwebegeschwindigkeit von über 4,5 m/s dargestellt. In dieser Gruppe befinden sich u.a. die Samen von *Galium aparine* und *Avena fatua*. Die Samen dieser Pflanzen gelangen beim Mähdrusch hauptsächlich in den Korntank des Mähdeschers und werden somit dem Unkrautsamenvorrat einer Fläche entzogen.

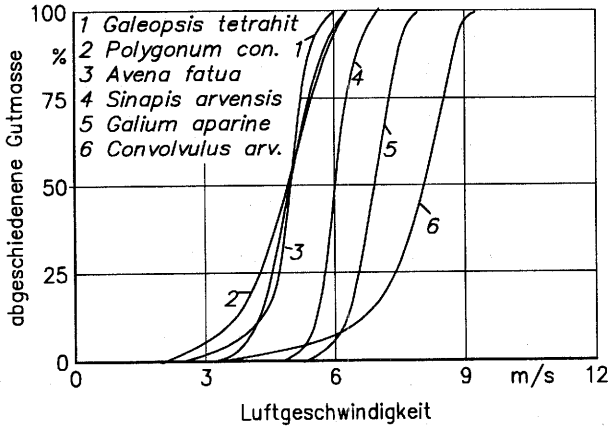


Bild 12: Schwebekennlinien von Samen mit einer mittleren Schwebegeschwindigkeit von über 4,5 m/s

Samenart	TKM [g]	mittlere Schwebegeschwindigkeit v_{LS} [m/s]	Luftgeschwindigkeit zur Separierung von	
			1 % v_{LS1} [m/s]	99 % v_{LS99} [m/s]
<i>Matricaria recutita</i>	0,06	1,6	1,1	2,0
<i>Sonchus asper</i>	0,25	1,8	1,0	2,7
<i>Apera spica-venti</i>	0,11	2,0	1,3	2,7
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0,1	2,4	1,4	2,8
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1,82	2,9	1,5	4,1
<i>Myosotis arvensis</i>	0,29	3,2	1,9	3,8
<i>Cirsium arvense</i>	0,7	3,3	1,3	4,7
<i>Lamium purpureum</i>	0,73	3,6	2,2	4,3
<i>Stellaria media</i>	0,5	3,7	2,4	4,6
<i>Chenopodium album</i>	0,64	4,0	2,0	4,8
<i>Viola arvensis</i>	0,29	4,0	2,5	4,6
<i>Atriplex patula</i>	1,07	4,0	2,8	4,8
<i>Thlaspi arvense</i>	1,27	4,2	2,7	5,2
<i>Lolium perenne</i>	4,3	4,4	2,7	4,9
<i>Rumex crispus</i>	1,35	4,4	3,6	4,9
<i>Galeopsis tetrahit</i>	4,57	4,9	2,7	5,8
<i>Polygonum convolvulus</i>	4,89	4,9	2,5	6,2
<i>Avena fatua</i>	22,54	5,0	3,0	6,2
<i>Sinapis arvensis</i>	1,99	6,0	4,4	6,9
<i>Galium aparine</i>	8,77	6,9	5,3	7,7
<i>Convolvulus arvensis</i>	22,36	7,8	3,8	9,0

Tabelle 9: Schwebeeigenschaften von Unkrautsamen

5.2 Aufsaugverhalten von Unkrautsamen

Das Aufsaugverhalten unterschiedlicher Unkrautsamenarten wurde mit Hilfe einer standardisierten Versuchsdurchführung mit dem in Kap. 6 beschriebenen Versuchsstand ermittelt. Dazu wurden 20 g Samen auf eine Beton-Fahrbahn ausgelegt. Die Versuche wurden bei einer Überfahrgeschwindigkeit v_F von 1,14 m/s bei Verwendung der Saugdüse B, vgl. Kap. 6.4, bei einem Abstand von 50 mm durchgeführt.

Die Unkrautsamen werden bezüglich ihres Aufsaugverhaltens in drei Gruppen eingeteilt. In der Gruppe 1 sind die Samen zusammengefaßt, die bei der Untersuchung bei einem bezogenen Luftdurchsatz \bar{V}_L von unter 1,5 $m^3/s \cdot m$ pneumatisch aufgenommen wurden. Der bezogene Luftdurchsatz bezieht den gemessenen Luftdurchsatz an der Saugdüse auf eine Arbeitsbreite von 1 m. In der Gruppe 2 befinden sich die Samen, die bei einem bezogenen Luftdurchsatz zwischen 1,5 und 1,85 $m^3/s \cdot m$ aufgenommen werden. Samen, die zur pneumatischen Aufnahme einen höheren bezogenen Luftdurchsatz als 1,85 $m^3/s \cdot m$ benötigten, befinden sich in Gruppe 3.

Es ist nur ein ordinaler Vergleich der Aufsaugeigenschaften zulässig. Im **Bild 13** sind Kennlinienfelder zum Aufsaugverhalten von unterschiedlichen Samenarten dargestellt. Der Aufsaugegrad Z bezeichnet den Massenanteil der aufgesaugten an den ausgelegten Samen. Die drei Gruppen der Samenarten sind mit den Ziffern 1 bis 3 bezeichnet.

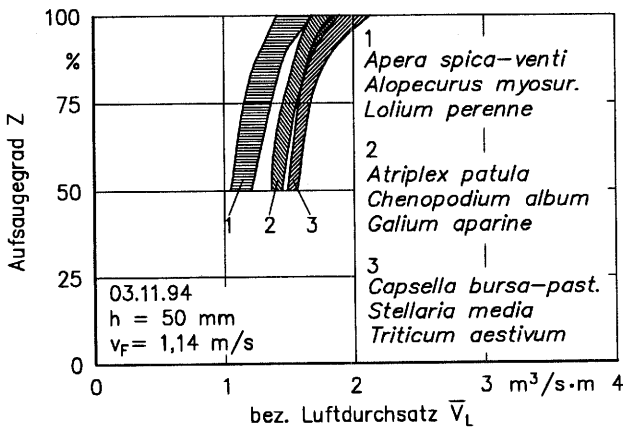


Bild 13: Einfluß der Samenart auf den Aufsaugegrad

Die Gruppierung der Samenarten nach ihrem Aufsaugverhalten ist zusätzlich in **Tabelle 10** dargestellt. Schwer aufzusaugende Samenarten wie *Capsella bursa-pastoris* und *Triticum aestivum* benötigen für einen Aufsaugegrad von 50 % einen etwa 50 % höheren Luftdurchsatz wie die leicht aufzusaugenden Arten *Cirsium arvense* und *Alopecurus myosuroides*.

Samengruppe	Samenart	bezogener Luftdurchsatz um	
		90 %	50 %
		der ausgelegten Samen aufzusaugen [m ³ /s·m]	
1	<i>Lolium perenne</i>	1,38	1,22
	<i>Cirsium arvense</i>	1,39	1,14*
	<i>Alopecurus myosuroides</i>	1,41	1,16
	<i>Avena fatua</i>	1,47	1,20
	<i>Apera spica-venti</i>	1,48	1,18
2	<i>Rumex crispus</i>	1,52	1,28*
	<i>Galeopsis tetrahit</i>	1,52	1,37*
	<i>Polygonum convolvulus</i>	1,53	1,22
	<i>Atriplex patula</i>	1,66	1,39*
	<i>Thlaspi arvense</i>	1,68	1,47*
	<i>Sinapis arvensis</i>	1,71	1,49
	<i>Convolvulus arvensis</i>	1,71	1,50
	<i>Chenopodium album</i>	1,72	1,57*
	<i>Viola arvensis</i>	1,75	1,56*
	<i>Galium aparine</i>	1,81	1,54
3	<i>Myosotis arvensis</i>	1,85	1,59*
	<i>Stellaria media</i>	1,89	1,66*
	<i>Triticum aestivum</i>	1,90	1,66
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	1,97	1,71*

* extrapoliert

Tabelle 10: Gruppierung unterschiedlicher Samenarten nach ihrem Aufsaugverhalten

Bei einem Aufsaugegrad von 90 % sind diese Unterschiede nicht mehr so deutlich. Samen von *Capsella bursa-pastoris* werden gegenüber *Cirsium arvense* bei einem um 40 % erhöhten bezogenen Luftdurchsatz aufgesaugt. Diese beiden Samen waren die am leichtesten bzw. am schwersten aufzusaugenden Unkrautsamenarten.

5.3 Vergleich der aerodynamischen Eigenschaften

Aus dem Schwebeverhalten der Samen kann nicht auf das Aufsaugverhalten von Samen geschlossen werden. Samen von *Sinapis arvensis* und *Galium aparine* werden durch einen vertikalen Luftstrom erst bei relativ hohen Luftgeschwindigkeiten in Bewegung versetzt. Im horizontalen Luftstrom dagegen werden sie durch ihre Samenform schon bei relativ niedrigeren Luftgeschwindigkeiten aus dem Ruhezustand bewegt. Diese Eigenschaften hängen wesentlich mit der Samenform zusammen. Leichte Samen mit einer geringen Dicke und großer Oberfläche werden bereits bei kleinen vertikalen Luftgeschwindigkeiten in Schwebelage gehalten, während Samen mit größerer Dicke und kleinerem Querschnitt erst bei höherer vertikaler Luftgeschwindigkeit in Schwebelage bleiben. Letztere werden aber besser im horizontalen Luftstrom mitgenommen,

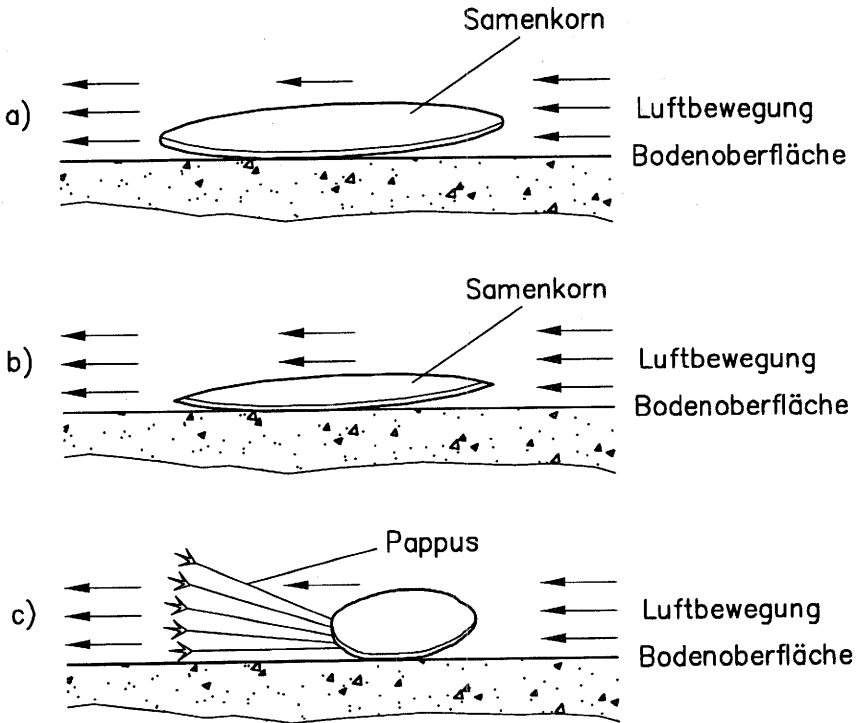


Bild 14: Unterschiedliche auf einer Bodenoberfläche liegende Samenformen

Bild 14a). Samen mit geringer Dicke hingegen bieten dem horizontalen Luftstrom kaum Angriffsfläche, **Bild 14b).** Samen, die durch den Wind verbreitet werden wie z.B. *Cirsium arvense* haben zusätzlich einen Pappus, um bewegter Luft eine möglichst große Fläche entgegenzusetzen. Sie werden sowohl vom vertikalen, als auch vom horizontalen Luftstrom leicht mitgenommen, **Bild 14c).**

Samen von *Capsella bursa-pastoris* und *Stellaria media* können im horizontalen Luftstrom erst bei relativ hohen Luftgeschwindigkeiten in Bewegung versetzt werden, im vertikalen dagegen zeigen sie schon bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten ein gutes Schwebeverhalten. *Capsella bursa-pastoris* ist in der Samengruppe, die im vertikalen Luftstrom schon bei einer Luftgeschwindigkeit von 2,4 m/s zu 50 % separiert wird. Bei der Aufsaugung dagegen gehört dieser Same zu den am schwierigsten aufzusaugenden Samenarten.

6 Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung

6.1 Beschreibung der Versuchseinrichtung

Für die Untersuchung der pneumatischen Aufnahme von Unkrautsamen wurde eine Meßeinrichtung entwickelt und gebaut, die an die 3-Punkt-Hydraulik eines Ackerschleppers gekoppelt wird. Jeweils eine Saugdüse kann daran angebaut werden, **Bilder 15 und 16**.

Die Meßeinrichtung besteht aus einem Rahmen mit starrer Achse, auf dem ein Sauggebläse und ein Zyklonabscheider aufgebaut sind. Das Sauggebläse, ausgeführt als Radialventilator, ist mittels eines Rohres mit dem Zyklonabscheider verbunden. Der Luftdurchsatz wird in diesem Rohr mit Hilfe einer Normdüse in Anlehnung an DIN 1952 [52] bestimmt. Der Antrieb des Sauggebläses erfolgt über ein Stirnradgetriebe durch die Zapfwelle des Zugschleppers. Da das Sauggebläse mit 3000 U/min betrieben wird, ist nur eine stufenweise Änderung der Überfahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Schleppergetriebe möglich. Beim verwendeten Zugschlepper standen im ausgewählten Überfahrgeschwindigkeitsbereich zwischen 0,4 und 1,5 m/s sechs unterschiedliche Geschwindigkeiten zur Verfügung.

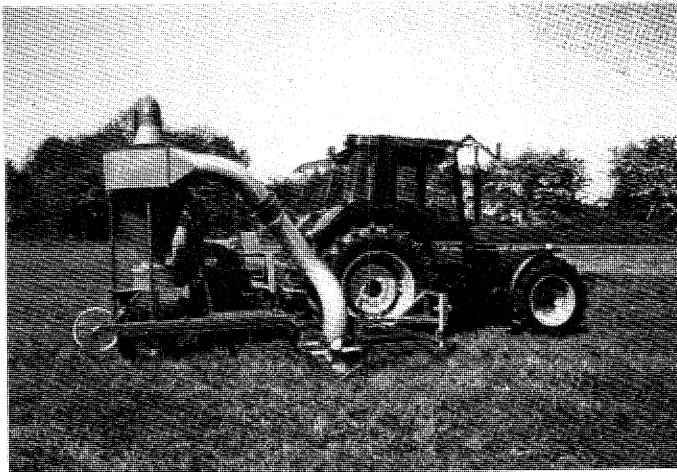


Bild 15: Versuchseinrichtung zur Untersuchung der pneumatischen Aufnahme

Im Zyklonabscheider befindet sich zur Abstützung der Rotationsströmung ein Abschirmkegel. Dieser soll eine Aufwirbelung bereits abgeschiedenen Materials verhindern, damit dieses nicht wieder in die Saugluftströmung gerät [51] und dann durch das Sauggebläse ausgeblasen wird.

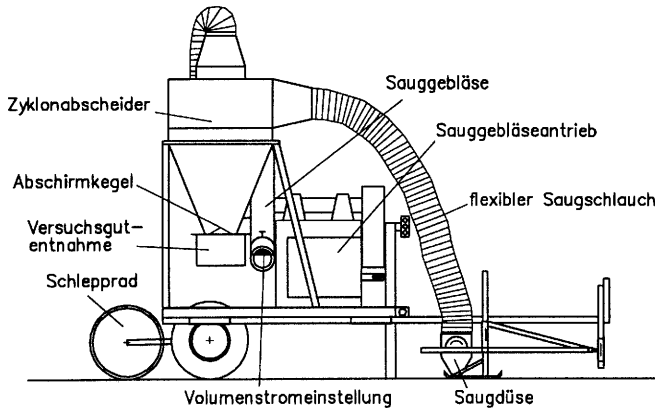


Bild 16: Schematische Darstellung der Versuchseinrichtung

An einem Ausleger befindet sich die auf Kufen geführte Anbauvorrichtung für die zu untersuchenden Saugdüsen. Ein flexibler Schlauch mit zwei ringförmig angeordneten Anschlüssen zur Messung des statischen Druckes verbindet die Saugdüse mit dem Zyklonabscheider. Die Versuchsgutentnahme ist unter dem Zyklonabscheider angebracht. Ein parallelogrammgeführtes Schlepprad am Heck der Versuchseinrichtung dient zur schlupffreien Ermittlung der Überfahrge-
schwindigkeit.

Das Schema über den Einbau der Sensoren und den pneumatischen Aufbau der Versuchseinrichtung ist in **Bild 17** dargestellt. Direkt oberhalb der Saugdüse ist ein ringförmiger Anschluß zur Erfassung des Druckabfalls an der Saugdüse p_{st11} und p_{st12} . Eine zusätzliche Meßstelle p_{st2} befindet sich am flexiblen Saugschlauch zwischen Saugdüse und Zyklonabscheider. Saugseitig des Zyklonabscheiders sind die Meßstellen für den Druck p_{st0} und für die Druckabfallmessung an der Meßdüse Δp . Saugseitig des Sauggebläses befindet sich eine Klappe zur vollständigen Unterbrechung des Luftstromes, die bei Versuchsbeginn und bei Versuchsende manuell betätigt wird. Der Schieber druckseitig des Sauggebläses dient zur Voreinstellung des gewünschten Luftdurchsatzes.

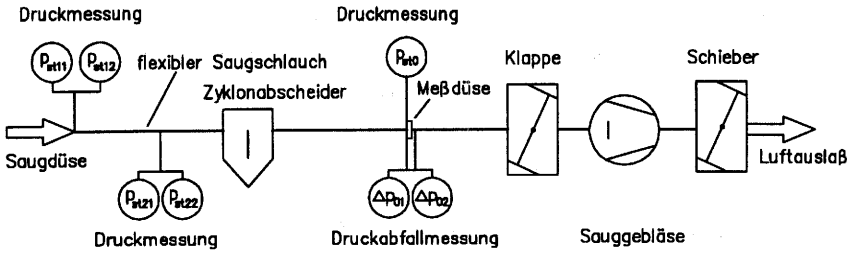


Bild 17: Schema des pneumatischen Aufbaus und der Meßstellen für die Messung des Drucks

An den einzelnen Stellen für die Druckmessung sind Drucksensoren angebracht. Sie werden nach ihrer Meßaufgabe und ihrem Einbauort bezeichnet. Die Sensoren Δp_{01} und Δp_{02} mit unterschiedlichen Meßbereichen messen den Druckabfall der Meßdüse. Der statische Druck an der Meßdüse wird vom Sensor p_{st10} erfaßt.

Um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen wurden an den Stellen für die Messung des statischen Drucks an der Saugdüse und am flexiblen Saugschlauch jeweils 2 Drucksensoren parallel pro Meßstelle verwendet. Die Drucksensoren haben einen unterschiedlichen Meßbereich, vgl. Tabelle 13, so daß die Meßwerte des einen Sensors für geringe Drücke verwendet werden und die des anderen für hohe. So kann insgesamt eine bessere Auflösung im Bereich geringer Drücke erreicht werden.

Die Bezeichnung der Sensoren für den statischen Druck an der Saugdüse sind p_{st11} und p_{st12} . Am flexiblen Saugschlauch werden die Drucksensoren mit p_{st21} und p_{st22} bezeichnet.

6.1.1 Messung des Luftdurchsatzes

Zur Messung des Luftdurchsatzes können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden [53]. Für diesen Versuchsstand wurde ein Meßverfahren nach dem Wirkdruckprinzip gewählt. Der Druckabfall an einem Drosselgerät dient dabei zur Bestimmung des Luftdurchsatzes [52]. Diese Verfahren zeichnen sich durch einfache Installation und der Einsatzmöglichkeit in partikelbeladener Luft aus [54]. Eine Meßdüse wurde eingesetzt, weil davon ausgegangen werden mußte, daß der Zyklonabscheider des Versuchsstandes bei Versuchen auf landwirtschaftlichen Flächen nicht alle feinen Bodenpartikel abscheidet, sondern feine Partikel (Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$) durch das Sauggebläse wieder ausgeblasen werden. In partikelbeladener Luft ist eine Meßdüse einer Meßblende vorzuziehen, denn eine Meßblende verändert aufgrund von Anlagerung durch Partikeln ihre Durchflußzahl α und müßte deshalb öfter nachkalibriert werden [54]. Im weiteren sind bei gleichem Öffnungsverhältnis m Druckabfälle durch eine Meßdüse geringer als durch eine Meßblende.

Der Einbauort der aus Aluminium gedrückten Meßdüse befindet sich im Verbindungsrohr zwischen Zyklonabscheider und Sauggebläse, Bild 17. Nach DIN 1952 [52] werden für Drosselgeräte wie Meßdüse und Meßblende nach Störungen im Einlauf wie z.B. Krümmer bestimmte Abstände von diesen Störungen gefordert. Die geforderten Abstände wären im Anwendungsfall mehrere Meter gewesen, was sich an dem Versuchsstand nicht realisieren ließ. In dem 2 m langen Verbindungsrohr wurde deshalb nur das Verhältnis der geforderten Abstände vor bzw. nach der Meßdüse zueinander eingehalten. Ein zusätzlicher Einbau von Strömungsgleichrichtern, um die Luftströmung im Rohr normgerecht zu gestalten, erwies sich als nicht notwendig. Eine Kalibrierung der Meßdüse mit und ohne Einbau der Strömungsgleichrichter zeigte das gleiche Ergebnis.

6.1.2 Kalibrierung der Meßdüse

Eine Kalibrierung der Meßdüse wurde im eingebauten Zustand am Versuchsstand mit und ohne Strömungsgleichrichter vorgenommen. Zur Messung des Referenz-Luftmassendurchsatzes \dot{m}_{ED} wurde anstatt des flexiblen Saugschlauches eine genormte Einlaufmeßdüse an ein Adapterrohr vor den Zyklonabscheider montiert.

Der Druckabfall und der statische Druck an der Meßdüse sowie der Druckabfall an der Einlaufdüse wurden mit Hilfe von drei Projektionsmanometer nach Betz bestimmt. Die Durchflußzahl α und die Expansionszahl ϵ wurden für die eingesetzte Meßdüse der DIN 1952 entnommen. Die technischen Parameter der Meßdüse sind in **Tabelle 12** aufgeführt.

Parameter	
Durchmesser der Öffnung d_i	154 mm
Durchmesser Rohr d_a	244 mm
Durchflußzahl α nach DIN 1952	0,97
Expansionszahl ϵ nach DIN 1952	1,04
Öffnungsverhältnis m	0,3983

Tabelle 12: Technische Parameter der Meßdüse

Das Ergebnis der Kalibrierung ist in **Bild 18** dargestellt. Es zeigt sich eine Kalibriergerade mit einem Regressionskoeffizienten r^2 von 0,999.

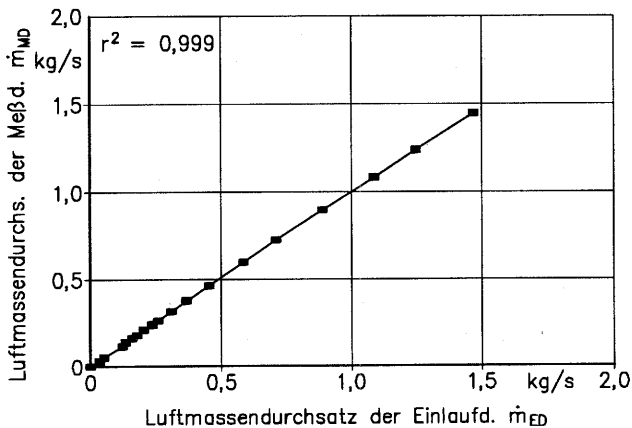


Bild 18: Ergebnis der Kalibrierung

Der Luftmassendurchsatz der Einlaufdüse \dot{m}_{ED} steht in einem linearen Zusammenhang zum Luftmassendurchsatz der Meßdüse \dot{m}_{MD} . Insgesamt kann die Kalibrierung in folgender Gleichung wiedergegeben werden:

$$\dot{m}_{MD} = 0,002 \text{ kg/s} + 1,007 \cdot \dot{m}_{ED} \quad (15)$$

Der Einbauort und die Einbauweise unter nicht normgerechten Bedingungen zeigte nur einen sehr geringen Einfluß auf die Meßwerte. Die Abweichungen der erwarteten zu den gemessenen Werten der Meßdüse gegenüber der Einlaufdüse betrug nur 0,3 %.

6.1.3 Messung des statischen Drucks

Der statische Druck p_i wird am Versuchsstand mit kapazitiven Drucksensoren bestimmt. Diese Sensoren werden von der Meßwerterfassung ausgelesen. Die Abtastfrequenz wurde mit 100 Hz so hoch wie mit vorhandener meßtechnischer Hard- und Software möglich gewählt, um eventuell auftretendes Schwingverhalten der Sensoren bei der elektronischen Datenaufbereitung zu eliminieren.

6.1.4 Kalibrierung der Drucksensoren

Zur Kalibrierung der Drucksensoren wurden Projektionsmanometer nach Betz eingesetzt. Die Drucksensoren wurden im eingebauten Zustand am Versuchsstand bei Betrieb kalibriert, um Vibrationen mit in die Kalibrierung einzubeziehen.

Die Koeffizienten a_i der Kalibriergeraden sind in **Tabelle 13** aufgeführt. Mit Hilfe dieser Faktoren läßt sich für jeden Drucksensor aus der Spannung U_i der tatsächliche Druck p_i in Pa berechnen.

$$p_i = a_i U_i + b_i \quad (16)$$

Die Konstante b_i wird durch eine Messung des Offsetwertes der Drucksensoren bestimmt. Dies ist der Meßwert der einzelnen Drucksensoren bei Umgebungsdruck.

$$b_i = - a_i \cdot U_i \quad (17)$$

Alle Sensoren zeigen einen Regressionskoeffizienten von mindestens 0,998, Tabelle 13. Für jeden Sensor sind die Koeffizienten a_i sowie der Meßbereich angegeben.

Drucksensor	Meßbereich [Pa]	Koeffizient a_i [Pa/V]	r^2
Δp_{01}	0 - 7000	709	> 0,999
Δp_{02}	0 - 1000	96	> 0,998
p_{st0}	0 - 35000	3495	> 0,998
p_{st11}	0 - 7000	651	> 0,999
p_{st12}	0 - 250	21	> 0,998
p_{st21}	0 - 7000	713	> 0,999
p_{st22}	0 - 500	88	> 0,998

Tabelle 13: Charakterisierung der Drucksensoren

6.1.5 Messung der Überfahrgeschwindigkeit

Die Überfahrgeschwindigkeit v_F der Saugdüse über die Bodenoberfläche entspricht der Fahrgeschwindigkeit des Schleppers. Sie wird bei Versuchsdurchführung mit einem Schlepprad am Versuchsstand gemessen. An dem praktisch schlupffrei mitlaufenden Rad von 0,6 m Durchmesser befindet sich ein inkrementaler Drehimpulsgeber, der 1000 Impulse pro Radumdrehung abgibt. Eine Kalibrierung ergab 546 Impulse des Drehimpulsgebers je Meter zurückgelegten Weg.

6.2 Meßwerterfassungssystem

Die Ausgangssignale aller Meßwertgeber werden zentral in der Fahrerkabine des Zugschleppers erfaßt. Alle Meßwertgeber und Registriergeräte werden über die 12 V Bordspannungsversorgung des Schleppers mit Betriebsspannung versorgt. Eine Übersicht über die Meßanordnung gibt **Bild 19**.

Die Drucksensoren werden von einem Meßverstärker mit einer konstanten Speisespannung versorgt. Der Meßverstärker übernimmt gleichzeitig die Aufbereitung der Sensorsignalspannungen in ein analoges Spannungssignal.

Für die Erfassung der Meßwerte wird ein portabler Prozeßrechner eingesetzt. Die analogen Signale des Meßverstärkers werden zeitlich nacheinander von einem 12 bit A/D-Wandler digitalisiert. Die Abtastrate liegt bei 90 Hz. Die Signale des Drehimpulsgebers werden von einem 16 bit Zählerbaustein erfaßt.

Während der Versuche werden die Meßwerte in den Arbeitsspeicher des Rechners gelesen. Nach Beendigung des Versuches werden die Werte in physikalische Größen umgewandelt und auf dem Massenspeicher abgelegt.

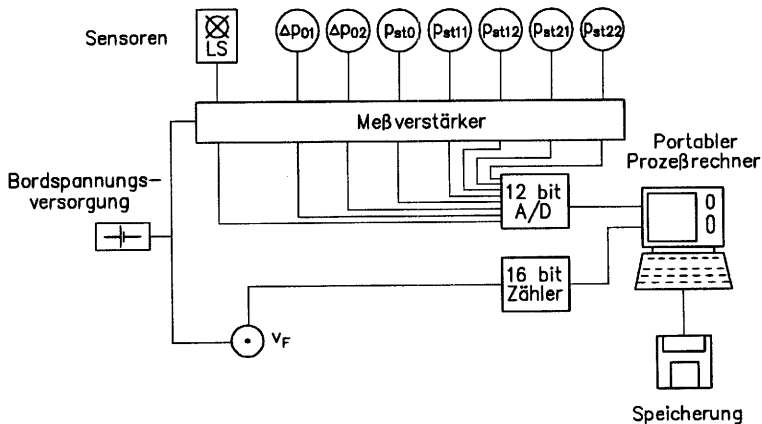


Bild 19: Schematische Darstellung der Meßanordnung

6.3 Versuchsdurchführung

6.3.1 Versuchsgut

Alle Feldversuche wurden mit eingefärbten Samen von *Lolium perenne* (Englisches Raygras) durchgeführt. Die Einfärbung der Samen mit Safraninrot ermöglichte ein einfacheres Wiederfinden bei der Auswertung des aufgesaugten Probenmaterials. Zudem wurden die Samen durch Hitze abgetötet, um eine Keimung der bei Versuchen auf landwirtschaftlichen Flächen verbleibenden Rest-Samen zu unterbinden.

Die Stoffeigenschaften bezüglich des Schwebeverhaltens wurden durch diese Maßnahmen nicht verändert, **Bild 20**. Die Kennlinien zeigen den gleichen Verlauf und sind annähernd deckungsgleich. Gemessen wurden die Schwebekennlinien mit einem Prüfstand zur automatischen Bestimmung der Schwebegeschwindigkeit von Schüttgut [49], abgewandelt nach [55].

Die mittlere Schwebegeschwindigkeit betrug 4,4 m/s bei einer Standardabweichung von 0,57 m/s. Das Versuchsgut hatte eine Tausend-Korn-Masse von 4,3 g.

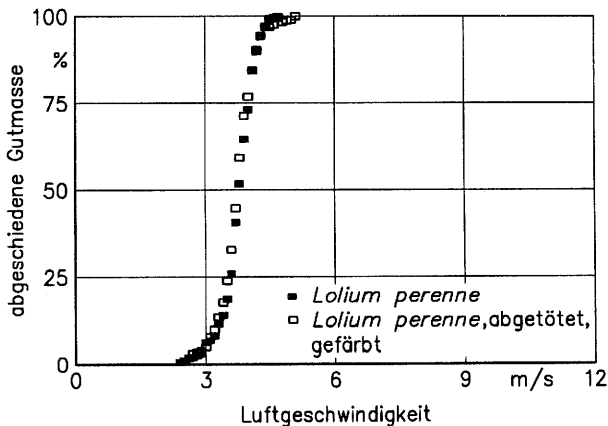


Bild 20: Schwebekennlinien von *Lolium perenne*

6.3.2 Versuchsmethodik

Nach zahlreichen Vorversuchen auf einer Beton-Fahrbahn wurden die Feldversuche in den Jahren 1994 und 1995 auf 2 verschiedenen Ackerflächen der Versuchsstation I der Universität Hohenheim durchgeführt. In beiden Versuchsjahren wurden abgeerntete Winterweizenflächen verwendet. Die Bodenart der Versuchsstandorte, beides Lehmböden, unterscheiden sich nicht, da sie direkt nebeneinander liegen, vgl. Tabelle 2.

Durch den unterschiedlichen Witterungsverlauf differierten die Versuchsbedingungen in den beiden Jahren. Während das Versuchsjahr 1994 im August sehr heiße Tage und wenig Niederschläge aufwies, zeichnete sich der August 1995 durch häufigere Regenperioden aus, welche die Bodenoberfläche stark veränderten.

Für die Durchführung der Versuche wurden nur die Teilflächen der Ackerflächen verwendet, auf denen ähnliche Verhältnisse vorlagen, wie sie bei der Getreideernte unter dem Schneidwerk eines Mähdeschers anzutreffen sind, **Bild 21**. Diese nutzbaren Teilflächen wurden weder von den Mähdescherreifen überfahren noch wurden Stroh bzw. Stroh auf diesen Teilflächen abgelegt.

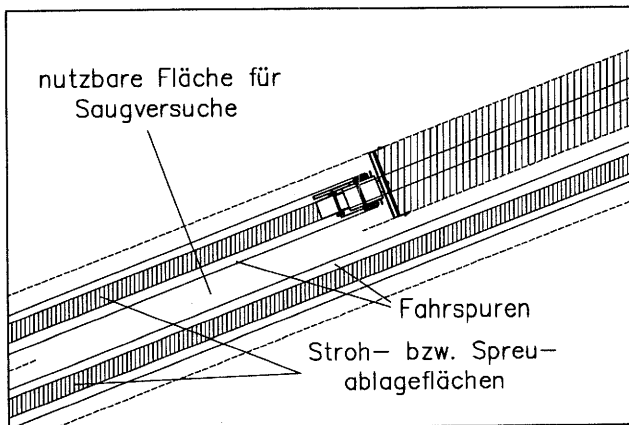


Bild 21: Nutzbare Teilflächen der abgeernteten Winterweizenflächen für Saugversuche

Versuchsdurchführung

Vor die Saugdüse wird mit Hilfe einer Schablone, **Bild 22**, ein Samenstreifen von 0,1 m Breite und 1,5 m Länge ausgelegt. Die Schablone, die auf dem Bild rechts abgebildet ist, wird nach Auslegen der Samen vor der Durchführung des Saugversuches entfernt. Die ausgelegte Samenmenge beträgt 20 g. Die Bodenoberfläche wird auf der Länge der Beschleunigungsstrecke abgedeckt. Die Beschleunigungsstrecke ist die überfahrene Streckenlänge, die von der Saugdüse überstrichen wird, bis der Zugschlepper mit Versuchsstand seine Endgeschwindigkeit erreicht hat. Bei maximaler Überfahrgeschwindigkeit von 1,4 m/s beträgt diese ca. 2 m. Die Abdeckung, auf dem Bild links abgebildet, verhindert, daß Bodenmaterial während der Beschleunigungsphase des Versuchsstandes, etwa 1s, aufgenommen wird. Nach Überfahren der ausgelegten Samen mit konstanter Überfahrgeschwindigkeit wird die Klappe für die Unterbrechung des Saugluftstroms handbetätigt geschlossen.

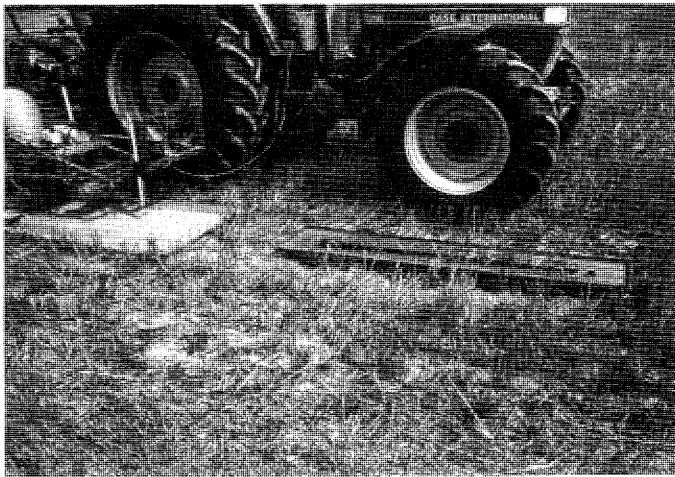


Bild 22: Auslegen des aufzusaugenden Versuchsmaterials

In Einzelversuchen wurde das Aufsaugverhalten unterschiedlicher Saugdüsen ermittelt. Während der Versuchsdurchführung des Einzelversuchs wurden die Parameter Luftdurchsatz, Überfahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung konstant gehalten. Jeder Einzelversuch wurde dreifach wiederholt, um den Einfluß lokaler Schwankungen im Bodenzustand auf die Versuchsergebnisse gering zu halten. Nach Versuchsende wird das aufgesaugte Material aus der Versuchsgutentnahme entnommen und abgetütet. Danach wird der nächste Versuch vorbereitet.

Bestimmung des Bodenfeuchtegehaltes

Zur Ermittlung des Bodenfeuchtegehaltes U_{B_0} wurden Bodenproben während der Versuche an mehreren über das Versuchsfeld verteilte unbewachsene Stellen bis zu einer Tiefe von 2 cm entnommen. Nach Ermittlung ihrer Masse wurden die Bodenproben bei 105 °C 24 h lang getrocknet und erneut gewogen. Der Feuchtegehalt U_{B_0} der Bodenproben ergibt sich aus dem prozentualen Verhältnis von Massenverlust zu Frischmasse.

6.3.3 Versuchsauswertung

Die Auswertung des aufgesaugten Versuchsmaterials ist in **Bild 23** dargestellt. Das ausgelegte gefärbte Samenmaterial wird von der Saugdüse aufgenommen und gelangt in den Auffangbehälter des Zyklonabscheiders. Die während des Versuchs abgeschiedene Gutmenge, bestehend aus Stoppelresten, Erdboden und gefärbten Samen, wird abgetütet (1) und nach Beendigung der Versuchsreihen im Labor ausgewertet. Die abgetüteten Proben werden gewogen (2) und auf einer Siebmaschine mit einem 8 mm Rundlochsiebe vorgesiebt. Stroh und größere Bodenpartikel werden abgeschieden und gewogen (3). Auf einer weiteren Laborsiebmaschine (4) werden mit einem 4,5 mm Rundlochsieb weitere Stroh- und Bodenpartikel abgeschieden, welche ebenfalls gewogen werden (5). Das Gewicht des Siebdurchgangs wird ermittelt und anschließend zur weiteren Auswertung abgetütet (6).

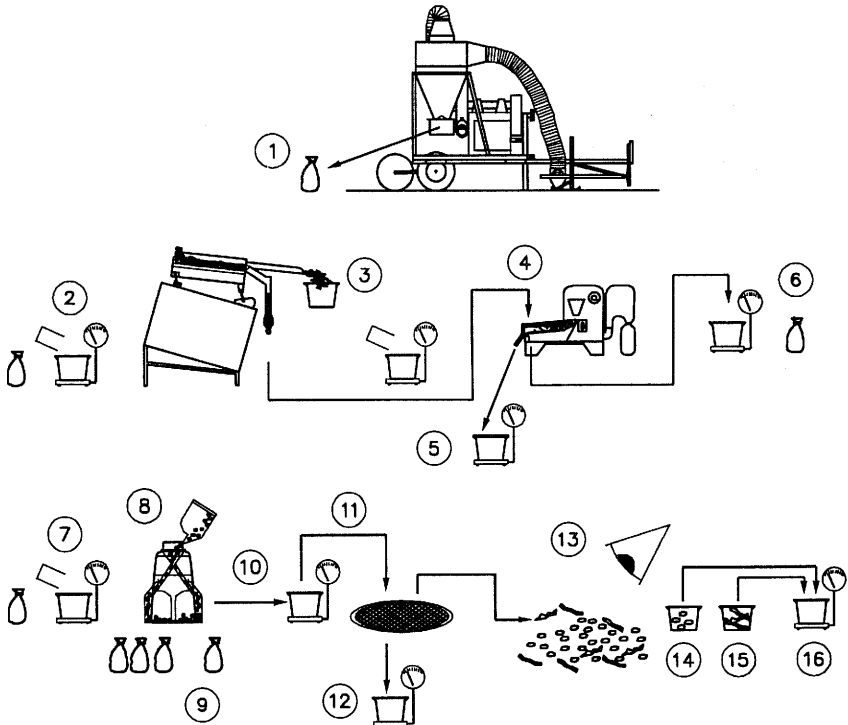


Bild 23: Schema der Versuchsauswertung

In einem zweiten Schritt werden die vorgesiebten Fraktionen noch einmal gewogen (7) und in einem Probenteiler geteilt (8). Nach zweimaligem Teilen stehen ein Viertel der Probenmenge für eine weitere Auswertung zur Verfügung (9). Die übrigen drei Viertel werden für Kontrollzwecke wieder verpackt. Ein Viertel der Probenmenge (10) wird gewogen und auf einem Handsieb mit einem Lochdurchmesser von $500\ \mu\text{m}$ gesiebt (11). Der abgesiebte Feinboden wird gewogen (12). Der Rest wird visuell (13) in die Fraktionen gefärbte Samen (14) und Rest (15) getrennt, **Bild 24**. Auch diese Fraktionen werden gewogen (16). Aus dem Anteil der geteilten Probenmenge an der gesamten Probenmenge und den gewogenen Fraktionen läßt sich der Aufsaugegrad Z und die aufgenommene Gesamtmasse m_{Ges} berechnen.

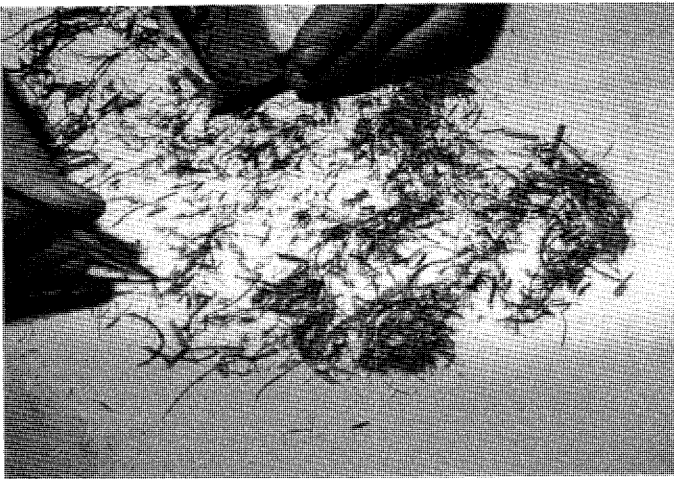


Bild 24: Visuelle Trennung in die Fraktionen Samen und Restboden

Berechnungsgrundlagen

Die aufgenommene Gesamtmasse m_{Ges} setzt sich aus der Strohmasse m_{St} , der Samenmasse m_{Sa} und der aufgenommenen Bodenmasse m_{Bo} zusammen.

$$m_{Ges} = m_{St} + m_{Bo} + m_{Sa} \quad (18)$$

Der Aufsaugegrad Z berechnet sich aus dem Massenanteil aufgenommenen m_{Sa} an den ausgelegten Samen m_{Sa0} zu:

$$Z = \frac{m_{Sa}}{m_{Sa0}} \quad (19)$$

Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse \bar{m}_{Ges} lässt sich aus der Kenntnis der überfahrenen Saugstrecke s und der Saugdüsenbreite $b_{Dü}$ berechnen. Sie bezieht die Gesamtaufnahme auf einen Hektar und ist in t/ha angegeben.

$$\bar{m}_{Ges} = \frac{m_{Ges}}{s \cdot b_{Dü}} \quad (20)$$

Zur Berechnung der Luftleistung P_L an einer Stelle i ist neben der Kenntnis des Luftdurchsatzes \dot{V}_i die des statischen Drucks Δp_i erforderlich. Die Luftleistung wird für die Saugdüse bestimmt.

$$P_L = \Delta p_i \cdot \dot{V}_i \quad (21)$$

Die bezogene Luftleistung \bar{P}_L bezieht die Luftleistung der Saugdüse auf 1 m Arbeitsbreite. Sie berechnet sich aus der Luftleistung und der Saugdüsenbreite:

$$\bar{P}_L = \frac{P_L \cdot 1000}{b_{Dü}} \quad (22)$$

Der bezogene Luftdurchsatz \bar{V}_L bezieht den Luftdurchsatz der Saugdüse auf 1 m Arbeitsbreite.

$$\bar{V}_L = \frac{\dot{V} \cdot 1000}{b_{Dü}} \quad (23)$$

6.4 Untersuchte Saugdüsen und Saugdüsen-Kombinationen

6.4.1 Beschreibung der Saugdüsen

Für die Untersuchung der pneumatischen Aufnahme von Unkrautsamen wurden verschiedene Saugdüsen bzw. Saugdüsen-Kombinationen in Arbeitsbreiten von 400 bis 500 mm gebaut und eingesetzt. **Tabelle 14** zeigt eine Übersicht über die verwendeten Saugdüsen.

Die *Saugdüsen* lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Einerseits sind hier die *senkrecht* ansaugenden zu nennen, bei denen die Saugluft direkt senkrecht abgeführt wird, andererseits die *waagerecht* ansaugenden, bei denen eine Luftströmung parallel zur Bodenoberfläche realisiert wird.

Saugdüse	Saugdüsenart	Luftführung	Saugdüsenbreite b_{Du} [mm]
A	einfach	senkrecht	500
B	einfach	senkrecht	400
C	einfach	waagerecht	500
D	einfach	waagerecht mit Luftleitblech	500
E	kombiniert mit rotierendem Walzenbesen	waagerecht	500
F	kombiniert mit Druckluft	senkrecht	400

Tabelle 14: Verwendete Saugdüsen und Saugdüsen-Kombinationen

Zusätzlich konnten die Saugdüsen mit Gummidichtlippen ausgestattet werden, **Bild 25**. Mit Hilfe dieser Dichtlippen aus 2 mm dicker Gummiplatte werden die Düsenkanten der Saugdüsen zur Bodenoberfläche hin abgedichtet, so daß weniger Fehlluft und ineffektive Luft angesaugt werden, die nicht direkt über die Bodenoberfläche streicht und somit auch keine Partikel von der Bodenoberfläche lösen kann.

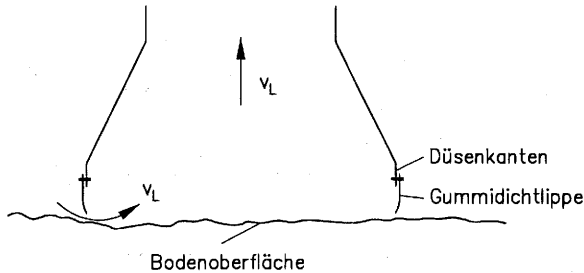


Bild 25: Anbringung der Gummidichtlippen an den Seiten der Saugdüse

Die in Bild 25 dargestellten Seiten der Saugdüse sind abgedichtet. Diese flexible Abdichtungsart zwischen Saugdüse und Bodenoberfläche erlaubt somit eine begrenzte Anpassung der Düsenumrisse an die Oberflächengestalt des Bodens.

Saugdüse A repräsentiert eine einfache Bauweise mit Lufteintritt *senkrecht* zur Bodenoberfläche, **Bild 26**. Die Saugdüse besitzt eine Öffnungsfläche von 500 mal 100 mm. Die Arbeitsbreite dieser Saugdüse beträgt 500 mm. Sie kann mit Gummidichtlippen ausgestattet werden.

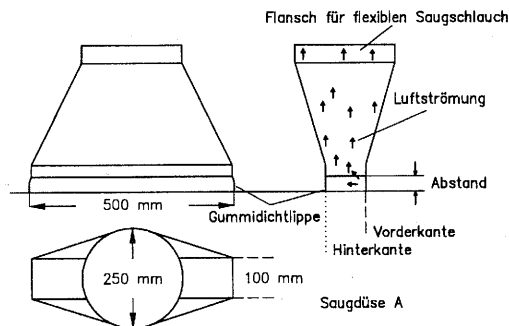


Bild 26: Schematische Darstellung der Saugdüse A (senkrecht ansaugend, mit Gummidichtlippe, 500 mm breit)

Bei **Saugdüse B** handelt es sich in der Bauweise um das gleiche Grundprinzip wie bei Saugdüse A, **Bild 27**. Saugdüse B weist mit einer Öffnungsfläche von 400 mal 100 mm eine um 20 % geringere Arbeitsbreite gegenüber Saugdüse A auf. Auch hier können die Seitenwände und die Rückwand mittels Gummidichtlippe zur Bodenoberfläche hin abgedichtet werden.

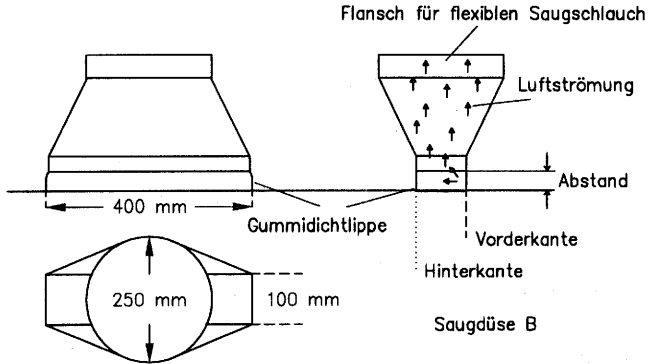


Bild 27: Schematische Darstellung der Saugdüse B (senkrecht ansaugend, mit Gummidichtlippe, 400 mm breit)

Die *waagrecht* ansaugende **Saugdüse C** besitzt eine senkrechte Rückwand mit 300 mm Breite und einen speziell geformten Vorderbau zur Kanalisierung der Luftströmung an der Vorderseite, **Bild 28**. Dieser Vorderbau ist stark verlängert und leitet die Saugluftströmung erst allmählich in eine senkrechte Strömung. Die Arbeitsbreite der Saugdüse beträgt 500 mm. Auch diese Saugdüse kann seitlich und an der Rückwand mit Gummidichtlippen zur Abdichtung der Saugdüse gegenüber der Bodenoberfläche versehen werden.

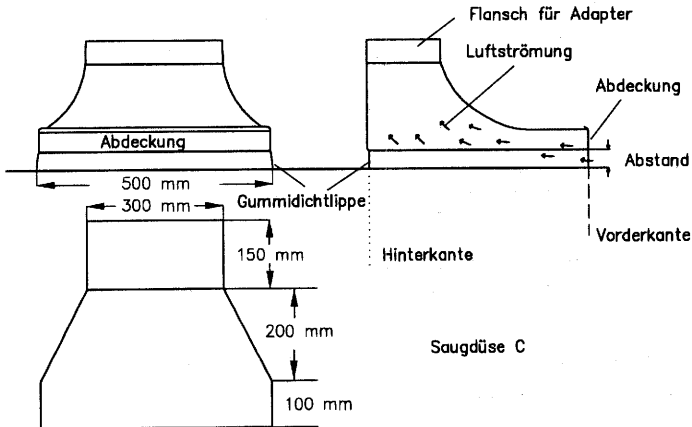


Bild 28: Schematische Darstellung der Saugdüse C (waagrecht ansaugend, mit Gummidichtlippe, 500 mm breit)

Saugdüse D ist ähnlich gebaut wie Saugdüse C, besitzt jedoch, ausgehend von der Rückwand, zusätzlich ein Luftleitblech, um die gesamte Luftströmung zu kanalisieren, **Bild 29**. Hierdurch soll eine bessere bodenparallele Luftströmung erreicht werden.

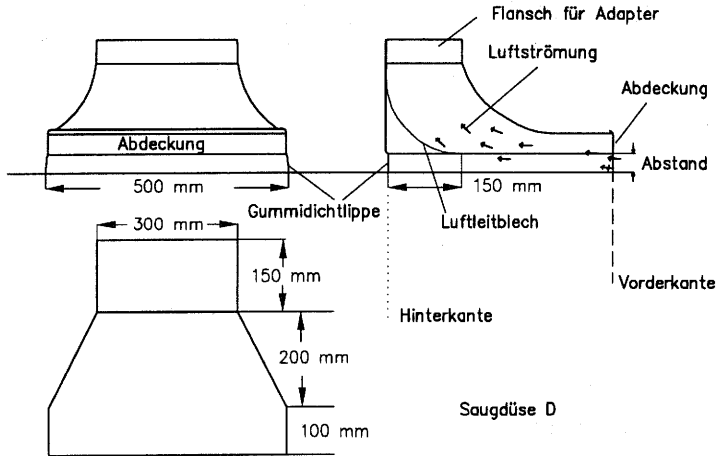


Bild 29: Schematische Darstellung der Saugdüse D (waagrecht ansaugend, mit Gummidichtlippe, 500 mm breit, mit Luftleitblech)

Zur besseren Loslösung der auf dem Boden liegenden Samen wurden auch **Saugdüsen-Kombinationen** untersucht. Zusätzlich zur Saugluft dienen hierbei Walzenbesen und Druckluft als Hilfsmittel.

Saugdüse E ist an der Vorderseite aufgebaut wie Saugdüse C, **Bild 30**. Statt der Rückwand ist ein abgedeckter rotierender Walzenbesen eingebaut. Er rotiert gegen die Fahrtrichtung, um Material in den Saugluftstrom hineinzufördern. Der Radius des Hüllkreises dieses Walzenbesens beträgt 130 mm. Der Abstand des Zentrums des Hüllkreises vom Boden beträgt 110 mm. Der Walzenbesen kann mit unterschiedlicher Beborstung bestückt werden. Untersucht wurden die Mischbeborstung PES der Firma van Gülpen, Emmerich, sowie Walzenbesen mit Borsten aus Polypropylen der Stärken 0,5 bzw. 0,8 mm, **Tabelle 15**. Der Walzenbesen kann sowohl in horizontaler, als auch in vertikaler Richtung verschoben werden. Der Antrieb des Walzenbesens erfolgt über einen durch ein Notstromaggregat versorgten Elektromotor mit stufenlosem Getriebe. Drehzahlen des Walzenbesens zwischen 100 und 500 U/min konnten gewählt werden. Die Seitenwände und die Rückwand der Saugdüse sind mit Gummidichtlippen gegenüber dem Boden abgedichtet.

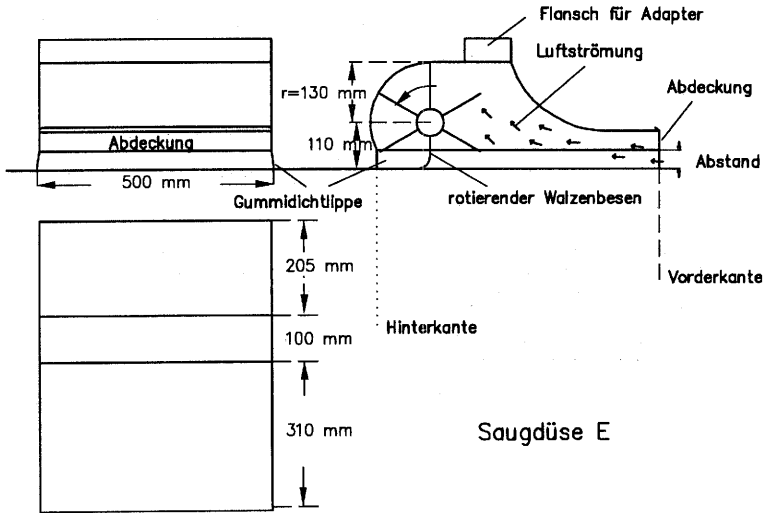


Bild 30: Schematische Darstellung der Saugdüse E (waagrecht ansaugend, 500 mm breit, mit Walzenbesen)

	Borstenmaterial	Borstendicke [mm]
Walzenbesen A	Mischbeborstung PES	0,2 - 0,8
Walzenbesen B	Polypropylen	0,5
Walzenbesen C	Polypropylen	0,8

Tabelle 15: Verwendete Walzenbesen

Saugdüse F ist eine Saugluft-Druckluft-Kombination. Als Basis diente hierbei Saugdüse B, wobei an der Rückseite über die gesamte Arbeitsbreite eine 10 mm breiter Spalt für Druckluft eingebaut wurde. **Bild 31** zeigt ein Schema dieser kombinierten Saugdüse. Die Druckluft wird durch ein zusätzliches Radialgebläse erzeugt. Ein Notstromaggregat versorgt den Elektromotor des Gebläses mit der notwendigen Versorgungsspannung.

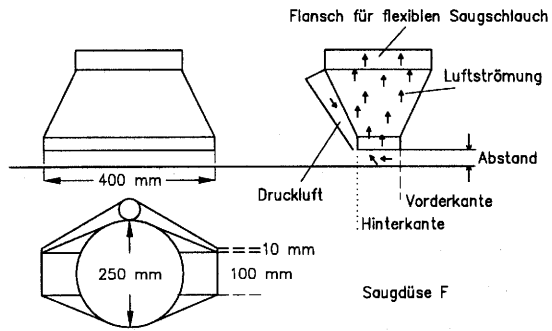


Bild 31: Schematische Darstellung der Saugdüse F (senkrecht ansaugend, 400 mm breit, Saugdruckdüse)

6.5 Messung der Bodenrauheit

6.5.1 Methoden zur Erfassung der Oberflächengestaltung

Zur Erfassung der Oberflächengestaltung von Böden werden unterschiedliche Methoden beschrieben [56]. Es werden taktil und berührungslos arbeitende Verfahren zur Messung der Rauheit verwendet. Berührungslos arbeitende Verfahren messen Abstände mittels Lasertriangulation [57] im Senkrechtschnitt. Taktile Verfahren tasten die Oberfläche zum Beispiel mit Taststäben im Senkrechtschnitt ab [58] oder integrieren durch Verhältnisbildung der Auswertlänge mit der Länge einer, der Oberfläche aufgelegten flexiblen feingliedrigen Gliederkette [59].

Aufgrund der schnellen einfachen Handhabung wurde zur Untersuchung und Beschreibung der Oberflächengestaltung der Versuchsflächen ein berührungslos arbeitendes Verfahren nach dem Lasertriangulationsprinzip eingesetzt.

Bild 32 zeigt das Meßgerät im Feldeinsatz. Ein Laserabstandssensor, angebracht an einer Lineareinheit, tastet die Oberfläche ab. Mit einem Meßbereich des Sensors zur Abstandsbestimmung von ± 5 cm können Bodenunebenheiten bis zu einer Höhe von 10 cm erfaßt werden. Der Lichtpunktdurchmesser des verwendeten Sensors beträgt 1,5 mm. Ein Lichtpunktdurchmesser von 1,5 mm erlaubt nur eine horizontale Auflösung der Oberfläche in diesem Bereich. LED-Sensoren, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten, sind kostengünstiger einzusetzen, haben jedoch bei gleichem Meßbereich einen Lichtpunktdurchmesser von 8 mm [60]. Folglich sind sie zur genauen Oberflächenbeschreibung von Bodenoberflächen weniger geeignet.

Vor Abtastung der Bodenoberfläche wurden lose liegende Strohreste von der Oberfläche entfernt, so daß ein ungestörtes Abtasten der Bodenoberfläche möglich war.

Das Schema des Meßgerätes zur Aufnahme der Bodenoberflächenbeschaffenheit ist in **Bild 32** dargestellt. An einer Lineareinheit mit einer Länge von 1,5 m befindet sich ein Laserabstandssensor zur Abtastung des Abstandes von der Bodenoberfläche. Die Lineareinheit dient zur Führung des Sensors mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit von 2 cm/s über die abzutastende Oberfläche.

Die Signale des Sensors werden von einem portablen Meßrechner aufgezeichnet und abgespeichert. Die Abtastfrequenz betrug bei den Messungen 100 Hz. Eine Schablone am Anfang und Ende der Meßstrecke, Bild 32, diente der genauen Kalibrierung der Vorschubgeschwindigkeit, da diese Länge von 0,9 m immer konstant gehalten wurde und auf dem Meßschieb deutlich zu entnehmen ist.

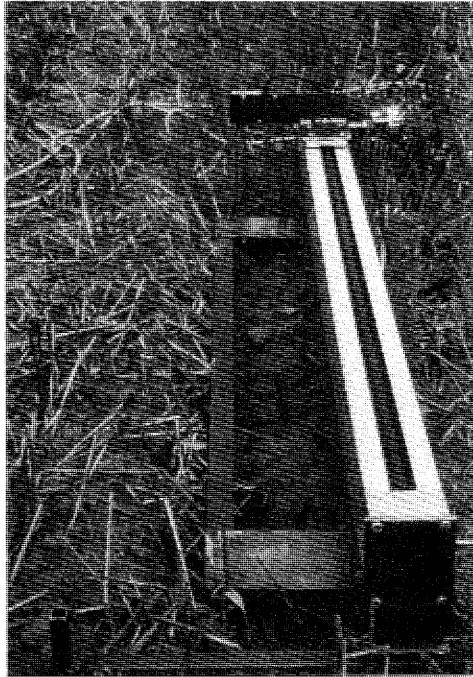


Bild 32: Meßgerät zur Bestimmung der Bodenrauheit

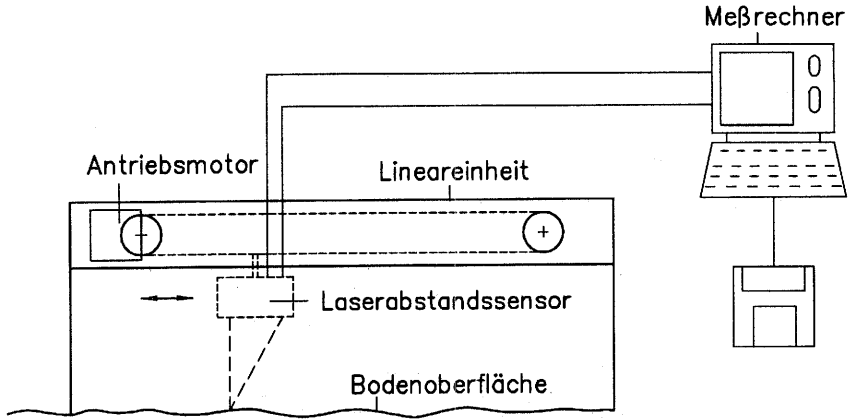


Bild 33: Schema des Meßgerätes zur Bestimmung der Bodenrauheit

6.5.2 Charakterisierung der Versuchsflächen

Im **Versuchsjahr 1994**, welches sich durch einen sehr trockenen Sommer auszeichnete, zeigte sich die in **Bild 34** dargestellte Oberfläche. Eine Woche nach dem Getreidedrusch im August 1994 wurde dieser typische Verlauf aufgenommen. Die Oberfläche ist relativ glatt mit Erhebungen und Senken von etwas mehr als 10 mm. Dazwischen bildeten sich durch die trockene Witterung jedoch sehr schnell Schumpfrisse, die auf dem Meßschrieb sehr deutlich erkennbar sind. Diese Risse können einige Zentimeter in den Boden hineinreichen, manche sogar bis über 50 mm, also außerhalb des Meßbereiches des Laserabstandssensors liegen.

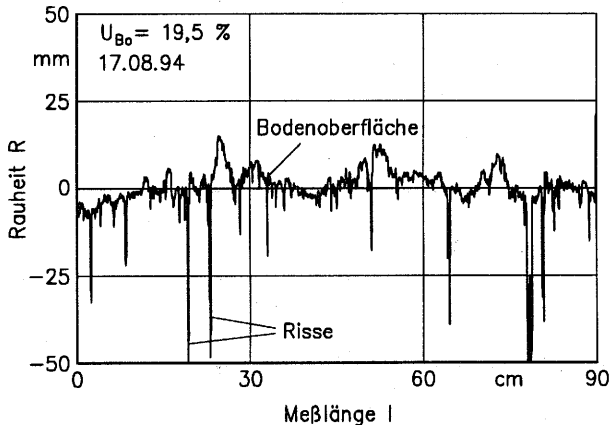


Bild 34: Oberflächenbeschaffenheit der Versuchsfläche am 17.08.1994

Im Verlaufe des Sommer trocknete der Boden immer weiter aus, so daß die Anzahl und Größe der Schumpfrisse weiter zunahm, **Bild 35**. Die Oberflächengestalt war inzwischen so rissig geworden, daß man nicht mehr von einer glatten Oberfläche sprechen konnte.

Für die Anwendung einer pneumatischen Sammeleinrichtung am Mährescher während der Getreideernte zeigten visuelle Beobachtungen des Jahres 1994, daß schon bei der Getreideernte die Bodenoberfläche rissig sein kann. In diese Risse fallen Unkrautsamen und sind bei der Getreideernte durch eine pneumatische Sammeleinrichtung nicht zu erfassen.

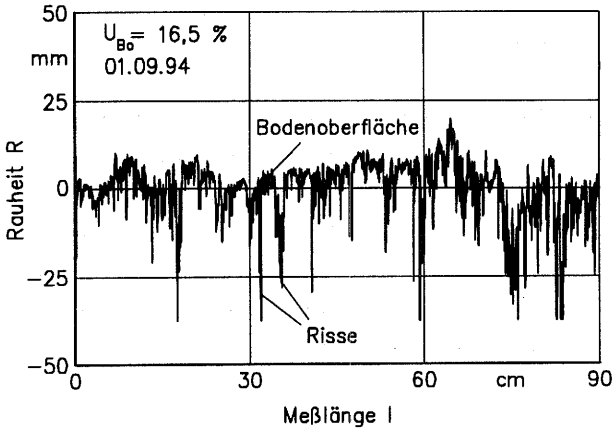


Bild 35: Oberflächenbeschaffenheit der Versuchsfläche am 01.09.94

Im **Versuchsjahr 1995** gab es aufgrund der feuchten Witterung keine Schrumpfrißbildung. Vielmehr wurde der Boden durch den regelmäßigen Regen eingeebnet, so daß nur noch einzelne Steine aus der ansonsten glatten Oberfläche herausragten, **Bild 36**.

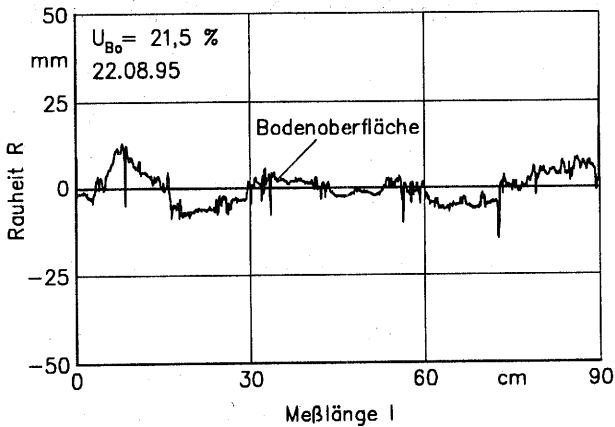


Bild 36: Oberflächenbeschaffenheit der Versuchsfläche am 22.08.95

Auch im Verlaufe der Versuchssaison zeigten sich durch die häufigeren Regenfälle keinerlei Unterschiede hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit, **Bild 37**. Im Versuchsjahr 1995 änderten sich die Versuchsbedingungen, bezüglich der Bodenoberflächengestaltung, zwischen Ernte der Versuchsfläche und Ende der Versuchssaison nicht.

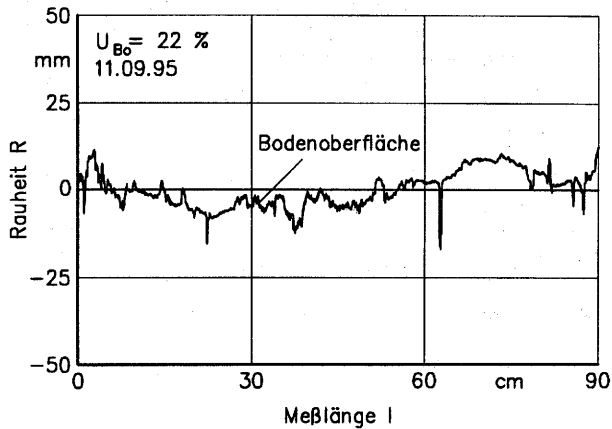


Bild 37: Oberflächenbeschaffenheit der Versuchsfläche am 11.09.95

Rauheitskennwerte der untersuchten Flächen

Aus den dargestellten Meßwerten der Profiltiefen lassen sich Rauheitskennwerte nach DIN 4762 [61] berechnen. Als Kennzahlen wurden der arithmetische Mittenrauhwert R_a und die Standardabweichung vom arithmetischen Mittenrauhwertes R_s verwendet. **Tabelle 16** zeigt die Kennwerte für die unterschiedlichen Versuchsstandorte. 1994 war gekennzeichnet durch Reißbildung im Verlaufe des Sommers. Sowohl der arithmetische Mittenrauhwert, als auch die Standardabweichung vom arithmetischen Mittenrauhwert stiegen an. Am 01.09.94 wurde ein arithmetischer Mittenrauhwert von 7,5 mm ermittelt, bei einer Standardabweichung von über 30 mm.

1995 wurde die Fläche im Laufe des Sommers durch wiederholten Regen eingeebnet. Es gab keine Reißbildung, wie die Standardabweichung des arithmetischen Mittenrauhwertes zeigt. Die Standardabweichung stieg etwas an, erreichte aber nur einen Bruchteil des Wertes des Vorjahres.

	Datum	arithmetischer Mittenrauhwert R_a [mm]	Standardabweichung vom arithmetischen Mittenrauhwert R_s [mm]
Beton	04.04.95	0,25	0,11
Feld 1	17.08.94	4,0	24,4
Feld 1	01.09.94	7,3	31,5
Feld 2	22.08.95	3,6	3,8
Feld 2	11.09.95	6,2	9,0

Tabelle 16: Rauheitskennwerte der verwendeten Versuchsstandorte

7 Versuchsergebnisse

7.1 Luftströmungsprofile unter den Saugdüsen

Zum besseren Verständnis der pneumatischen Aufnahme wurden Luftgeschwindigkeitsverteilungen unter den Saugdüsen aufgenommen. Zusätzlich ermöglicht die Kenntnis der maximalen Saugluftgeschwindigkeit und der Geschwindigkeitsverteilung direkt an der Bodenoberfläche eine Weiterentwicklung von Saugdüsenformen.

Mittels eines Staurohres, angebaut an eine Lineareinheit, wurden die Staudrücke unter den Saugdüsen im Abstand von 5 mm von der Bodenoberfläche linienförmig kreuzweise erfaßt. Zur Erfassung der Drücke dienten kapazitive Drucksensoren. Die Luftgeschwindigkeiten wurden indirekt aus diesen Staudrücken berechnet. Durch eine konstante Verschiebegeschwindigkeit des Staurohres war eine örtliche Zuordnung der gemessenen Luftgeschwindigkeiten möglich. Ein Verschieben der Lineareinheit ermöglichte ein rasterweises Abtasten des Luftgeschwindigkeitsprofils.

Alle Saugdüsen wurden bei einem Abstand h von 30 mm von der Bodenoberfläche und eingebauten Gummidichtlippen untersucht. Als Bodenoberfläche diente hierbei Beton.

Bild 38 stellt das Luftgeschwindigkeitsprofil unter bzw. neben der Saugdüse dreidimensional dar. **Bild 39** zeigt einen Teil dieses Profils als Schnitt durch die Längsachse der Saugdüse, so ist eine genaue Beschreibung der Luftgeschwindigkeitsverteilung unter der Mitte der Saugdüse möglich. Unter der vorderen Kante der Saugdüse A wurden bei einem Luftdurchsatz von $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$ Luftgeschwindigkeiten von 90 m/s gemessen. 25 mm vor dieser Kante fällt die Luftgeschwindigkeit auf etwa 65 m/s ab, um 50 mm vor der Saugdüsenkante eine hohe Luftgeschwindigkeit in Höhe von ca. 80 m/s zu erreichen. Auch an der mit einer Gummidichtlippe abgedichteten Rückwand der Saugdüse werden die höchsten Luftgeschwindigkeiten nicht nur im Spalt unter der Kante, sondern auch 50 mm hinter diesem gemessen. Unter den abgedichteten Seitenwänden werden Luftgeschwindigkeiten von ca. 80 m/s erreicht. Insgesamt zeigt die Standardeinstellung für die Feldversuche bei einem Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche von 30 mm sehr hohe Luftgeschwindigkeiten, die für den Transport fast jeden Partikels ausreichen sollten. Rechnerisch läßt sich aus dem Luftdurchsatz für den Spalt zwischen Düsenrand und Boden eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 60 m/s ermitteln. Die wirksame Länge der Saugdüse beträgt 260 mm. Die

wirksame Länge ist die Länge unter der Saugdüse bei der eine Luftgeschwindigkeit von 25 m/s überschritten wird.

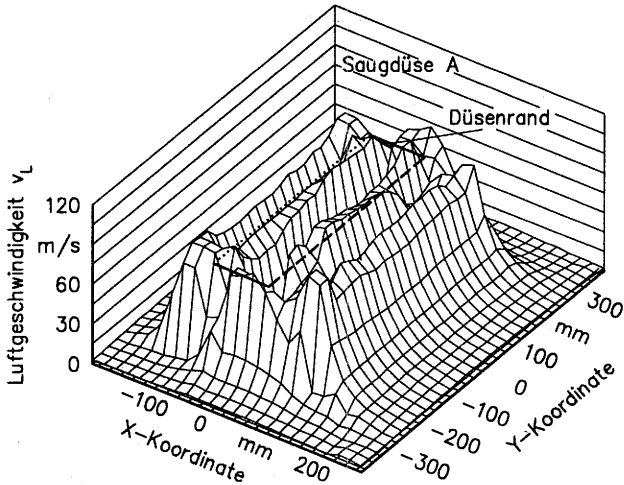


Bild 38: Luftgeschwindigkeitsprofil unter Saugdüse A (senkrecht ansaugend, 500 mm breit, Gummidichtlippe, Luftdurchsatz 1,48 m³/s)

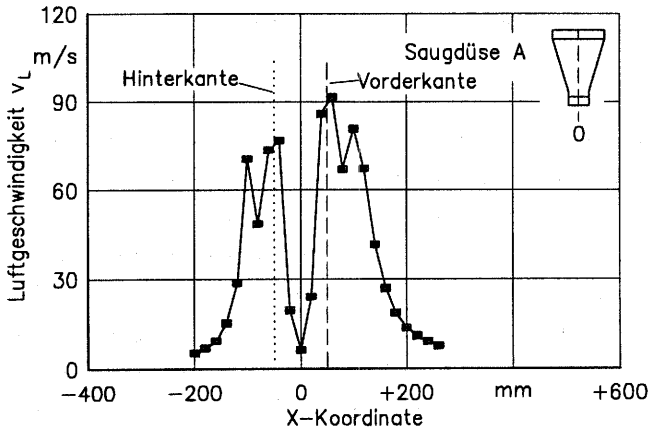


Bild 39: Luftgeschwindigkeiten unter der Saugdüsenmitte der Saugdüse A

Bei Saugdüse B wird die höchste Luftgeschwindigkeit vor der Saugdüse gemessen, **Bild 40** und **41**. Unter der Vorderkante der Saugdüse wird eine Luftgeschwindigkeit von ca. 85 m/s erreicht. Im Abstand von 25 mm von dieser Kante werden geringere Luftgeschwindigkeiten im

Bereich von 65 m/s gemessen, um dann ca. 50 mm vor der Vorderkante auf 80 m/s anzusteigen. Unter der abgedichteten Rückwand beträgt die Luftgeschwindigkeit 70 m/s. 30 mm von der Rückwand entfernt beträgt die Luftgeschwindigkeit 45 m/s. In einem Abstand von 60 mm von der hinteren Kante werden wieder Luftgeschwindigkeiten im Bereich von 60 m/s erreicht. Die wirksame Länge dieser Saugdüse beträgt 280 mm.

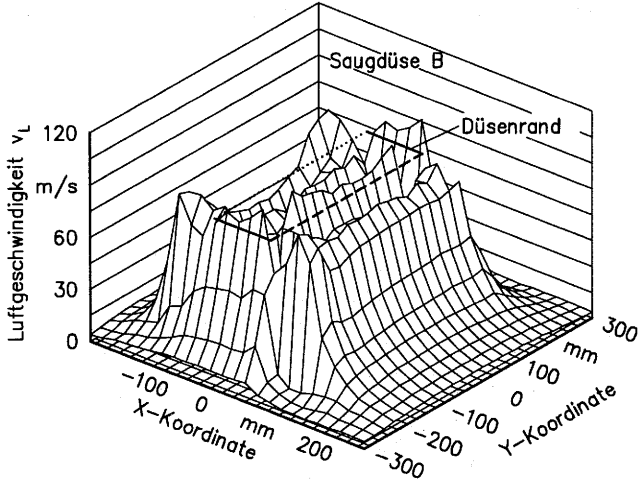


Bild 40: Luftgeschwindigkeitsprofil unter der Saugdüse B (senkrecht ansaugend, 400 mm breit, Gummidichtlippe, Luftdurchsatz $1,34 \text{ m}^3/\text{s}$)

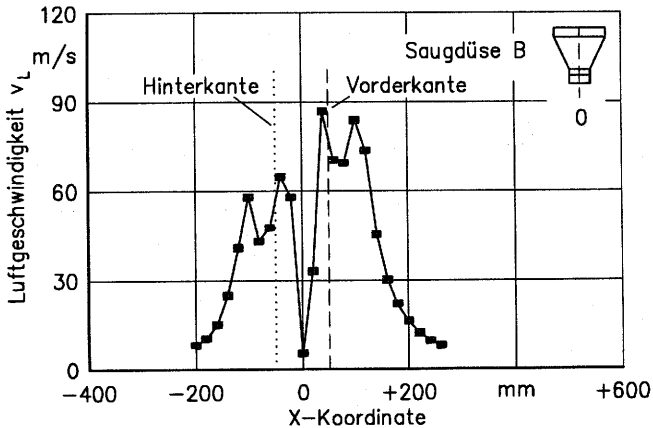


Bild 41: Luftgeschwindigkeiten unter der Saugdüsenmitte der Saugdüse B

Für die beiden waagrecht ansaugenden Saugdüsen C und D werden ähnliche maximale Luftgeschwindigkeiten gemessen wie für die Saugdüsen A und B, **Bild 42** und **44**. Die maximalen Luftgeschwindigkeiten werden bei diesen Saugdüsen im Bereich der Saugdüsenkanten festgestellt. Zusätzliche Maxima der Luftgeschwindigkeit außerhalb der Kanten der Saugdüsen existieren nicht, **Bild 43** und **45**. Die Luftströmung scheint in beiden Fällen gerichtet zu sein. Unter der Hinterkante besitzt Saugdüse D eine niedrigere Luftgeschwindigkeit als Saugdüse C. Sie erreicht

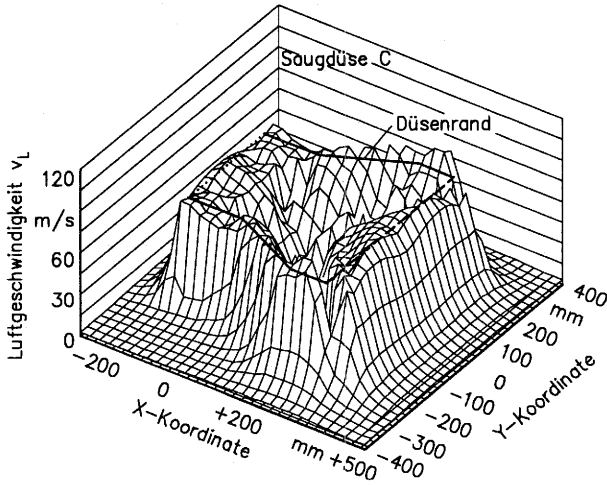


Bild 42: Luftgeschwindigkeitsprofil unter der Saugdüse C (waagrecht ansaugend, Gummidichtlippe, 500 mm breit; Luftdurchsatz 1,53 m³/s)

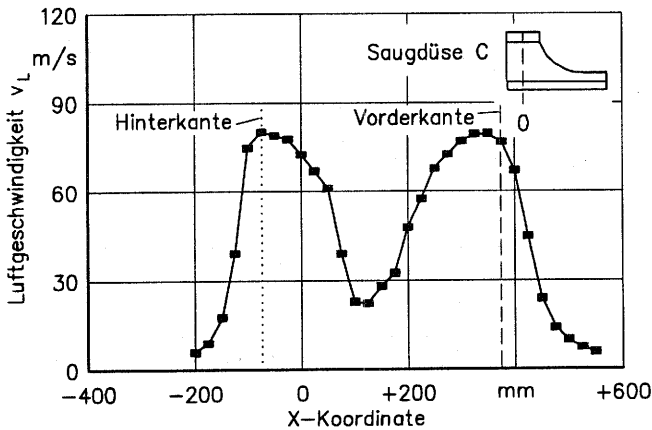


Bild 43: Luftgeschwindigkeiten unter der Saugdüsenmitte der Saugdüse C

nur 50 m/s im Vergleich zu 80 m/s bei Saugdüse C. Der Einbau des Luftleitbleches bewirkt diese Kanalisierung der Saugluftströmung auf den vorderen Bereich der Saugdüse. Die wirksamen Längen der Saugdüsen C bzw. D betragen bei den genannten Einstellungen für beide Saugdüsen 525 bzw. 500 mm.

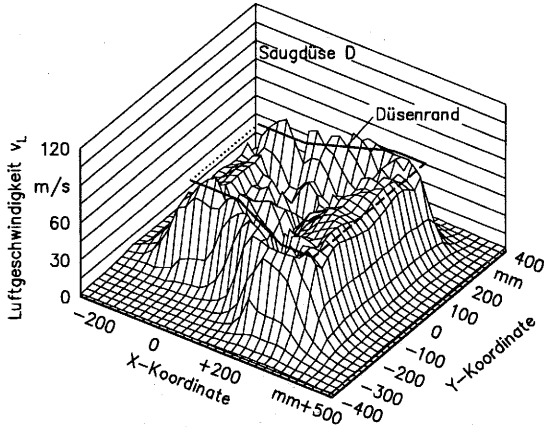


Bild 44: Luftgeschwindigkeitsprofil unter Saugdüse D (Waagrecht ansaugend, Gummidichtlippe, 500 mm breit, Luftleitblech, Luftdurchsatz 1,43 m³/s)

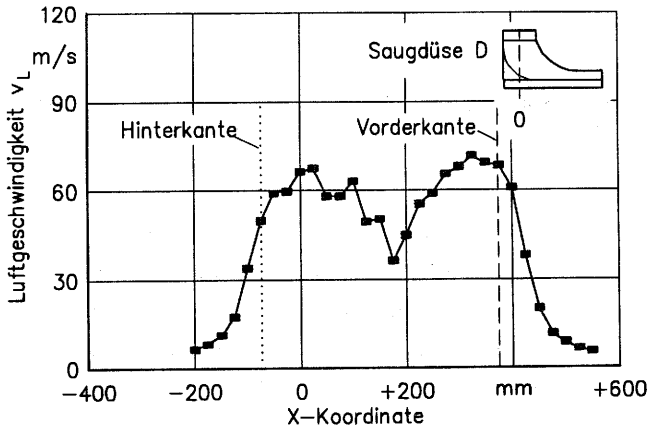


Bild 45: Luftgeschwindigkeiten unter der Saugdüsenmitte der Saugdüse D

Für die Saugdüse E (Saugdüse mit Walzenbesen) werden sehr viel niedrigere Luftgeschwindigkeiten gemessen, **Bild 46** und **47**. Maximalwerte der Luftgeschwindigkeit unter den Seitenflanken und unter der Vorder- bzw. Hinterkante liegen in der Größenordnung von 35-40 m/s. Diese sind sehr viel niedrigere Werte, als bei den anderen Saugdüsen festgestellt worden sind. Diese Werte sind deshalb so niedrig, weil Saugdüse E eine sehr viel größere Kantenlänge unter dem Düsenrand besitzt. Diese vergrößerte Fläche unter dem Düsenrand führt trotz der Gummidichtlippen zu verringerten Luftgeschwindigkeiten unter dem Rand und damit auch unterhalb der Saugdüse.

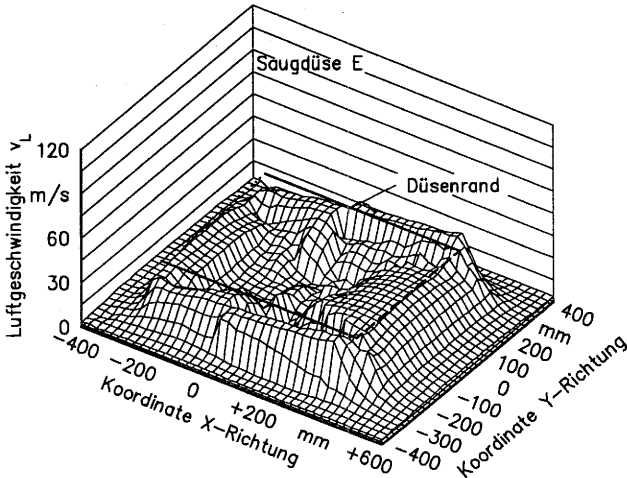


Bild 46: Luftgeschwindigkeitsprofil unter Saugdüse E (waagrecht ansaugend, Gummidichtlippe, Walzenbesen, Luftdurchsatz $1,58 \text{ m}^3/\text{s}$)

Alle Saugdüsen besitzen unter der Vorderkante eine gleichmäßige Luftgeschwindigkeitsverteilung über der gesamten Saugdüsenbreite. Für einen Abstand der Saugdüse von 30 mm von der Bodenoberfläche kann eine gleichmäßige pneumatische Aufnahme über der gesamten Baubreite der Saugdüse erwartet werden. Eine wirksame Düsenlänge wird für Saugdüse E aufgrund der insgesamt relativ geringen Luftgeschwindigkeiten nicht angegeben.

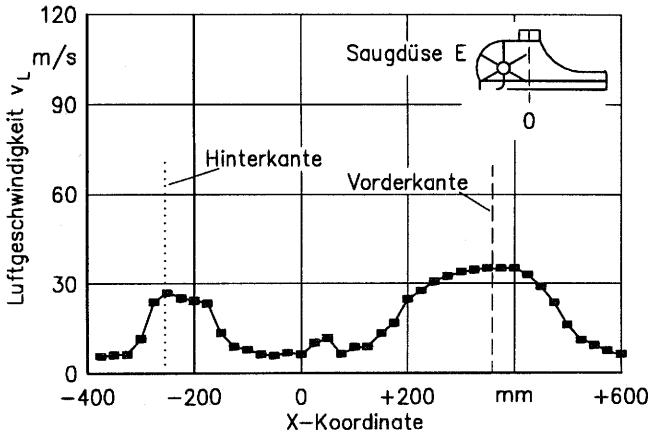


Bild 47: Luftgeschwindigkeiten unter der Saugdüsenmitte der Saugdüse E

Berechnete Saugluftgeschwindigkeiten für unterschiedliche wirksame Düsenlängen

Für die Saugdüsen A, B, C und D sind die gemessenen wirksamen Saugdüsenlängen angegeben. Mit diesen Werten läßt sich die notwendige Saugluftgeschwindigkeit für die pneumatische Aufnahme von Samen berechnen, siehe Tabelle 7. Beispielhaft sind in **Tabelle 17** berechnete Saugluftgeschwindigkeiten zur pneumatischen Aufnahme von *Lolium perenne* und *Galium aparine* angegeben. Die Einstellungsparameter sind die gleichen wie für Tabelle 7. Für *Galium aparine* und *Lolium perenne* ist die Saugluftgeschwindigkeit bei einer wirksamen Düsenlänge von über 260 mm konstant. Zur pneumatischen Aufnahme von *Lolium perenne* wird bei einer wirksamen Düsenlänge von 260 mm eine Saugluftgeschwindigkeit von 4,72 m/s benötigt, bei einer wirksamen Düsenlänge von 500 mm ist es 4,50 m/s. Zur Aufnahme von *Galium aparine* werden 7,40 bzw. 7 m/s benötigt.

Diese berechneten Luftgeschwindigkeiten sind wesentlich niedriger als die gemessenen Luftgeschwindigkeiten unter den Saugdüsen. Die gemessenen Luftgeschwindigkeiten sind theoretisch ausreichend, um diese Samenarten sicher von Oberflächen aufzunehmen.

Saugdüse	wirksame Saugdüsenlänge l_E [mm]	Samenart	Saugluftgeschwindigkeit v_{La} [m/s]
A	260	<i>Lolium perenne</i>	4,77
B	280		4,72
C	525		4,49
D	500		4,50
A	260	<i>Galium aparine</i>	7,48
B	280		7,40
C	525		7,04
D	500		7,00

Tabelle 17: Berechnete Saugluftgeschwindigkeiten zur pneumatischen Aufnahme

7.2 Versuche auf Beton-Fahrbahn

Zur Untersuchung der pneumatischen Aufnahme wurden Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Flächen und auf einer Beton-Fahrbahn durchgeführt. Die Versuche auf Beton-Fahrbahn dienten als Vorversuche bzw. zur Absicherung der Einflüsse unterschiedlicher Parameter. Grundsätzliche Einflüsse der Versuchsparameter auf die pneumatische Aufnahme werden bei diesen Versuchen deutlich.

7.2.1 Einfluß des Luftdurchsatzes und des Abstands

Zur Untersuchung des Einflusses des Luftdurchsatzes auf die pneumatische Aufnahme wurde Saugdüse A mit einer Arbeitsbreite von 500 mm eingesetzt. Die Überfahrgeschwindigkeit wurde auf 1,14 m/s eingestellt. Um Saugdüsen unterschiedlicher Arbeitsbreite miteinander vergleichen zu können wird der Luftdurchsatz als den auf einen Meter Arbeitsbreite bezogenen Luftdurchsatz angegeben, \bar{V}_L . Bei einem Abstand h der Saugdüse von der Bodenoberfläche von 60 mm war ein bezogener Luftdurchsatz von 2,5 $\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ notwendig, um einen Aufsaugegrad von 90 % zu erreichen bzw. 90 % der ausgelegten Samenmenge aufzusaugen, **Bild 48**. Der Aufsaugegrad Z bezeichnet den prozentualen Massenanteil der aufgenommenen an der ausgelegten Samenmenge. Bei einem geringeren Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche verringerte sich der

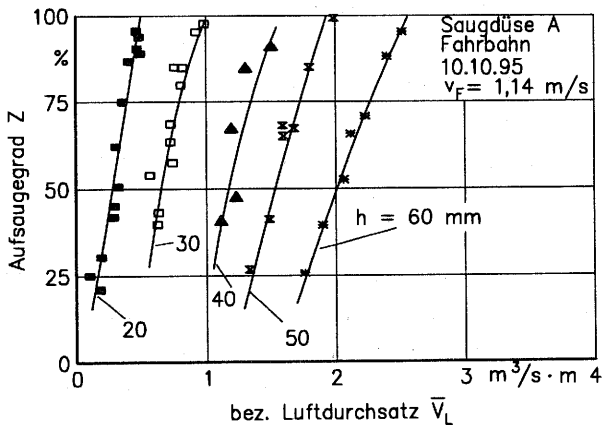


Bild 48: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von dem bezogenen Luftdurchsatz bei unterschiedlichen Abständen

bezogene Luftdurchsatz zur Aufnahme von 90 % der ausgelegten Samen. Ein bezogener Luftdurchsatz von $0,5 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ reichte bei einem Abstand von 20 mm aus, um einen Aufsaugegrad von 90 % zu erreichen. Durch die Verringerung des Abstands von 60 auf 20 mm verringerte sich der bezogene Luftdurchsatz um Aufsauegrade von 90 % zu erreichen um 80 %.

Die Abhängigkeit des Aufsauegrades vom bezogenen Luftdurchsatz ist im Bild 48 deutlich zu erkennen. Ein bezogener Luftdurchsatz von $1,75 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ erreicht bei einem Abstand von 60 mm einen Aufsauegrad von 25 %. Für die Aufnahme von 90 % der ausgelegten Samen werden $2,5 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ benötigt. Bei einem Abstand von 20 mm genügt ein bezogener Luftdurchsatz von $0,2 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$, um 25 % der Samen aufzunehmen. Für einen Aufsauegrad von 90 % werden $0,5 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ benötigt. Insgesamt ist der Verlauf der Luftdurchsatz-Aufsauegrad-Kurve für einen großen Abstand flacher als für einen geringen Abstand.

7.2.2 Einfluß der Luftleistung und des Abstands

Zum Vergleich unterschiedlicher Einflußgrößen auf die pneumatische Aufnahme reicht eine Betrachtung des bezogenen Luftdurchsatzes nicht aus. Für eine Auslegung von pneumatischen Förder- und Aufnahmeanlagen sind Druckverluste zusätzlich zu berücksichtigen. Druckverluste treten bei der pneumatischen Aufnahme sowohl an der Saugdüse als auch an den Rohrleitungen, am Zyklon etc. auf. Aus dem Produkt von Druckverlust und Luftdurchsatz läßt sich die Luftleistung P_L berechnen. Auch die Luftleistung wird auf die Arbeitsbreite der Saugdüse bezogen und als bezogene Luftleistung \bar{P}_L angegeben. Die angegebenen Luftleistungen beziehen sich immer auf die Luftleistungen an der Saugdüse, da eine Untersuchung der pneumatischen Aufnahme an der Saugdüse vorgenommen wird, der Leistungsbedarf für die übrigen pneumatischen Bauteile des Versuchstandes bleiben unberücksichtigt.

Werden die Ergebnisse aus Bild 48 als Abhängigkeit von der bezogenen Luftleistung dargestellt, **Bild 49**, so zeigen sich sehr große Unterschiede der Versuchsvarianten. Zum Vergleich wurde eine logarithmische Darstellung gewählt. Bei einem Abstand von 60 mm wird eine bezogene Luftleistung von $5 \text{ kW}/\text{m}$ benötigt, um 90 % der ausgelegten Samenmenge aufzunehmen. Eine Luftleistung von $0,05 \text{ kW}/\text{m}$ genügt, um bei einem Abstand von 20 mm einen Aufsauegrad von 90 % zu erreichen. Eine Verringerung des Abstandes von 60 mm auf 20 mm verringerte den Luftleistungsbedarf um den Faktor 100.

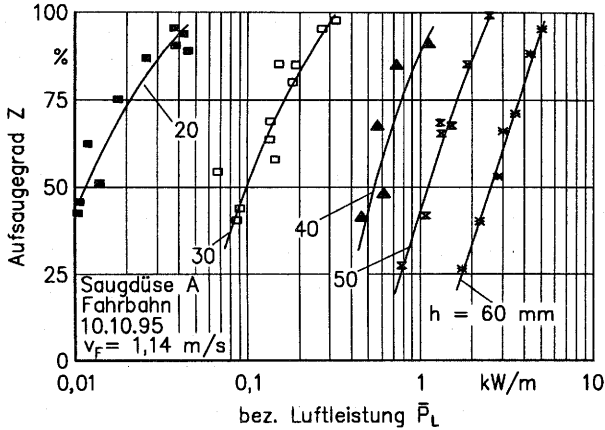


Bild 49: Abhängigkeit des Aufsauggrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlichen Abständen

7.2.3 Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit

Zusätzlich zum Luftdurchsatz bzw. zur Luftleistung und dem Abstand hat die Überfahrgeschwindigkeit einen Einfluß auf die pneumatische Aufnahme, **Bild 50**. Die Untersuchung zeigte, daß bei einer höheren Überfahrgeschwindigkeit der Aufsauggrad zurückgeht. Saugdüse A bei einem Abstand von 30 mm wurde für diese Versuche eingesetzt. Eine Erhöhung der Überfahrgeschwindigkeit von 0,43 auf 1,39 m/s, bei einem bezogenen Luftdurchsatz von $0,8$ m³/s·m,

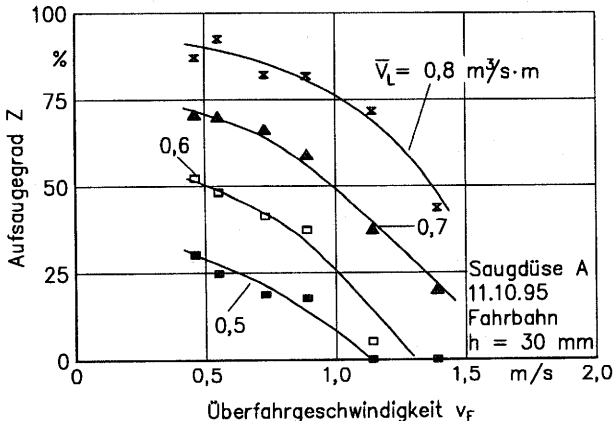


Bild 50: Abhängigkeit des Aufsauggrades von der Überfahrgeschwindigkeit bei unterschiedlichen bezogenen Luftdurchsätzen

verringerte den Aufsaugegrad von 85 % auf 44 %. Bei einem bezogenen Luftdurchsatz von $0,6 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ wurden bei einer Überfahrgeschwindigkeit von $1,39 \text{ m/s}$ überhaupt keine Samen mehr aufgenommen.

Dem Bild kann zusätzlich entnommen werden, daß eine starke Erhöhung der Überfahrgeschwindigkeit durch eine leichte Erhöhung des bezogenen Luftdurchsatzes kompensiert werden kann. Bei einer Überfahrgeschwindigkeit von $0,43 \text{ m/s}$ und einem bezogenen Luftdurchsatz von $0,5 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ wurde ein Aufsaugegrad von 32 % erreicht. Im Vergleich dazu wurden bei einer Überfahrgeschwindigkeit von $1,39 \text{ m/s}$ und einem bezogenen Luftdurchsatz von $0,8 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ 44 % der ausgelegten Samen pneumatisch aufgenommen. Eine Erhöhung der Überfahrgeschwindigkeit auf das dreifache konnte durch eine Erhöhung des bezogenen Luftdurchsatzes um 60 % überkompensiert werden. Es sollte ein möglichst hohe Überfahrgeschwindigkeit angestrebt werden, um bei Absaugen einer Fläche insgesamt eine möglichst geringe Luftmenge durch eine pneumatische Anlage zu bewegen. Denn eine zusätzliche Luftbewegung verbraucht zusätzliche Energie zur Bewegung der Luft.

7.2.4 Einfluß der Gummidichtlippen

Um die Düsenkanten einer Bodenoberfläche flexibel anpassen zu können wurden Gummidichtlippen eingesetzt. Der Einfluß dieser flexiblen Abdichtungsart wurde auch auf der Beton-Fahrbahn untersucht. Dazu wurde die Saugdüse A an der Hinterkante und an den beiden Seiten abgedichtet. Die Gummidichtlippe ist dabei so angebracht, daß sie im unbelasteten Zustand die Bodenoberfläche berührt. Durch in die Saugdüse einströmende Saugluft wird sie bei hohen Luftdurchsätzen teilweise in den Luftstrom umbogen und in die Düse hineingezogen.

Ohne Verwendung der Gummidichtlippen wurde ein Aufsaugegrad von 90 % bei einem bezogenen Luftdurchsatz von $1,3 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ erreicht, **Bild 51**. Der Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche betrug bei dieser Untersuchung 40 mm. Wurden die Gummidichtlippen an der Hinterkante und den beiden Seiten der Saugdüse angebracht, so wurde ein Aufsaugegrad von 90 % bereits bei einem bezogenen Luftdurchsatz von $0,55 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ erreicht. Für einen hohen Aufsaugegrad wurde ein deutlich geringerer Luftdurchsatz benötigt.

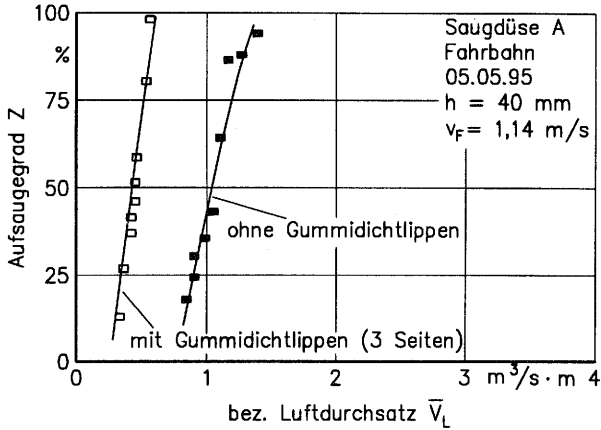


Bild 51: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von dem bezogenen Luftdurchsatz bei unterschiedlicher Abdichtung der Saugdüse A

Die bezogene Luftleistung wird durch die Verwendung der Gummidichtlippen noch deutlicher beeinflusst, **Bild 52**. Auf der Beton-Fahrbahn wurde ein Aufsaugegrad von 90 % bei 0,1 kW/m bzw. 0,5 kW/m mit bzw. ohne Verwendung der Abdichtung erreicht. Die Luftleistung ließ sich auf 20 % des Wertes verringern, wenn Gummidichtlippen verwendet werden.

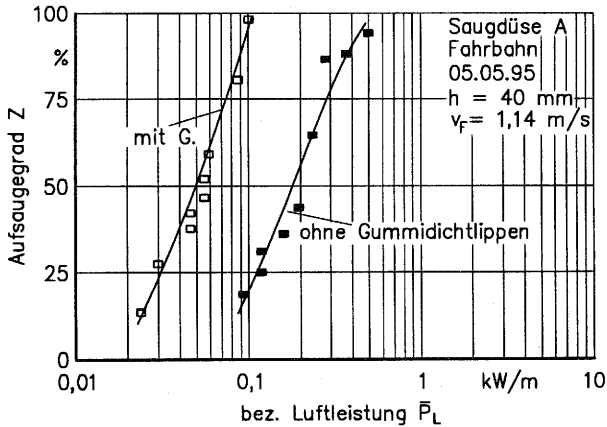


Bild 52: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlicher Abdichtung der Saugdüse A

7.3 Versuche auf landwirtschaftlichen Flächen

Die Versuchsergebnisse zur pneumatischen Aufnahme von Samen auf landwirtschaftlichen Flächen werden nur in Abhängigkeit von der bezogenen Luftleistung dargestellt. Die bezogene Luftleistung ist für Vergleiche besser geeignet als der bezogene Luftdurchsatz, da sie zusätzlich direkt die Druckverluste der Saugdüse beinhaltet. Im Anhang sind die Bilder mit den Versuchsergebnissen in Abhängigkeit des bezogenen Luftdurchsatzes dargestellt.

7.3.1 Einfluß der Versuchsbedingungen

7.3.1.1 Einfluß der Rauheit der Bodenoberfläche

Es zeigte sich, daß eine direkte Übertragung der Ergebnisse der Untersuchungen auf Beton-Fahrbahn auf die der Feldversuche nicht möglich ist. Um einen hohen Aufsaugegrad zu erreichen, mußte die bezogene Luftleistung bei Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Flächen auf einen wesentlich höheren Wert eingestellt werden, **Bild 53**.

Die Bodenrauheit ist dabei mitentscheidend für die pneumatische Aufnahme von Partikeln von der Bodenoberfläche. Zur Untersuchung des Einflusses wurden Versuche auf Beton-Fahrbahn bzw. Getreidestoppel durchgeführt. Verwendet wurde jeweils Saugdüse A ohne Gummidichtlippe. Der Abstand von der Bodenoberfläche betrug 30 mm und die Überfahrgeschwindigkeit 1,14 m/s. Der arithmetische Mittenrauhwert betrug auf der landwirtschaftlichen Fläche 3,9 mm bei einer Standardabweichung von 8,5 mm. Analoge Werte für die Beton-Fahrbahn betragen 0,25 mm bzw. 0,11 mm.

Bild 53 zeigt die stark unterschiedliche Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlicher Oberflächenrauheit. Zur besseren Verdeutlichung wurde ein logarithmischer Maßstab für die bezogene Luftleistung gewählt. Auf Beton wurde schon bei einer bezogenen Luftleistung von 0,2 kW/m über 90 % des Samenmaterials pneumatisch aufgenommen. Für den gleichen Aufsaugegrad mußte auf Getreidestoppel eine bezogene Luftleistung von 6 kW/m eingesetzt werden. Dieses entspricht dem 30-fachen Leistungsbedarf.

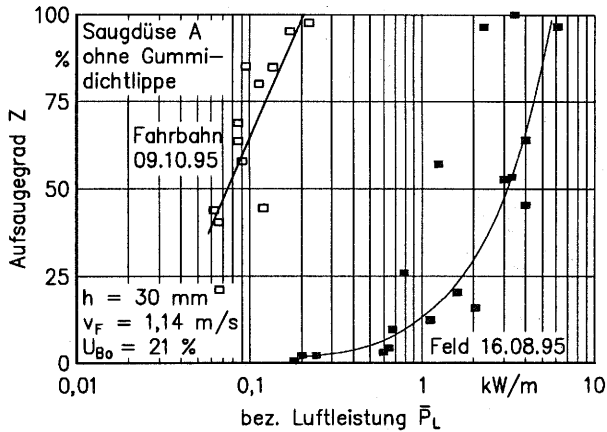


Bild 53: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlichem Untergrund als Versuchsfläche

7.3.1.2 Einfluß des Bodenfeuchtegehaltes

Der Einfluß des Bodenfeuchtegehaltes auf die pneumatische Aufnahme ist anhand einer Versuchsreihe aus dem Versuchsjahr 1995 dargestellt. Die Saugdüse A, ohne Gummidichtlippe, wurde an 3 unterschiedlichen Versuchstagen bei unterschiedlichen Bodenfeuchtegehalten eingesetzt. Der Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche betrug 30 mm. Am 16.08.95 wurde unter feuchten Bedingungen bei einem Bodenfeuchtegehalt U_{B0} von 21 % ein Aufsaugegrad von 75 % bei einer bezogenen Luftleistung von 2,9 kW/m erreicht, **Bild 54**. Am 17.08.95 und 23.08.95 bei Bodenfeuchtigkeiten von 18,5 % bzw. 22 % wurden gleiche Aufsaugegrade bei einer bezogenen Luftleistung von ca. 3,5 kW/m erreicht. Bei Bodenfeuchtigkeiten im Bereich zwischen 18,5 % und 22 % zeigten sich keine deutlichen Unterschiede bei der pneumatischen Aufnahme. Schwankungen der Aufsaugegrade im dargestellten Bereich können aufgrund der starken Variation der Versuchsergebnisse auftreten.

Der Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse \bar{m}_{Ges} ist in **Bild 55** dargestellt. Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse bezieht die Aufnahme von Bodenmaterial und Strohrefen auf 1 ha Fläche. Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse nimmt mit steigender bezogener Luftleistung zu. Unabhängig vom Bodenfeuchtegehalt wird bei einer bezogenen Luftleistung von 5 kW/m eine bezogene Gesamtaufnahme von 1,5 t/ha erreicht. Es zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen der bezogenen Luftleistung und der

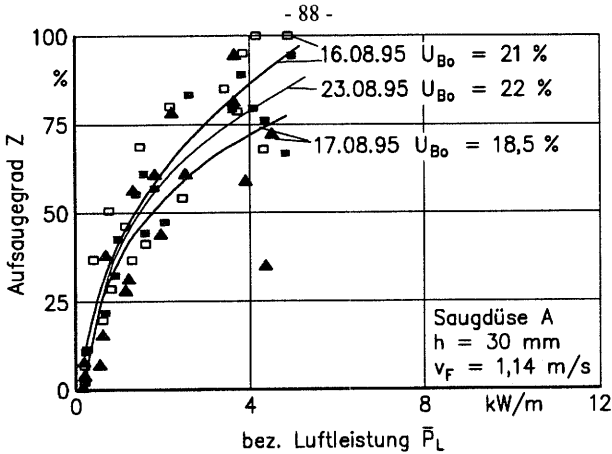


Bild 54: Abhängigkeit des Aufsauggrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlichen Bodenfeuchtegehalten

bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse. Die Bodenfeuchtegehalte waren im August 1995 stets so hoch, daß der Oberboden aufgrund starker Adhäsionskräfte nur zu einem geringen Teil aufgenommen wurde.

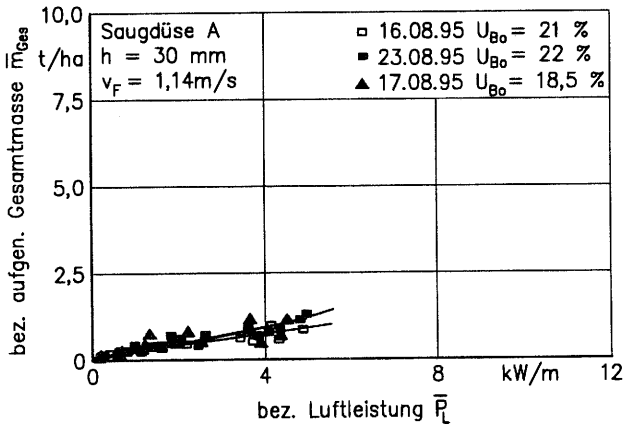


Bild 55: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlichen Bodenfeuchtegehalten

Insgesamt zeigte der Bodenfeuchtegehalt einen geringen Einfluß auf die pneumatische Aufnahme. Geringe Unterschiede im Bodenfeuchtegehalte wirken sich auf die Aufsauggrade aus. Die relative bezogene Gesamtaufnahme zeigte nur geringe Unterschiede in Abhängigkeit des Bodenfeuchtegehaltes.

7.3.1.3 Einfluß einer Befeuchtung

Unkrautsamen liegen bei der Getreideernte nicht immer so locker auf der Bodenoberfläche wie unter den Versuchsbedingungen bei den Feldversuchen. Samen können bei der Getreideernte schon einige Tage auf der Bodenoberfläche liegen und dabei durch Feuchtigkeit an Bodenpartikel anhaften, **Bild 56**. Es kann durch aufprallende Regentropfen auch zu einer Verlagerung von feinem Bodenmaterial auf die am Boden liegenden Samen kommen, so daß diese bei der Getreideernte schon teilweise mit Erdboden bedeckt sind, **Bild 56c**). Durch diese unterschiedlichen Zustände wirken sehr verschiedene Adhäsionskräfte auf das Samenkorn.

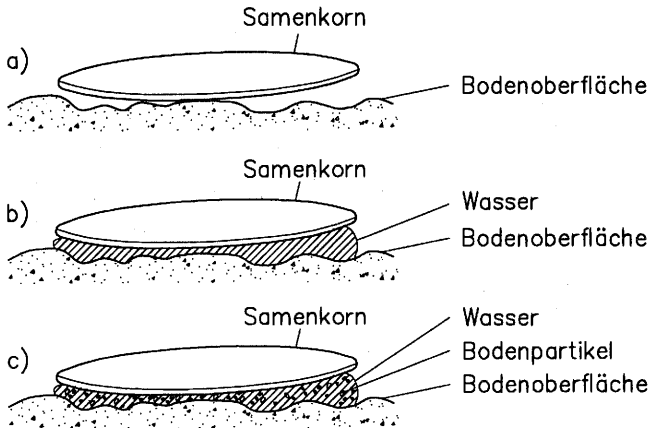


Bild 56: Zustände der auf dem Boden liegenden Samenkörner

Es wurden Untersuchungen zum Einfluß einer Befeuchtung der Samen und der daraus resultierenden Anhaftung an die Bodenoberfläche auf die pneumatische Aufnahme durchgeführt. Hierzu wurden die am Boden liegenden Samen mit einem feintropfigen Wasserstrahl besprüht. Die Wassermenge bei diesen Versuchen entsprach einer Niederschlagshöhe von 1 mm.

Zusätzlich wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, inwiefern sich eine Bedeckung der Samen mit einer geringen Menge Bodenmaterials und anschließendem Besprühen auf das Aufnahmeverhalten durch die Saugdüse auswirkt. Das Bodenmaterial lag nach dem Besprühen am Samen, wie in **Bild 56c**) dargestellt ist.

Bild 57 zeigt den Einfluß dieser unterschiedlichen Haftungs Zustände des Samenkornes auf die pneumatische Aufnahme. Trocken auf dem Boden liegende Samen wurden relativ leicht aufgenommen. Bei den Versuchen genügte eine bezogene Luftleistung von 2,2 kW/m zur pneumatischen Aufnahme von 75 % der ausgelegten Samen. Durch Feuchtigkeit anhaftende Samen benötigten für den gleichen Aufsaugegrad eine doppelt so hohe bezogene Luftleistung von ca. 5,3 kW/m. Noch mehr Luftleistung wurde benötigt, wenn die Samen zusätzlich durch feuchten Bodenstaub am Boden haften. Für einen Aufsaugegrad von 75 % war so eine bezogene Luftleistung von über 7 kW/m notwendig. Schon geringe Mengen an verlagertem Bodenmaterial und Wasser vervielfachten die bezogene Luftleistung zur pneumatischen Aufnahme von Samen. Somit ist der Witterungsverlauf zwischen Samenabfall und pneumatischer Aufnahme entscheidend für die bezogene Luftleistung zur Aufnahme von Unkrautsamen.

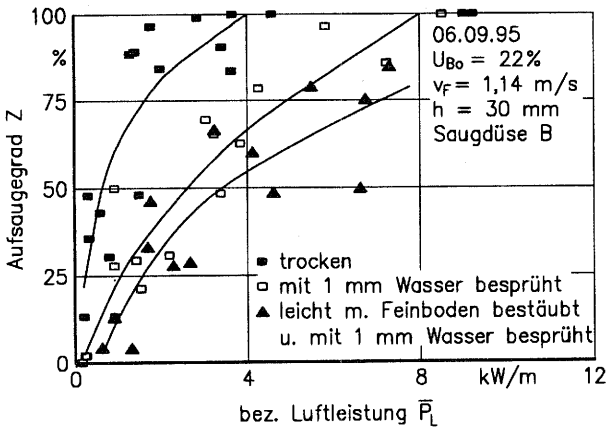


Bild 57: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der Luftleistung bei unterschiedlichen Haftungs Zuständen der Samen am Boden

Im weiteren zeigt **Bild 58**, daß die bezogene Gesamtaufnahme an Material durch die Befeuchtung nicht erhöht wurde. Unter trockenen Verhältnissen wurden bis zu 2,5 t/ha Material aufgenommen. Durch die Befeuchtung verringerte sich die Materialaufnahme um ca. die Hälfte auf noch maximal bis zu 1,5 t/ha Material.

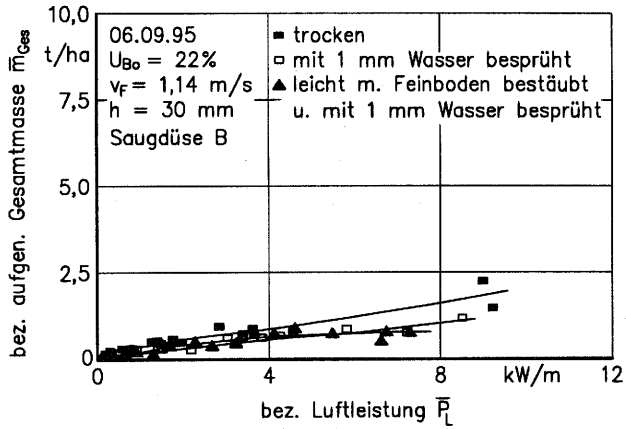


Bild 58: Abhängigkeit der bezogenen Gesamtaufnahme von der Luftleistung bei unterschiedlichen Anhaftungsverhältnissen der Samen

7.3.1.4 Einfluß des Versuchsjahres

Zur Untersuchung des Einflusses des Versuchsjahres auf die pneumatische Aufnahme wurden Versuchsreihen mit einer konstanten SaugdüsenEinstellung zu unterschiedlichen Terminen in den beiden Versuchsjahren 1994 und 1995 durchgeführt. Dazu wurde die Saugdüse B, ohne Gummidichtlippen, bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,14 m/s und einem Abstand von der Bodenoberfläche von 30 mm eingesetzt.

Versuchsjahr 1994

Das Versuchsjahr 1994 zeichnete sich durch einen trockenen Sommer aus. Es bildeten sich im Verlaufe des Sommers starke Schrumpfrisse heraus, so daß die Bodenrauheit stark anstieg, vgl. Tabelle 16. Am 15.08.94, bei einem Bodenfeuchtegehalt von 20 %, wurde ein sehr großer Luftleistungsbedarf zur pneumatischen Aufnahme der Samen festgestellt, **Bild 59**. Für einen Aufsaugegrad von 75 % war eine bezogene Luftleistung von über 10 kW/m notwendig. Am 16.08.94 wurden für gleiche Aufsauggrade ca. 4 kW/m benötigt. Zur Aufnahme von 75 % der Samen mußten zu einem dritten Termin, am 22.08.96, eine bezogene Luftleistung von ca. 6 kW/m zur Verfügung gestellt werden. Selbst bei einer bezogenen Luftleistung von 10 kW/m wurden an 22.08.94 nur Aufsauggrade von maximal 80 % erreicht. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede der pneumatischen Aufnahme im Versuchsjahr 1994.

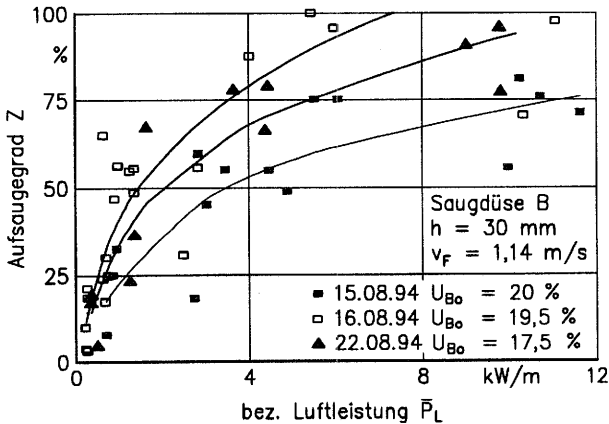


Bild 59: Abhängigkeit des Aufsauggrades von der bezogenen Luftleistung zu unterschiedlichen Terminen im Versuchsjahr 1994

Der Einfluß der bezogenen Luftleistung auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse ist in **Bild 60** dargestellt. Im Versuchsjahr 1994 zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen bezogener Luftleistung und bezogener Gesamtaufnahme. Unter feuchteren Bedingungen am 15.08.94 wurden bezogene Gesamtaufnahmen bis zu 2,5 t/ha erreicht. Trockenere Bedingungen am 16.08.94 und 22.08.94 zeigten sehr viel höhere Werte. An diesen Versuchstagen wurden bezogene Gesamtaufnahmen bis zu 12 t/ha erreicht. Die Streuungen der Versuchsergebnisse sind jedoch sehr groß.

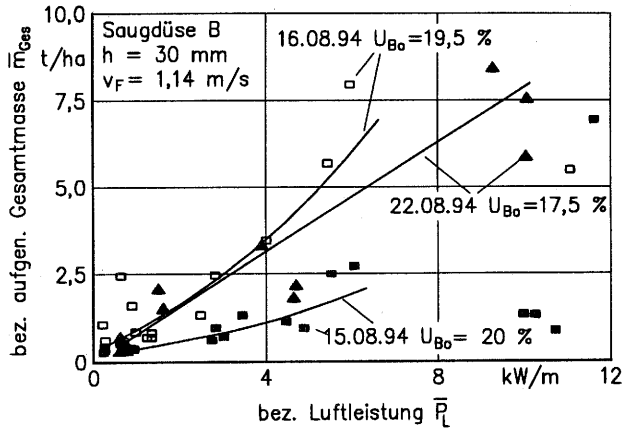


Bild 60: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der bezogenen Luftleistung an unterschiedlichen Versuchstagen 1994

Versuchsjahr 1995

Im Versuchsjahr 1995 zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Versuchstagen, **Bild 61**. Am 06.09.95 bei einem Bodenfeuchtegehalt von 22 % wurden Aufsauggrade von über 75 % bei einer bezogenen Luftleistung von unter 2,4 kW/m erreicht. Am 16.08.95 und 12.08.95 waren für den gleichen Aufsaugegrad über 5,5 kW/m bzw. über 8 kW/m nötig. Je nach Versuchstag unterschieden sich diese charakteristischen Kennwerte um mehr als 100 %.

Die bezogenen aufgenommenen Gesamtmassen in Abhängigkeit von der bezogenen Luftleistung waren am 16.08.95 bei einem Bodenfeuchtegehalt von 21 % am geringsten, **Bild 62**. Bei einer

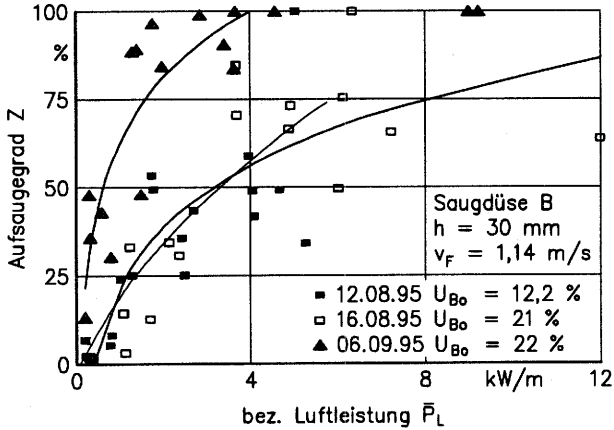


Bild 61: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der bezogenen Luftleistung an unterschiedlichen Versuchstagen 1995

bezogenen Luftleistung von 8 kW/m wurde eine bezogene Gesamtaufnahme von 1 t/ha erreicht. Unter trockeneren Verhältnissen am 12.08.95 wurden etwas höhere Werte erreicht. Hier wurden bezogene Gesamtaufnahmen bis zu 3,5 t/ha erreicht, am 06.09.95 unter etwas feuchteren Bedingungen bis zu 2 t/ha.

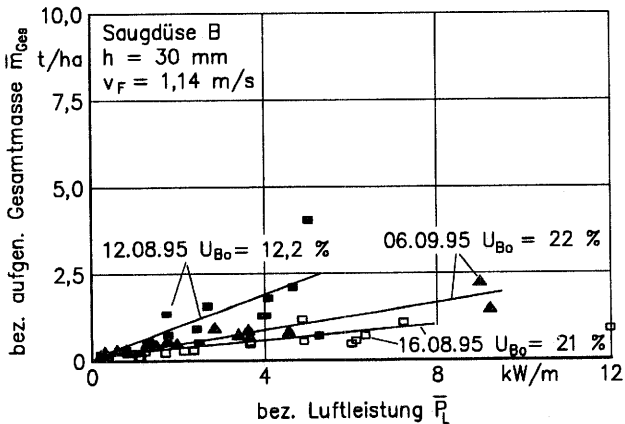


Bild 62: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der bezogenen Luftleistung an unterschiedlichen Versuchstagen 1995

Vergleich der unterschiedlichen Versuchsjahre

Zur pneumatischen Aufnahme von Samen waren in den Versuchsjahren 1994 und 1995 die gleichen Luftleistungen erforderlich. Die Schwankungen innerhalb der Versuchsjahre waren sehr groß. Selbst unter den feuchteren Bedingungen im Versuchsjahr 1995 waren die gleichen bezogenen Luftleistungen für die pneumatische Aufnahme erforderlich wie im Versuchsjahr 1994. Die bezogenen aufgenommen Gesamtmassen waren unter den trockenen Bedingungen des Versuchsjahres 1994 jedoch sehr viel höher als im Versuchsjahr 1995. Im Versuchsjahr 1994 wurden bis zu 12 t/ha aufgenommen, im Versuchsjahr 1995 nur noch bis zu 3 t/ha.

7.3.2 Einfluß des Abstands von der Bodenoberfläche

Untersuchungen über den Einfluß des Abstands der Saugdüse von der Bodenoberfläche auf die pneumatische Aufnahme wurden mit Saugdüse B am 16.08.94 durchgeführt. Dabei wurde eine Überfahrgeschwindigkeit von 1,14 m/s vorgewählt.

Vorversuche auf Beton-Fahrbahn zeigten einen deutlichen Einfluß des Abstands auf die pneumatische Aufnahme, Bild 49. Um bei einer geringen bezogenen Luftleistung einen hohen Aufsaugegrad zu erreichen sollte ein möglichst geringer Abstand gewählt werden. Vorversuche auf Getreidestoppel ergaben, daß ein Mindestabstand von 30 mm einzuhalten ist. Bei den Feldversuchen kam es unterhalb dieses Abstands zu Verstopfungen bzw. Beschädigungen an der Saugdüse. Bei einem Abstand von 20 mm war deshalb die Verfahrenssicherheit nicht mehr gewährleistet. Es kam bei diesen Versuchen vor, daß einzelne Steine sich an der Saugdüse verkeilten und dort zu Beschädigungen führten. Ein Abstand von 30 mm erwies sich als praktikabler minimaler Abstand, der je nach Steingehalt der Ackerfläche variieren dürfte, denn höhere Steingehalte an der Ackerbodenoberfläche werden größere Abstände notwendig machen, um Beschädigungen an der Saugdüse zu verhindern.

Bei einem Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche von 40 mm wird für einen Aufsaugegrad von 75 % doppelt so viel Luftleistung benötigt, wie bei einem Abstand von 30 mm, **Bild 63**. Bei einem Abstand von 30 mm wurde bei einer bezogenen Luftleistung von 3,7 kW/m ein Aufsaugegrad von 75 % erreicht. Für den gleichen Aufsaugegrad war bei einem Abstand von 40 mm eine bezogene Luftleistung von über 8 kW/m erforderlich.

Die Darstellung der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse in Abhängigkeit von der Luftleistung zeigt bei einem Abstand von 30 mm einen starken Anstieg, **Bild 64**. Bei höchster Luftleistung stiegen unter Versuchsbedingungen die bezogenen Gesamtaufnahmen auf über 8 t/ha. Bei einem Abstand von 40 mm wurden bezogene aufgenommene Gesamtmassen von unter 5 t/ha aufgenommen, jedoch ging diese verringerte Gesamtaufnahme einher mit einem verringerten Aufsaugegrad, vgl. Bild 63.

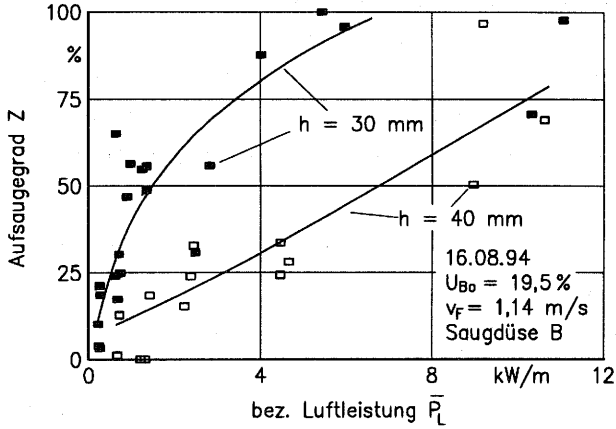


Bild 63: Einfluß der bezogenen Luftleistung auf den Aufsaugegrad bei unterschiedlichen Abständen der Saugdüse A von der Bodenoberfläche

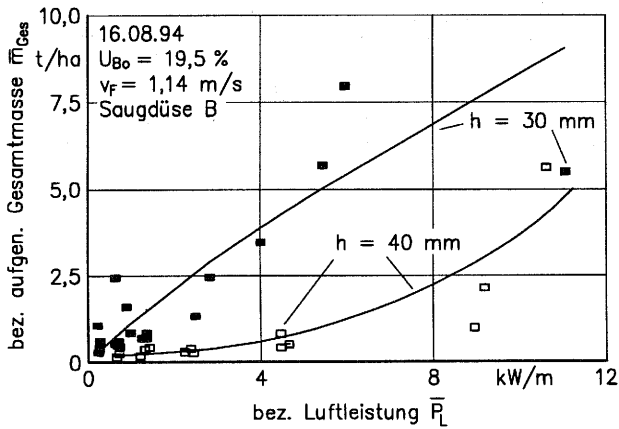


Bild 64: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlichen Abständen, Saugdüse A

Inwiefern eine verringerte Aufnahme von Bodenmaterial von einer verringerten Aufnahme von Samen abhängt ist in **Bild 65** dargestellt. In diesem Bild ist die bezogene aufgenommene Gesamtmasse in Abhängigkeit des Aufsaugegrades dargestellt. Es zeigte sich kein Einfluß des Abstands auf die Abhängigkeit zwischen Gesamtaufnahme und Aufsaugegrad. Eine Erhöhung

des Abstands führte bei gleichen Aufsauegraden nicht zu einer Verringerung, bzw. Erhöhung der Gesamtaufnahme. Beide Einstellungen der Saugdüse nehmen Samen und Bodenmaterial in gleichem Verhältnis auf. Eine Veränderung des Abstands führte nicht zu einer Änderung der Selektivität auf Samen. Im Bereich hoher Aufsauegrade bei einem Abstand von 40 mm sind nur 2 Meßpunkte vorhanden, so daß für diesen Bereich keine Aussagen gemacht werden können.

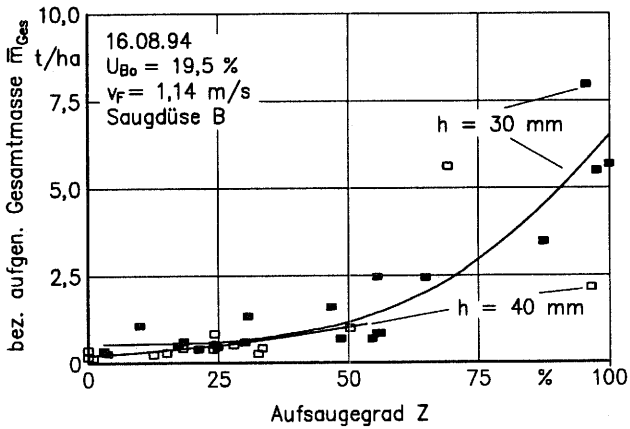


Bild 65: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse vom Aufsauegrad bei unterschiedlichem Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche

7.3.3 Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit

Für die Untersuchung des Einflusses der Überfahrgeschwindigkeit v_F auf das Aufsaugverhalten wurden Versuchsreihen mit den Saugdüsen C und D durchgeführt. Der Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche betrug 30 mm. Die Gummidichtlippen waren an die Seiten und an die Hinterkante der Saugdüsen eingebaut.

Zur Bestimmung des Einflusses der Überfahrgeschwindigkeit ist es notwendig, den Luftdurchsatz und damit die Luftleistung geschwindigkeitsunabhängig konstant zu halten. Bei höheren Überfahrgeschwindigkeiten zeigte sich ein Drehzahlabfall an der Zapfwelle des Zugschleppers durch einen größeren Leistungsbedarf zur Einhaltung der Fahrgeschwindigkeit. Eine verringerte Drehzahl jedoch bewirkt eine geringere Luftleistung des Sauggebläses. Dieser Drehzahlabfall mußte bei der Einstellung der Geschwindigkeit berücksichtigt werden. **Bild 66** zeigt, daß die Grundbedingung einer geschwindigkeitsunabhängigen konstanten bezogenen Luftleistung bei den Versuchen erreicht wurde. Die Versuchsvariante mit Saugdüse D zeigte eine bezogene Luftleistung von ca. 10 kW/m, die Saugdüse C erreichte in der beschriebenen Einstellung 7,2 kW/m.

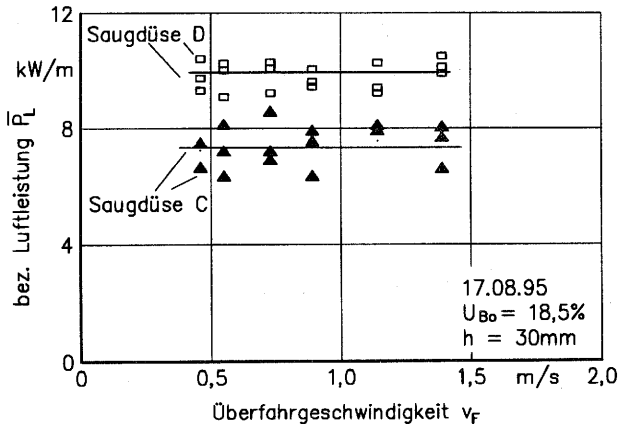


Bild 66: Abhängigkeit der bezogenen Luftleistung von der Überfahrgeschwindigkeit

Für Saugdüse D wurde bei allen Versuchen unabhängig von der Überfahrgeschwindigkeit ein Aufsaugegrad von über 90 % festgestellt, **Bild 67**. Auch Saugdüse C zeigte einen von der

Überfahrgeschwindigkeit unabhängigen konstanten Aufsaugegrad von 80 %. Bei dieser Versuchsreihe hatte die Überfahrgeschwindigkeit im Bereich zwischen 0,4 und 1,5 m/s, bei hoher bezogener Luftleistung, nur sehr wenig bis keinen Einfluß auf die pneumatische Aufnahme von Samen von der Bodenoberfläche.

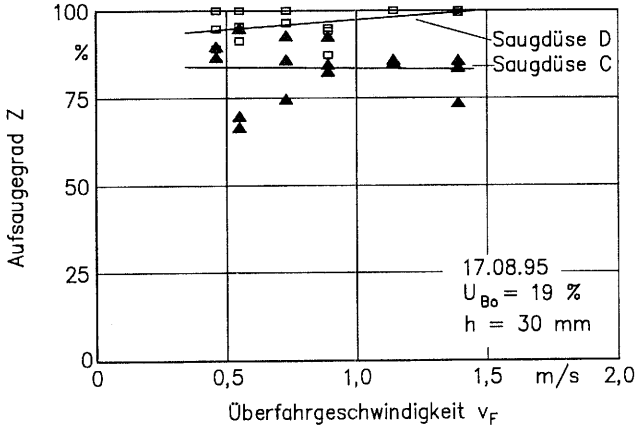


Bild 67: Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit auf den Aufsaugegrad

Der Zusammenhang zwischen Überfahrgeschwindigkeit und bezogener aufgenommener Gesamtmasse ist in **Bild 68** dargestellt. Für beide unterschiedlichen Saugdüsen ergaben sich unabhängig von der Überfahrgeschwindigkeit konstante bezogene aufgenommene Gesamtmassen. Für Saugdüse C wurde eine bezogene Gesamtaufnahme von ca. 1,5 t/ha festgestellt, Saugdüse D nahm ca. 2 t/ha auf.

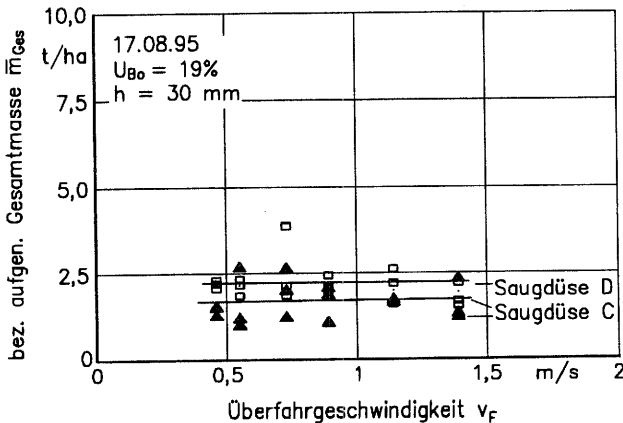


Bild 68: Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse

Untersuchungen aus dem Versuchsjahr 1994 zeigten teilweise andere Ergebnisse. Am 23.08.1994 wurde ein deutlicher Zusammenhang zwischen Überfahrgeschwindigkeit und Aufsaugegrad festgestellt, **Bild 69**.

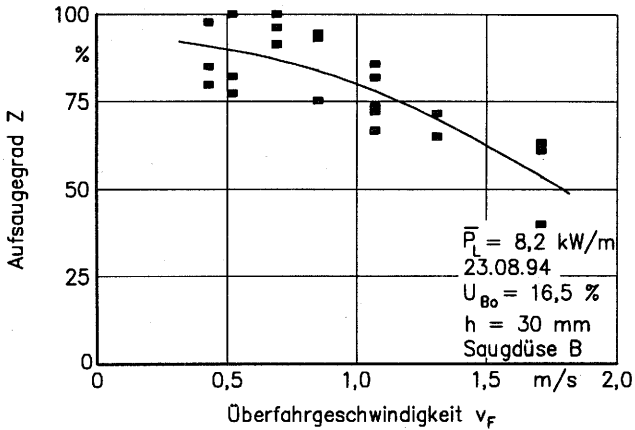


Bild 69: Abhängigkeit des Aufsauegrades von der Überfahrgeschwindigkeit

Diese Versuchsreihe wurde bei einem Bodenfeuchtegehalt von 16,5 % und einem Abstand der Saugdüse B von der Bodenoberfläche von 30 mm durchgeführt. Die bezogene Luftleistung betrug geschwindigkeitsunabhängig 8,2 kW/m. Es ist zu entnehmen, daß bei einer Überfahrgeschwindigkeiten von unter 1 m/s Aufsauegrade von über 75 % erreicht wurden. Bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,7 m/s wurden nur noch ein durchschnittlicher Aufsauegrad von 50 % erreicht.

Eine sehr deutliche Abhängigkeit zeigt auch die bezogene aufgenommene Gesamtmasse von der Überfahrgeschwindigkeit, **Bild 70**. Bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 0,5 m/s wurden bezogene Gesamtaufnahmen bis zu 8,5 t/ha erreicht. Der trockene Oberboden zeigte eine starke Krümelung, wodurch diese hohen Werte zustande kamen. Mit zunehmender Überfahrgeschwindigkeit ging die bezogene Gesamtaufnahme bis auf ca. 2,5 t/ha zurück.

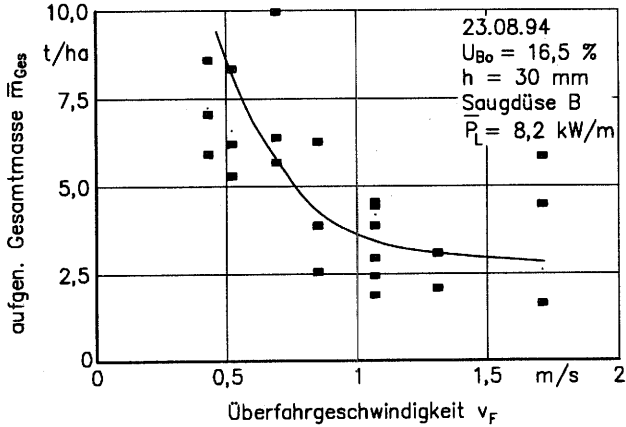


Bild 70: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtaufnahme von der Überfahrgeschwindigkeit

Weitere Aussagen zum Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit auf die pneumatische Aufnahme ergab eine Versuchsreihe vom 09.08.94. Saugdüse B ohne Gummidichtlippen, bei einem Abstand von 40 mm, wurde für diese Untersuchung verwendet. Bei einer konstanten bezogenen Luftleistung von 8,8 kW/m zeigten sich große Streuungen der Aufsauggrade, **Bild 71**. Eine Regression ergab sogar einen positiven Zusammenhang zwischen Überfahrgeschwindigkeit und Aufsaugegrad. Die Streuungen der Versuchsergebnisse können aufgrund des größeren Abstands von

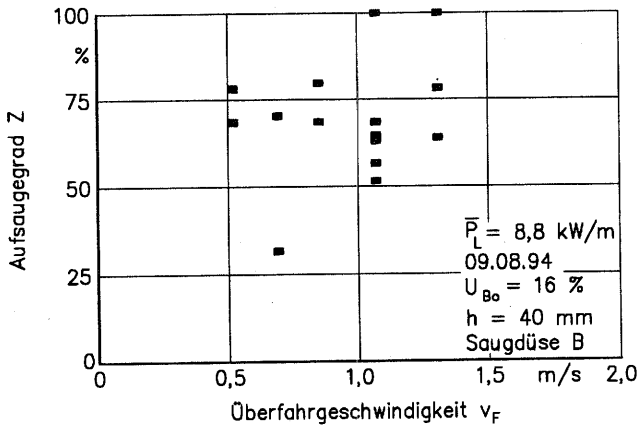


Bild 71: Abhängigkeit des Aufsauggrades von der Überfahrgeschwindigkeit

der Bodenoberfläche auftreten, vgl. Kap. 7.2.1. Es wurden Aufsaugegrade zwischen 30 und 100 % festgestellt. Bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 0,52 m/s wurden Aufsaugegrade zwischen 70 und 80 % erreicht. Bei der höchsten Überfahrgeschwindigkeit von 1,37 m/s wurden zwischen 70 und 100 % der ausgelegten Samen aufgenommen.

Aussagen zur bezogenen Gesamtaufnahme in Abhängigkeit von der Überfahrgeschwindigkeit sind in **Bild 72** dargestellt. Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse schwankte zwischen 2 und 10 t/ha. Bei dieser Untersuchung war der Bodenfeuchtegehalt mit 16 % sehr niedrig. Einzelne an der Bodenoberfläche liegende Bodenaggregate zeigten keine Haftung an den Boden und wurden durch den Luftstrom mit aufgenommen. Auch bei hohen bezogenen aufgenommenen Gesamtmassen wurde die ausgelegte Samenmenge nicht vollständig von der Bodenoberfläche entfernt. Bei einer Gesamtaufnahme von 8,5 t/ha wurden teilweise nur Aufsaugegrade von 80 % erreicht.

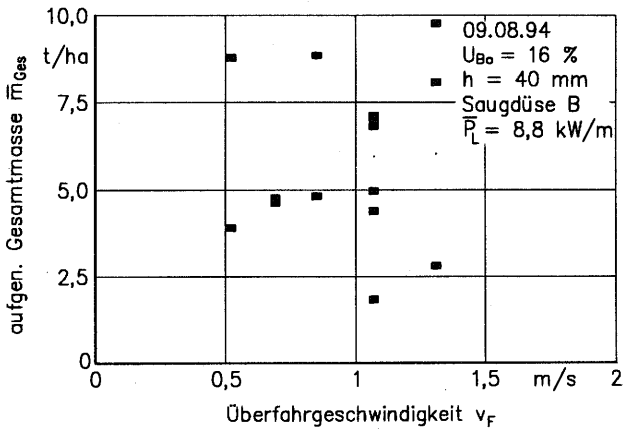


Bild 72: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der Überfahrgeschwindigkeit

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit sehr unterschiedlich sein kann. Untersuchungen zeigten bei trockenen Verhältnissen sehr unterschiedliche Verläufe. Es wurden an unterschiedlichen Versuchstagen sowohl deutliche, als auch keine Einflüsse der Überfahrgeschwindigkeit auf die pneumatische Aufnahme festgestellt.

7.3.4 Einfluß der Gummidichtlippen

Bei Vorversuchen auf Beton-Fahrbahn stellte sich heraus, daß eine gute pneumatische Aufnahme von Samen bei einem geringen Luftleistungsbedarf nur bei einem geringen Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche zu realisieren ist. Als praktikabler Mindestabstand bewährten sich 30 mm. Unter 30 mm Abstand bestand die Gefahr, daß sich einzelne Steine zwischen Bodenoberfläche und Saugdüse verkeilen können. Somit sind Beschädigungen und Verstopfungen der Saugdüsen nicht ausgeschlossen.

Um bei unebenen Bodenoberflächen dennoch hohe Luftgeschwindigkeiten an der Bodenoberfläche zu erreichen, wurden Untersuchungen mit Gummidichtlippen zur Abdichtung der Kanten der Saugdüsen durchgeführt.

Für die Untersuchung des Einflusses der Gummidichtlippe auf die pneumatische Aufnahme wurde die Saugdüse A verwendet. Der Abstand wurde auf 30 mm, die Überfahrgeschwindigkeit auf 1,14 m/s eingestellt. Variiert wurde die Art der Gummidichtlippenbestückung. Versuche wurden ohne Gummidichtlippe und mit Gummidichtlippen an drei bzw. allen vier Seiten der Saugdüse B durchgeführt. Bei Abdichtung an drei Kanten der Saugdüse bleibt die Vorderkante ohne Gummidichtlippe.

In **Bild 73** ist die Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlicher Gummiabdichtung der Saugdüse dargestellt. Die Variante ohne Gummidichtlippen erreichte bei einer bezogenen Luftleistung von 4,5 kW/m einen Aufsaugegrad von 75 %. Die Saugdüse mit einer Gummiabdichtung an drei Seiten der Saugdüse erlangte einen Aufsaugegrad von 75 % schon bei einer bezogenen Luftleistung von ca. 3,7 kW/m. Durch die Verwendung der Variante mit Dichtlippen an allen vier Seiten, war eine weitere Reduzierung an Luftleistung möglich. Es wurden Aufsaugegrade von 75 % bei einer bezogenen Luftleistung von 3 kW/m erreicht. Gegenüber der Variante ohne Gummidichtlippen bedeutete dies eine Leistungersparnis von 33 %.

Die Gummidichtlippenbestückung zeigte keinen Einfluß auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse, **Bild 74**. Aufgrund des hohen Bodenfeuchtegehaltes von 22 % wurde bei allen Varianten sehr niedrige Werte für die Gesamtaufnahme erreicht. Für hohe Aufsaugegrade wurde

bei allen Varianten eine größere Menge an Bodenmaterial aufgenommen, wobei in keinem Falle mehr als 2 t/ha aufgenommen wurden.

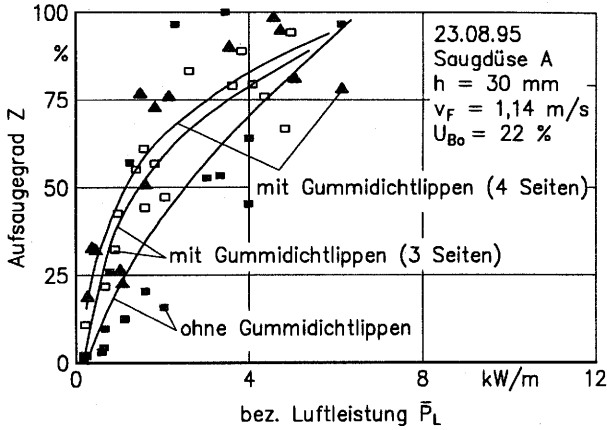


Bild 73: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlicher Gummiabdichtung der Saugdüse

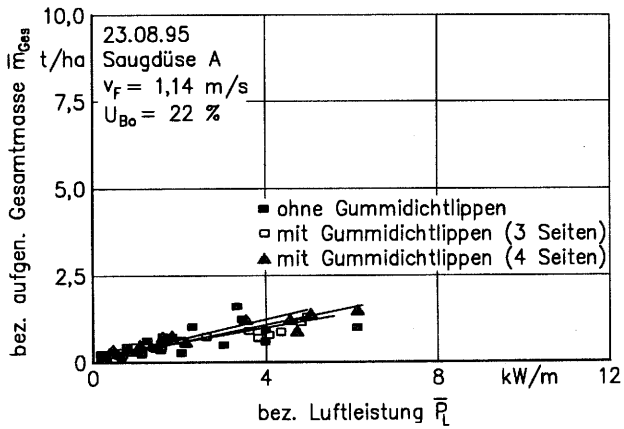


Bild 74: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der bezogenen Luftleistung bei unterschiedlicher Gummiabdichtung der Saugdüsen

Insgesamt zeigte sich ein großes Einsparungspotential an Luftleistung durch die Verwendung von Gummidichtlippen. Dabei wurde eine verstärkte Aufnahme von Bodenmaterial nicht festgestellt.

7.3.5 Einfluß der Düsegestaltung und des Luftdurchsatzes

Zur Untersuchung des Einflusses der Düsegestaltung und des Luftdurchsatzes auf das pneumatische Aufnahmevermögen der Saugdüsen A, C, D wurden die Versuche mit einem Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche von 30 mm durchgeführt. Zum Vergleich der unterschiedlicher Saugdüsen wird die Aufsaugung in Abhängigkeit des bezogenen Luftdurchsatzes \bar{V}_L dargestellt. Mit zunehmendem bezogenen Luftdurchsatz stiegen die Aufsauggrade deutlich an, **Bild 75**. Hohe Aufsauggrade wurden nur bei hohen bezogenen Luftdurchsätzen erreicht, wobei die konstruktive Gestaltung der Saugdüse die Höhe der Aufsauggrade beeinflusste.

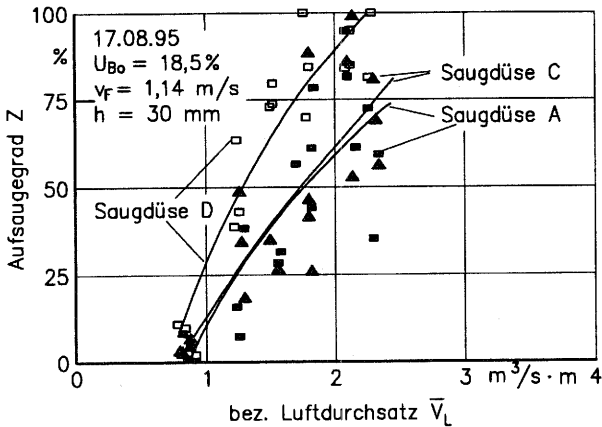


Bild 75: Einfluß der Saugdüsenart auf die pneumatische Aufnahme

Höhere Aufsauggrade werden bei Saugdüse D (waagrecht ansaugend mit Leitblech) mit einem geringeren bezogenen Luftdurchsatz erreicht als bei den Saugdüsen A und C (waagrecht ansaugend ohne Leitblech). Diese Eigenschaft wird bei Saugdüse D durch ein Luftleitblech erreicht, das die Saugluft so richtet, daß eine bodenparallel in Fahrtrichtung wirkende Luftströmung entsteht. Saugdüse C besitzt dieses Leitblech nicht, die Luftströmung ist ungerichteter.

Schon bei niedrigen bezogenen Luftdurchsätzen im Bereich von 1 bis 2 m³/s·m besitzt die Saugdüse D ein wesentlich besseres Aufnahmevermögen als die Saugdüsen C und A. Ein Aufsauggrad von 75 % wurde bei Saugdüse D schon bei einem bezogenen Luftdurchsatz von 1,7 m³/s·m erreicht. Saugdüse C benötigte dafür ca. 2,2 m³/s·m, Saugdüse A sogar ca. 2,4 m³/s·m.

Die Variation der Versuchsergebnisse war sehr groß, denn die Bodenrauheiten und der daraus resultierende Bodenschluß der Samen variierten deutlich. Es zeigte sich, daß auch bei hohen Luftdurchsätzen bei Saugdüse D keine gesicherte Aufnahme des Versuchsmaterials gegeben war.

Die gleiche Beobachtung kann für Saugdüse C gemacht werden. Es wurden schon bei einem bezogenen Luftdurchsatz von $2 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ hohe Aufsaugegrade erreicht, die bei höheren Luftdurchsätzen jedoch nicht immer bestätigt wurden; einige Versuche zeigten bei Verwendung dieser Saugdüse bei hohen Luftdurchsätzen geringe Aufsaugegrade.

Die Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse vom bezogenen Luftdurchsatz, für diese Versuchsreihe, zeigt **Bild 76**. Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse stieg mit zunehmendem bezogenen Luftdurchsatz an. Saugdüse D zeigte die größte Aufnahme an Material, wobei der Unterschied zu den Saugdüsen A und C jedoch nicht sehr groß ist.

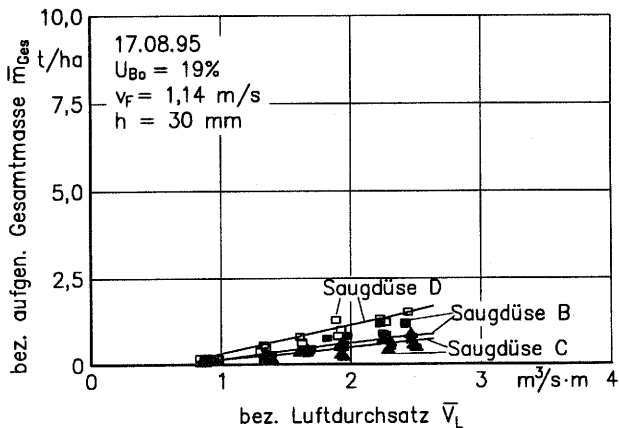


Bild 76: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse vom bezogenen Luftdurchsatz bei Verwendung der Saugdüsen A, C, D

Die ungerichtete Luftströmung bei Saugdüse A scheint für eine stärkere Verwirbelung und damit für eine erhöhte Massenaufnahme verantwortlich zu sein. Ein erhöhter Aufsaugegrad, Bild 75, war jedoch nicht feststellbar.

Insgesamt ist das Niveau der bezogenen Gesamtaufnahme bei diesen Versuchen mit ca. 2 t/ha als gering einzustufen.

Die bezogene Luftleistung in Abhängigkeit vom bezogenen Luftdurchsatz ist in **Bild 77** dargestellt. Für Saugdüse D mit dem Luftleitblech ergibt sich die Kurve mit der größten Steigung. Der Luftleistungsbedarf bei gleichen Luftdurchsätzen ist für Saugdüse D am höchsten. Saugdüse C besitzt den geringsten Luftleistungsbedarf für gleiche Luftdurchsätze.

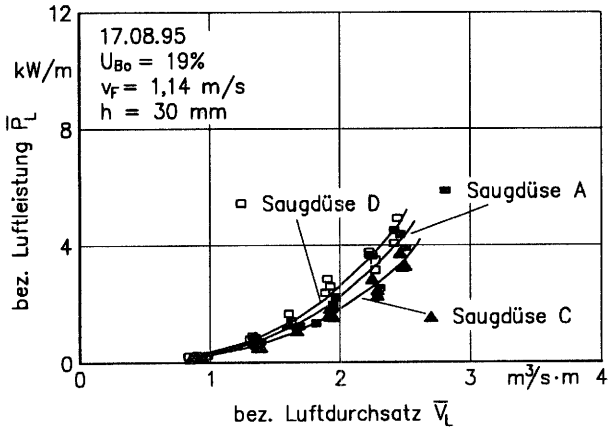


Bild 77: Abhängigkeit der bez. Luftleistung vom bezogenen Luftdurchsatz der Saugdüsen A, C, D

Werden die Aufsauggrade in Abhängigkeit von der bezogenen Luftleistung dargestellt, **Bild 78**, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Darstellung in Abhängigkeit vom bezogenen Luftdurchsatz, Bild 75. Für hohe Aufsauggrade waren bei Saugdüse D niedrigere Luftleistungen

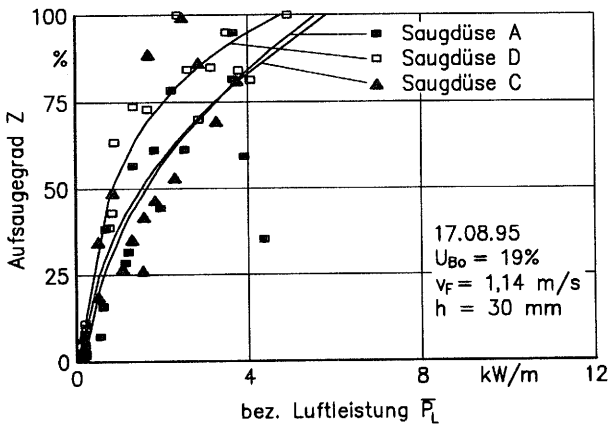


Bild 78: Abhängigkeit des Aufsauggrades vom bezogenen Luftdurchsatz der Saugdüsen A, C, D

erforderlich. Für einen Aufsaugegrad von 75 % waren bei Saugdüse D ca. 2,3 kW/m, bei Saugdüse A und C jedoch 3,7 bzw. 3,5 kW/m notwendig. Für einen Aufsaugegrad von 75 % benötigte Saugdüse D ca. 33 % weniger Luftleistung als die anderen untersuchten Saugdüsen.

Die aufgenommene Gesamtmasse setzt sich aus der aufgenommenen Bodenmasse m_{Bo} und der aufgenommenen Strohmasse aus den Stoppelresten m_{St} , sowie den aufgenommenen Unkrautsamen m_{Sa} zusammen. Die bezogene aufgenommene Bodenmasse m_{Bo} nimmt mit steigender Luftleistung zu, **Bild 79**. Saugdüse A nahm Bodenmaterial in Abhängigkeit der Luftleistung am stärksten auf, bis ca. 1,5 t/ha. Saugdüsen C und D zeigten etwas geringere Werte. Die Streuung der Versuchsergebnisse war sehr groß.

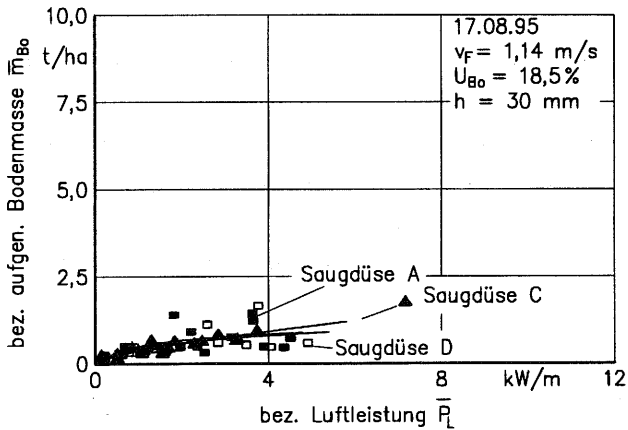


Bild 79: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Bodenmasse von der bezogenen Luftleistung

In **Bild 80** ist die bezogene aufgenommene Strohmasse m_{St} in Abhängigkeit der bezogenen Luftleistung dargestellt. Es konnte festgestellt werden, daß die Mengen mit steigender Luftleistung zunahmten, jedoch nur bis maximal 0,2 t/ha, was etwa 10 % der Bodenmasse entsprach. Jede der drei untersuchten Saugdüsen nahm etwa gleich viel Stroh auf.

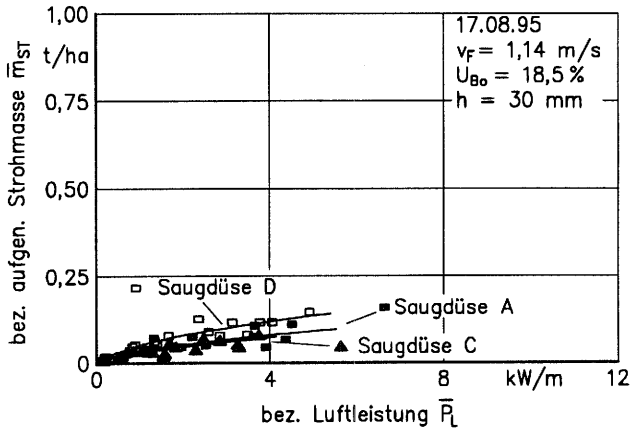


Bild 80: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Strohmasse von der bezogenen Luftleistung

Die Darstellung der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse in Abhängigkeit vom Aufsaugegrad, **Bild 81**, ergibt zusätzlich Information über die Selektivität zwischen der pneumatischen Aufnahme von Samen und sonstigem Bodenmaterial der unterschiedlichen Saugdüsen. Bei geringen Aufsaugegraden wurden auch nur geringe bezogene aufgenommene Gesamtmassen erreicht. Für hohe Aufsaugegrade stieg die bezogene aufgenommene Gesamtmasse stark an. Die beiden Größen sind stark voneinander abhängig, was ein Regressionskoeffizient von über 0,82 für alle

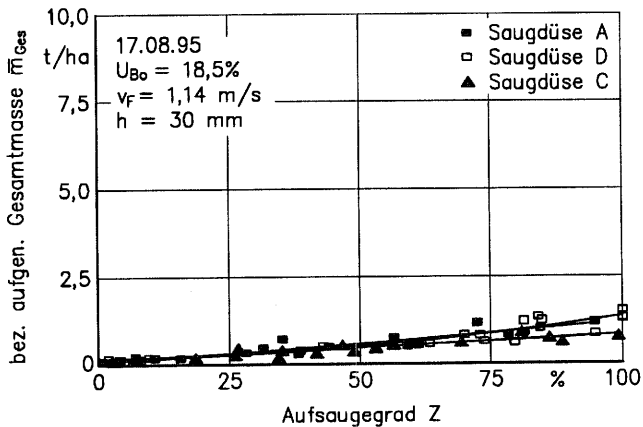


Bild 81: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse vom Aufsaugegrad

dargestellten Kurven ausweist. Saugdüse C hatte bei einem hohen Aufsaugegrad die geringste bezogene aufgenommene Gesammasse. Bei Aufsaugegraden von über 90 % wurde bei Saugdüse C nur halb so viel Bodenmaterial aufgenommen wie bei den Saugdüsen A und D.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Saugdüse D die geringste bezogene Luftleistung für einen hohen Aufsaugegrad benötigt. Saugdüse C zeigte gegenüber den Saugdüsen A und D bei hohen Aufsaugegraden eine etwas verringerte Aufnahme von Bodenmaterial.

7.3.6 Untersuchungen über das Aufsaugverhalten kombinierter Saugdüsen

7.3.6.1 Druckluft-Saugluft-Kombination

Die Versuche zum Einfluß unterschiedlicher Druckluft-Saugluft-Kombinationen auf die pneumatische Aufnahme wurden mit Saugdüse B und Saugdüse F durchgeführt. Beide Saugdüsen, mit einer Arbeitsbreite von je 400 mm, hatten bei dieser Untersuchung keine Gummidichtlippen. Der Abstand zur Bodenoberfläche betrug 30 mm. Der bezogene Luftdurchsatz der Druckluft \bar{V}_{DL} wurde auf $0,45 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ eingestellt, um eine möglichst gute Loslösung der Samen von der Bodenoberfläche zu erreichen. Der bezogene Luftdurchsatz der Saugluft \bar{V}_L betrug $2,9 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$.

Der Einfluß zusätzlicher Druckluft auf den Aufsaugegrad ist in **Bild 82** dargestellt. Mit oder ohne Druckluft wurden fast die gleichen Aufsaugegrade in Abhängigkeit von der Überfahrgeschwindigkeit erreicht. Saugdüse B, ohne Druckluft, zeigte bei diesen Versuchen eine etwas bessere pneumatische Aufnahme. Es ergaben sich Aufsaugegrade von über 80 % bei einer Überfahrgeschwindigkeit von unter 1 m/s. Darüber nahm der Aufsaugegrad etwas ab und fiel auf ca. 65 % bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,4 m/s. Die Druckluftvariante mit Saugdüse F erreichte bei einer geringen Überfahrgeschwindigkeit einen Aufsaugegrad von ca. 80 %, fiel jedoch auch bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,4 m/s auf einen Aufsaugegrad von ca. 65 % ab.

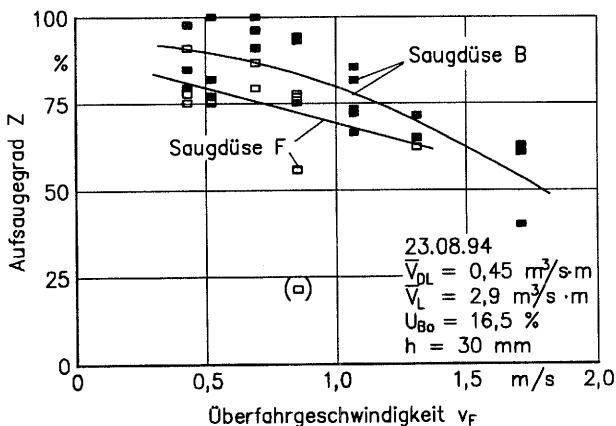


Bild 82: Einfluß der Druckluft auf die pneumatische Aufnahme

Die Bodenfeuchteverhältnisse bei den Versuchsreihen waren mit einem Wassergehalt von 16,5 % als trocken zu bezeichnen.

Ein Vergleich der beiden Düsenvarianten in Bezug auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse zeigt wesentlich stärkere Unterschiede, **Bild 83**. Die Werte der Druckluftvariante, Saugdüse F, variieren sehr stark, so daß eine Bewertung schwierig ist. Ohne Druckluft, Saugdüse B, zeigte sich eine sehr starke Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der Überfahrgeschwindigkeit. Es wurden für Saugdüse A bezogene Gesamtmassen bis zu 10 t/h aufgenommen. Für Saugdüse F wurden bei geringen Überfahrgeschwindigkeiten sogar Werte bis zu 15 t/ha, erreicht.

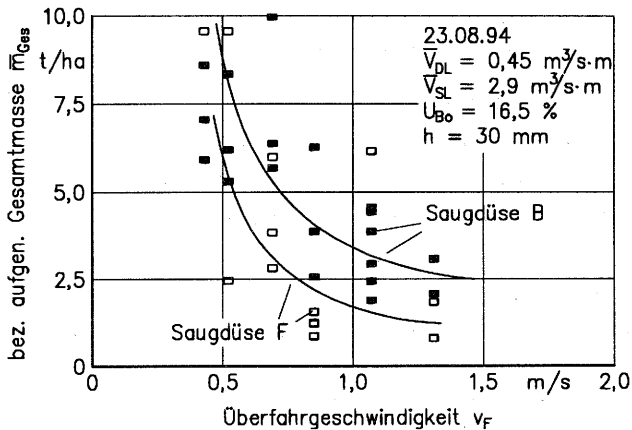


Bild 83: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der Überfahrgeschwindigkeit bei Verwendung der Saugdüsen B und F

Zur Ermittlung des Einflusses der Druckluft auf die pneumatische Aufnahme in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz, bzw. Luftleistung, wurden Untersuchungen bei einer einheitlichen Überfahrgeschwindigkeit von 1,14 m/s durchgeführt. Der bezogene Luftdurchsatz der Druckluft wurde wieder auf 0,45 m³/s·m eingestellt, aber der Luftdurchsatz der Saugluft und damit die Luftleistung variiert.

In Abhängigkeit von der Luftleistung ergaben sich nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Aufsauggrade, **Bild 84**. Aufsauggrade von über 75 % wurden erst ab einer bezogenen Luftleistung von 4 kW/m erreicht.

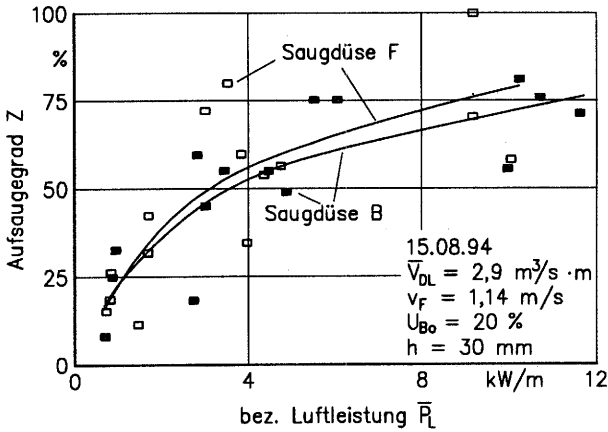


Bild 84: Abhängigkeit des Aufsaugegrads von der bezogenen Luftleistung bei Verwendung der Saugdüsen B und F

Eine Darstellung des Einflusses der Luftleistung auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse ergibt auch kein einheitliches Bild, **Bild 85**. Beide Saugdüsen nahmen etwa gleich viel Material von der Bodenoberfläche auf. Saugdüse B, ohne Druckluft nahm bei einer bezogenen Luftleistung von 7 kW/m eine bezogene aufgenommene Gesamtmasse von 2 t/ha auf, Saugdüse F erreichte gleiche Werte. Im Bereich hoher bezogener Luftleistungen zeigen die Versuchsergebnisse deutliche Schwankungen, so daß hier eine Bewertung nicht möglich ist. Im Bereich geringer bezogener Luftleistungen zeigen beide Saugdüsen das gleiche Ergebnis.

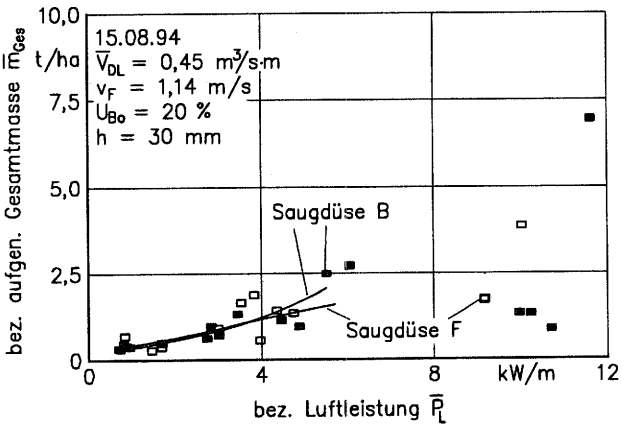


Bild 85: Einfluß der bezogenen Luftleistung auf die bezogene aufgenommene Gesamtmasse bei Saugdüse B und F

Insgesamt wurde wesentlich weniger Material aufgenommen als bei der zuvor beschriebenen Versuchsreihe bei Variation der Überfahrgeschwindigkeit, Bild 83. Bei dieser Versuchsreihe betrug der Bodenfeuchtegehalt allerdings 20 % gegenüber 16,5 % bei der vorher beschriebenen, Bild 83. Eine erhöhte Aggregatstabilität der Bodenteilchen aufgrund höherer Bodenfeuchtegehalte verhinderte deren pneumatische Aufnahme.

Insgesamt ergab die Untersuchung von Druckluft-Saugluft-Kombinationen zur pneumatischen Aufnahme keine Verbesserung gegenüber der reinen Saugluftvariante, Saugdüse B. Für Aufsauggrade von über 80 % waren für beide Varianten bezogene Luftleistungen von über 10 kW/m notwendig.

Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse konnte durch zusätzliche Druckluft nicht dahingehend beeinflusst werden, daß weniger Bodenmaterial aufgenommen wird; im Gegenteil, bei niedrigen Überfahrgeschwindigkeiten wurden mit bis zu 15 t/ha sogar mehr aufgenommen als bei der Saugluftvariante. Eine zusätzliche Installation von Druckluft erbrachte nicht den gewünschten Effekt einer verringerten Bodenaufnahme bei gesteigerten Aufsauggraden.

7.3.6.2 Walzenbesen-Saugluft-Kombinationen

Verschiedene Untersuchungen zum Aufnahmevermögen von Kombinationen aus Saugluftdüsen mit Walzenbesen wurden durchgeführt. Die Saugdüse E mit einem integrierten, gegen die Fahr- richtung rotierenden, Walzenbesen diente als Basis für alle Versuchsvarianten. Diese Saugdüse besitzt mit 500 mm die gleiche Arbeitsbreite wie die Saugdüsen A, C und D. Der integrierte Walzenbesen sorgt jedoch für eine unterschiedliche Luftführung innerhalb der Saugdüse. Unter- suchungen zur Loslösung von Samen wurden bei unterschiedlichen Drehzahlen und Borstenarten des Walzenbesens durchgeführt.

7.3.6.2.1 Einfluß der Drehzahl des Walzenbesens

Für Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses der Drehzahl n des Walzenbesens auf die pneu- matische Aufnahme wurde die Saugdüse E in Kombination mit dem Walzenbesen mit der Mischbeborstung PES der Firma van Gülpen, Emmerich verwendet. Diese Art der Beborstung zeichnet sich durch eine Mischung unterschiedlicher Borstenstärken und Materialien aus. Der Abstand der Saugdüse von der Bodenoberfläche betrug 30 mm. Die Versuchsreihe wurde bei konstanter bezogener Luftleistung von 5,8 kW/m und bei variiertem Überfahrgeschwindigkeit durchgeführt.

Hinsichtlich des Einflusses der Überfahrgeschwindigkeit auf den Aufsaugegrad können nur begrenzt Aussagen gemacht werden, **Bild 86**. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten eine sehr große Variabilität. Außer bei einer Drehzahl des Walzenbesens von 150 Umdrehungen pro Minute zeigten alle Varianten einen deutlichen Abfall der Aufsaugegrade in Abhängigkeit von der Überfahrgeschwindigkeit. Aufsaugegrade von über 75 % wurden nicht erreicht. Die Varianten mit einer Walzenbesendrehzahl von 300 bzw. 450 Umdrehungen pro Minute zeigten bei der geringsten Überfahrgeschwindigkeit sogar nur durchschnittliche Aufsaugegrade von ca. 60 %.

Die bezogene aufgenommene Gesamtmasse ging mit zunehmender Überfahrgeschwindigkeit leicht zurück, **Bild 87**. Unabhängig von der Drehzahl des Walzenbesens wurden bezogene

aufgenommene Gesamtmassen von ca. 1 t/ha aufgenommen. Die Bodenoberfläche war bei dieser Versuchsreihe relativ feucht, so daß insgesamt durch die Verklebung der einzelnen Bodenpartikel wenig Bodenmaterial aufgenommen wurde.

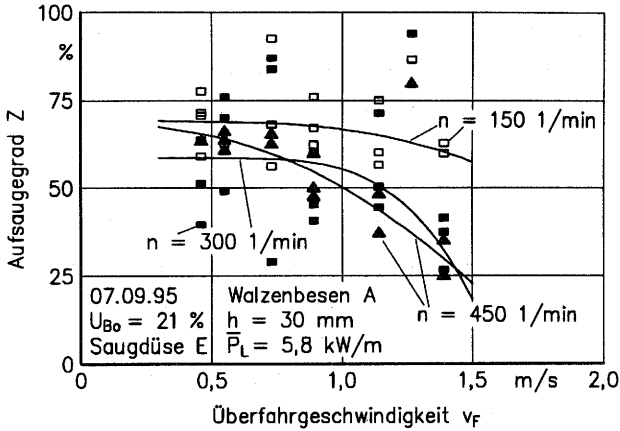


Bild 86: Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit auf den Aufsaugegrad bei unterschiedlichen Walzenbesendrehzahlen

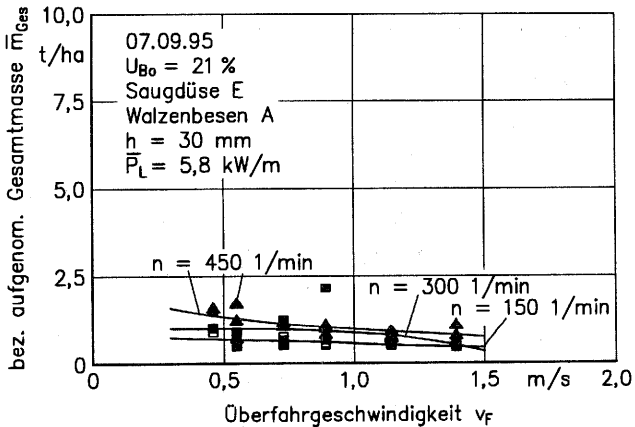


Bild 87: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtaufnahme von der Überfahrgeschwindigkeit, bei unterschiedlichen Walzenbesendrehzahlen

7.3.6.2.2 Einfluß der Beborstung des Walzenbesens

Die Untersuchung des Einflusses der Walzenbesenbeborstung auf die pneumatische Aufnahme wurde bei Variation der Überfahrgeschwindigkeit durchgeführt. Die Mischbeborstung PES der Firma van Gülpen, **Walzenbesen A**, wurde verglichen mit Walzenbesenarten einheitlicher Beborstung aus Polypropylen der Stärke 0,8 mm, **Walzenbesen B**, bzw. 0,5 mm, **Walzenbesen C**, vgl. Tabelle 15. Die Drehzahl des Walzenbesens wurde einheitlich auf 300 1/min eingestellt.

Diese Versuchsreihe wurde bei relativ feuchter Bodenoberfläche durchgeführt. Ein Einfluß der Überfahrgeschwindigkeit auf die Aufsauggrade war festzustellen, **Bild 88**. Die Aufnahme von Samen bei Verwendung des Walzenbesens A fiel mit zunehmender Überfahrgeschwindigkeit ab. Bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,39 m/s wurden kaum mehr als 40 % der ausgelegten Samenmenge aufgenommen. Die Verwendung des Walzenbesens C ergab ein etwas niedrigeres Gesamtniveau. Bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,4 m/s wurden noch ca. 35 % der ausgestreuten Samenmenge aufgenommen. Die pneumatische Aufnahme bei Verwendung von Walzenbesen B, mit der stärksten Beborstung, war deutlich besser als bei den anderen Walzenbesenarten. Hier wurde bei einer Überfahrgeschwindigkeit von 1,39 m/s noch über 60 % der ausgelegten Samenmenge aufgenommen. Diese Art der Beborstung des Walzenbesens zeigte eine gute Loslösung der auf dem Boden liegenden Samenkörner.

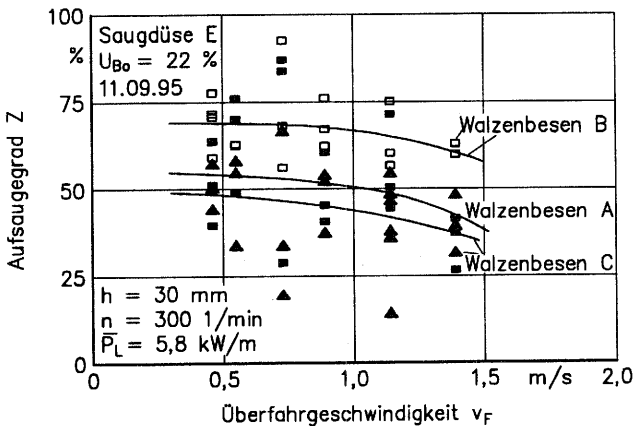


Bild 88: Abhängigkeit des Aufsaugegrades von der Überfahrgeschwindigkeit bei Verwendung von unterschiedlichen Walzenbesen

Noch deutlicher wird die stärkere Bearbeitung der Bodenoberfläche zur Loslösung der Samen von der Bodenoberfläche bei Vergleich der bezogenen aufgenommenen Gesamtmassen in Abhängigkeit von der Überfahrgeschwindigkeit, **Bild 89**. Bei Verwendung von Walzenbesen B mit den stärksten Borsten wurde mehr als doppelt so viel Material aufgenommen als bei den anderen Walzenbesenarten. Unter den feuchten Bedingungen der Untersuchung wurden bezogene Gesamtmassen bis zu 4 t/ha aufgenommen.

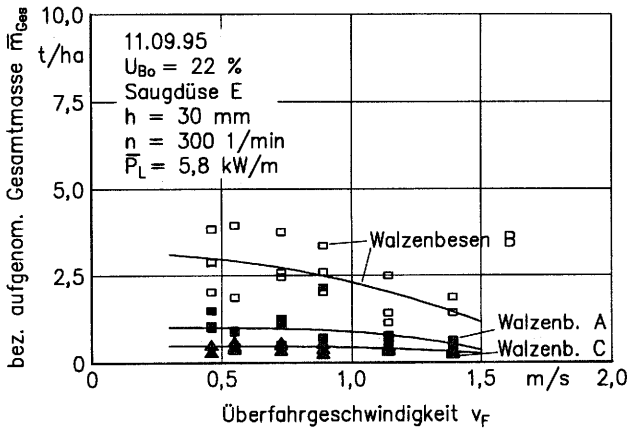


Bild 89: Abhängigkeit der bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse von der Überfahrgeschwindigkeit bei Verwendung unterschiedlicher Walzenbesen

Insgesamt läßt sich sagen, daß sich eine stärkere Borstenart positiv auf die Aufsauggrade auswirkt. Dieses ging jedoch mit einer erhöhten bezogenen aufgenommenen Gesamtmasse einher.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Der Neueintrag von Unkrautsamen in den Bodenvorrat stellt ein besonderes Problem für das Unkrautpopulationsmanagement einer Ackerfläche dar. Deshalb werden Ansätze verfolgt, um Unkrautsamen bei der Ernte zusätzlich zur Feldfrucht von den Ackerflächen zu entfernen.

In Getreidekulturen bietet sich die Möglichkeit, durch geeignete Sammeleinrichtungen am Mäh-drescher die Unkrautsamen von der Fläche zu entfernen. In späträumenden Getreidekulturen ist der Vorernteausfall von Unkrautsamen stark, da die Unkräuter vor der Getreideernte vollständig abreifen und ihre Samen abwerfen. Ein direktes Abtöten dieser auf der Bodenoberfläche liegenden Samen ist nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich.

Eine pneumatische Sammeleinrichtung, angebracht unter bzw. direkt hinter dem Schneidwerk eines Mähdreschers, ist eine technische Lösung zur Aufnahme und damit Entfernung von auf der Bodenoberfläche liegenden Unkrautsamen.

Zur pneumatischen Aufnahme von Samen wurden unterschiedliche Aufnahmeorgane entwickelt. Hierzu wurden Saugdüsen und Saugdüsen-Kombinationen gebaut und in Feldversuchen eingesetzt. Mit einer neu entwickelten Versuchseinrichtung konnte dabei die pneumatische Aufnahme untersucht werden. Die Arbeitsqualität der Aufnahmeorgane wurde durch Auswerten der Saugproben quantitativ ermittelt. Zusätzlich wurde eine Bestimmung der Bodenrauheit und Bodenfeuchtigkeit vorgenommen.

Einen entscheidenden Einfluß auf die Arbeitsqualität der Aufnahmeorgane hatte die zur Verfügung stehende Luftleistung. Eine höhere Luftleistung wirkte sich tendentiell immer positiv auf die pneumatische Aufnahme aus. Die Überfahrgeschwindigkeit zeigte unterschiedliche Wirkungen. Es wurden sowohl geringe als auch große Einflüsse auf die pneumatische Aufnahme festgestellt.

Saugdüsen mit einer waagerechten Luftführung über die abzusaugende Oberfläche zeigten ein besseres Aufnahmevermögen als Saugdüsen mit senkrechter Ansaugung. Eine Gummidichtlippe zur besseren Anpassung der Saugdüsenflanken an die Bodenoberflächenbeschaffenheiten verringerte die benötigte bezogene Luftleistung für gute Aufsauggrade um 30 %.

Der Abstand der Saugdüsen von der Bodenoberfläche sollte so gewählt werden, daß an den Aufnahmeorganen weder Beschädigungen noch Verstopfungen auftreten können. Ein Abstand von 30 mm erwies sich bei Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Flächen als praktikabel.

Eine Kombination von Saugluft mit Walzenbesen bzw. Druckluft ergab bei den durchgeführten Untersuchungen keine Verbesserung der pneumatischen Aufnahme. Bei starker Haftung der Samen an die Bodenpartikel wird jedoch eine bessere Aufnahme zu erwarten sein.

Die Adhäsionskräfte haben einen wesentlichen Einfluß auf die pneumatische Aufnahme. An der Bodenoberfläche haftende Samen wurden nur sehr schlecht aufgenommen. Die Adhäsionskräfte können ein tausendfaches der Gewichtskräfte von Samen erreichen. Der strömenden Saugluft wird durch ein Verkleben der Samen mit der Oberfläche nur sehr wenig Angriffsfläche am Samen gegeben, so daß sich dieses zusätzlich negativ auf die pneumatische Aufnahme auswirkt.

Das Mikror relief und damit die Bodenrauheit ist ein weiterer wichtiger Faktor für die pneumatische Aufnahme von Samen von der Bodenoberfläche. Unebenheiten führten zu einer starken Zunahme des benötigten Luftleistungsbedarfs für die pneumatische Aufnahme. Der Witterungsverlauf bis zur Mähdruschernte wirkt sich dabei stark auf die Reliefbildung aus. Trockenheit fördert die Rißbildung, Nässe die Einebnung von Böden.

Unter feuchten Bedingungen wurde Bodenmaterial im Bereich zwischen 1 und 5 t/ha aufgenommen. Unter trockenen Bedingungen und starker Rißbildung an der Bodenoberfläche wurden Gesamtmassen bis zu 15 t/ha aufgenommen. Eine Entfernung dieses Materials von der Bodenoberfläche kommt einer Erosion gleich. Zur Verhinderung von Erosion sollte aufgesaugtes Bodenmaterial auf der Fläche verbleiben. Im Rahmen einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung von Ackerflächen bietet sich die streifenweise Ablage des auf Schneidwerksbreite aufgenommenen Materials unter dem Mähdruscherkanal an. Es könnte eine Konzentration der Unkrautsamen auf den Bereich der Maschinenbreite erreicht werden. Wird parallel zusätzlich eine Ertragskartierung durchgeführt, so ist der zurückgelegte Weg des Mähdruschers genau bekannt. Unter Zuhilfenahme dieser Datensätze ist eine streifenweise Applikation von Herbiziden mit geeigneten Pflanzenschutzspritzen möglich. Durch die Reduzierung der zu applizierenden Fläche wäre eine erhebliche Einsparung an Herbiziden denkbar.

9 Literaturverzeichnis

Bücher sind mit ● gekennzeichnet

- [1] KUTZBACH, H. D., P. WACKER und P. REITZ: Developments in European Combine Harvesters. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng Madrid, September 1996, Paper No. 96-069
- [2] KAHRs, J. und M. BÜERMANN: Bei viel Unkraut langsamer dreschen. DLG-Mitteilungen 6 (1994) H. 6, S. 20-21
- [3] REITZ, P.: Untersuchungen zur Ertragskartierung während der Getreideernte mit dem Mähdrescher. Dissertation Universität Stuttgart, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) Nr. 305, 1997.
- [4] AUERNHAMMER, H.: Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung. Landtechnik 45 (1990) H. 8, S. 272-278
- [5] GERHARDS, R.: Einsatz der Bildverarbeitung bei der Unkrautbekämpfung. KTBL-Arbeitspapier 222 (1995) S. 56-65
- [6] BARKER, G. L., N. W. BUEHRING, F. D. WHISLER und R. F. COLEICK: Application of Herbicides in Small Grain Stubble. Transactions of the ASAE 25 (1982) Nr. 5, S. 1232-1236
- [7] N. N.: Mähdrescherdrille Güttler, dlz 44 (1993) H.11, S. 70
- [8] KREITMEYR, J.: Ernte und Saat in einem Arbeitsgang, dlz 45 (1994) H. 8, S.34-35
- [9] HÖNER, G.: Bisher noch nicht praxisreif. top agrar (1994) H. 7, S.70-71
- [10] BRENNER, JÜRES, KNOLLE, DIEDERICHSEN: Untersuchungen über Kornverluste bei verschiedenen Ernteverfahren. RKTL-Schriften 9 (1939) S.20-21, zitiert in [17]
- [11] PLUSCHKELL, U. und B. PALLUTT: Zur Verteilung von Unkräutern auf Getreidefeldern und deren Auswirkung auf die Nutzung von Schadensschwellen. Z. PflKrankh. PflSchutz (1996) Sonderheft XV, S. 141-147
- [12] RUBIN, B.: Herbicide-resistant weeds - the inevitable phenomenon: mechanisms, distribution and significance. Z. PflKrankh. PflSchutz (1996) Sonderheft XV, S. 17-32
- [13] ● KOCH, W.: Unkrautbekämpfung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1970
- [14] EL TITI, A.: Veränderung der Unkrautzusammensetzung nach 16 Jahren integrierter Bewirtschaftung auf dem Lautenbacher Hof. Z. PflKrankh. PflSchutz (1996) Sonderheft XV, S. 201-210
- [15] ALBRECHT, H. und A. MATTHEIS: Die Entwicklung der Ackerwildkrautflora nach Umstellung von konventionellem auf integrierten bzw. ökologischen Landbau. Z. PflKrankh. PflSchutz (1996) Sonderheft XV, S. 211-224

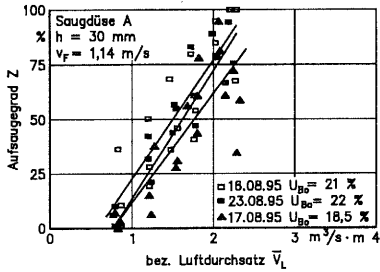
- [16] KNAB, W. und K. HURLE: Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung- ein Beitrag zur Prognose der Verunkrautung. Proc. EWRS Symp. Economic Weed Control (1986) S. 309-316
- [17] PETZOLDT, K.: Wirkung des Mähdruschverfahrens auf die Verunkrautung, Dissertation Landwirtschaftliche Hochschule Hohenheim 1957
- [18] ● PETERSEN, A.V.: Die Bekämpfung der Ackerunkräuter. Berlin 1951, zitiert in [17]
- [19] FOGELFORS, H.: Collection of chaff, awns and straw when combining and its influence on the seed-bank and the composition of the weed flora. Weeds and Weed Control, 23rd Swedish Weed Conference, Uppsala (1982) Vol. 2, S. 339-345
- [20] DOLLINGER, M.: Samenproduktion von Unkräutern in Mähdruschfrüchten, Diplomarbeit Universität Hohenheim (1988) unveröffentlicht
- [21] MOSS, S.: Straw burning and its effects on weeds. Straw, soils and science (1985) H. 9, S. 18-19
- [22] ● KOCH, W. und K. HURLE: Grundlagen der Unkrautbekämpfung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1978
- [23] ESTLER, M.: Unkräuter vorbeugend regulieren? Pflanzenschutz-Praxis 14 (1993) H.1, S. 28-29
- [24] WARTENBERG, G.: Untersuchungen zur Verfahrenstechnik teilflächenspezifischer Herbizidanwendung. KTBL-Workshop: Innovative Verfahren der Erkennung von Unkräutern zur Optimierung der Bekämpfung. Stuttgart-Hohenheim, 26.-27. Februar 1996
- [25] KOSWIG, M.: Mechanisierung der Getreideernte. Agrartechnik (1953) H., S.15-25
- [26] EKSTRØM, N.: Modified systems for combining cereals. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Annual Report No. 390 (1981)
- [27] WACKER, P.: Bekämpfung von Unkräutern bei der Getreideernte. Landtechnik 44 (1989) H. 6, S.215-219
- [28] BALSARI, P., G. AIROLDI und A. FINASSI: Development of a device able to separate and reduce the degree of germination of weed seeds harvested by a combine. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng Mailand, September 1994, Paper No. 94-D-062
- [29] DP 955 273 vom 13.12.1956 Int. Kl. A01f 7/44 Fella-Werke GmbH, Feucht (D) Reinigung in Mähdreschern
- [30] DP 354 0493.0 vom 15.11.1985 Engelbrecht + Lemmerbrock GmbH + Co., Melle (D) Mähdrescher mit Unkrautaussiebung

- [31] US-Patent 2,609,929 vom 04.04.1949 Alexander King, Carman, Manitoba, Canada (CAN) Grain and weed reclaiming accessory
- [32] DP 1020478 vom 05.12.1957 Int. Kl. A01f 7/44 Gebr. Claas, Harsewinkel (D) Vorrichtung zum Bergen und Sortieren der in Mähdreschern mit Druckwindreinigung anfallenden Spreu
- [33] DRP 68086 vom 02.03.1892 Kl. 19, Sörensen, Stockholm, Maschine zur Aufsammlung von am Boden liegenden kleinen Körpern, sie Getreidekörner, Ähren vom Acker, Staub und Schmutz von Straßen. DRP 68086 (1892)
- [34] DRP 235112 vom 17.10.1910 Kl. 2c, Böving, Halle, Maschine zum Auflesen von Getreidekörnern, Unkrautsamen und dergleichen
- [35] FISCHER-SCHLEMM, W. E.: Die Frage der mechanischen Ährenlese. Arbeiten des RKTL (1940) H. 2, S.24-28
- [36] DRGM 1300730, Fa. Hering, zitiert in [35]
- [37] DRGM 1339623, Fa. Lubahn, Vorrichtung zum Aufsaugen von Samenkörnern, zitiert in [35]
- [38] SPOKAS, L.: Persönliche Mitteilung, (1997)
- [39] PRICE, F. E. und R. N. LUNDE: Mechanical Filbert Nut Picker. Agricultural Engineering 26 (1945) H.4, S.151-155
- [40] PARKS, R. R. und J. P. FAIRBANK: Suction Machines for Harvesting Almonds. Agricultural Engineering 29 (1948) H. 7, S. 305-306
- [41] WHITNEY, R. W., O. L. ROTH und J. G. PORTERFIELD: Pecan Harvester Pickup and Separator Developments. Transactions of the ASAE 9 (1966) H. 3, S. 333-337
- [42] COATES, W. und B. LORENZEN: Equipment for Ground Harvesting Jojobaseed. Applied Engineering in Agriculture 6 (1990) H. 2, S. 125-130
- [43] COATES, W.: Equipment for jojoba mechanization. Proceedings of the 3rd International Symposium about the Advances in the cultivation of jojoba, Asuncion, Paraguay, 13.-18. September 1987
- [44] CARNEGIE, E. J. und M. PURCELL: Evaluation of Jojoba Harvesting Systems. Journal of the American Oil Chemists Society 65 (1988) H. 1, S. 29
- [45] COATES, W. und E. YAZICI: Aerodynamic Characteristics of Jojoba Seeds. Transactions of the ASAE 33 (1990) H. 5, S. 1449-1456
- [46] STRÖBELE, M.: Laborversuche zur Bestimmung der Losreißkräfte von an der Bodenoberfläche haftenden Unkrautsamen. Diplomarbeit Universität Stuttgart (1996) unveröffentlicht

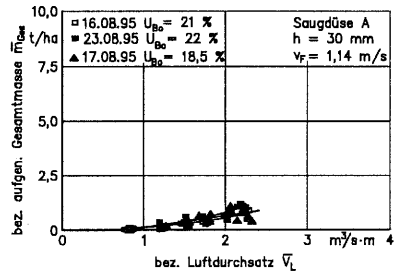
- [47] ● WALTHER, E.: Technische Formeln für die Praxis. Buch- und Zeit- Verlagsgesellschaft mbH, 28. Auflage, Köln, 1989
- [48] ● MADSEN, E. und N. E. LANGKILDE: ISTA-Handbook for Cleaning of Agricultural and Horticultural Seeds on small-scale Machines Part I. The International Seed Testing Association, Zürich, 1987
- [49] BECK, T. und T. BARRELMAYER: Automatisierter Schwebepfprüfstand für Schüttgut. Chem. Ing.-Tech. 63 (1991) H. 12, S.1245-1247
- [50] KAHRN, J.: Aerodynamic properties of weed seeds. Agrophysics 8 (1994) H. 2, S.259-262
- [51] KRAMBROCK, W.: Die Berechnung des Zyklonabscheiders und praktische Gesichtspunkte zur Auslegung. Aufbereitungstechnik (1971) H. 10, S. 643-649
- [52] DIN 1952: Durchflußmessung mit Blenden, Düsen und Venturidüsen in volldurchströmten Rohren mit Kreisquerschnitten. Beuth Verlag, Berlin, 1982
- [53] ● BOHL, W.: Technische Strömungslehre. VOGEL Buchverlag, 8. Auflage, Würzburg, 1989
- [54] CALAME, H.: Weiterentwicklung der Richtlinien und Normen für Drosselgeräte. VDI-Berichte Nr. 254 (1976), S. 21-26
- [55] KAHRN, J.: Aerodynamic properties of weed seeds. ICPPAM-Paper No. 93-1088, International Conference on Physical Properties of Agricultural Materials, Bonn, 6.-8. September 1993
- [56] HIEN, P.: Bodenrauheit. Landtechnik 51 (1996) H. 1, S.16-17
- [57] BYLER, R. K., M. KOSLAV u. K.-H. KROMER: Sensor Technology for Soil Surface Measurement. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng Paris, 1988, Paper No. 88-264
- [58] GILLEY, J. E. u. E. R. KOTWITZ: Random roughness assessment by the pin and chain method. Applied Engineering in Agriculture 12 (1995) H. 1, S. 39-45
- [59] SALEH, A.: Soil roughness measurement: Chain method. J. Soil and Water Conserv. 48 (1993) H. 6, S. 527-529
- [60] N. N.: Bedienungsanleitung für den optoNCDT 1605, Druckschrift Fa. MICRO-EPSILON MESSTECHNIK (1994)
- [61] DIN 4762: Oberflächenrauheit. Beuth Verlag, Berlin, 1989

Anhang

Einfluß des Bodenfeuchtegehaltes auf die pneumatische Aufnahme



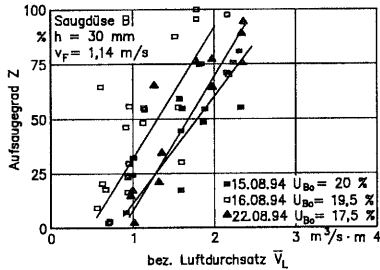
Abhängigkeit des Aufsaugegrades vom bezogenen Luftdurchsatz



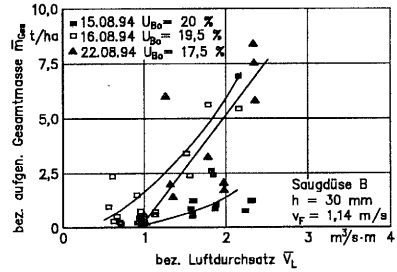
Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bezogenen Luftdurchsatz

Einfluß des Versuchsjahres

Versuchsjahr 1994

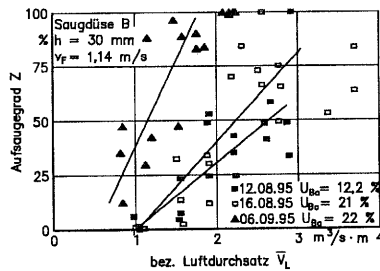


Abhängigkeit des Aufsaugegrades vom bezogenen Luftdurchsatz

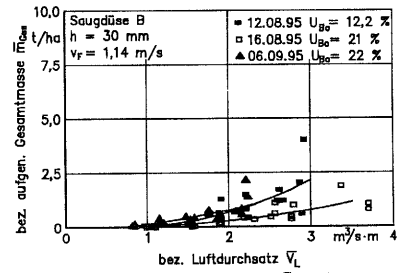


Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bez. Luftdurchsatz

Versuchsjahr 1995

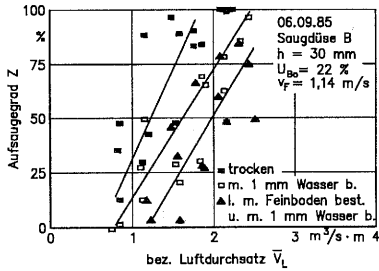


Abhängigkeit des Aufsaugegrades vom bezogenen Luftdurchsatz

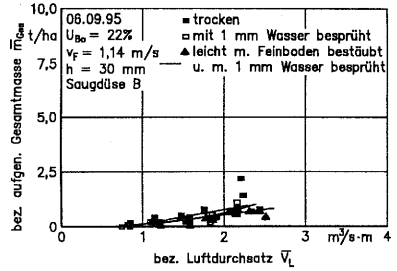


Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bez. Luftdurchsatz

Einfluß einer Befeuchtung

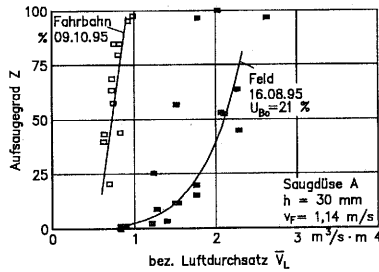


Abhängigkeit des Aufsaugegrades vom bezogenen Luftdurchsatz



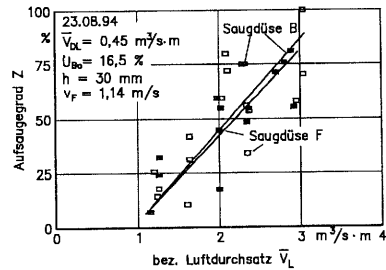
Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bez. Luftdurchsatz

Einfluß der Bodenrauheit

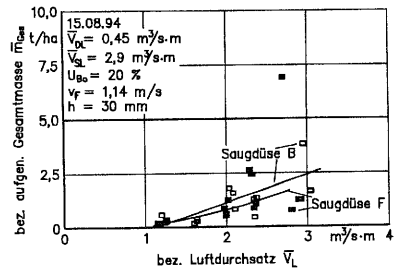


Abhängigkeit des Aufsaugegrades vom bezogenen Luftdurchsatz

Einfluß zusätzlicher Druckluft

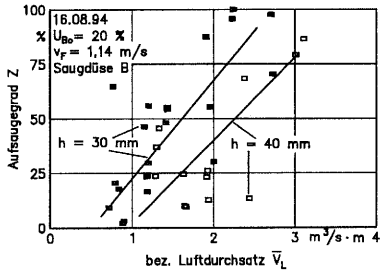


Abhängigkeit des Aufsaugegrades vom bezogenen Luftdurchsatz

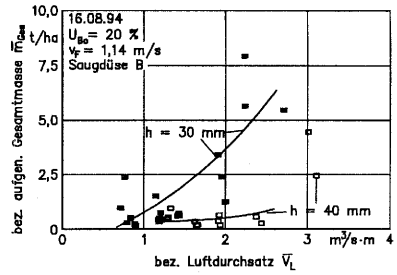


Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bez. Luftdurchsatz

Einfluß des Abstands

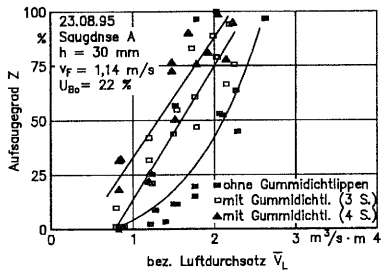


Abhängigkeit des Aufsauggrades vom bezogenen Luftdurchsatz

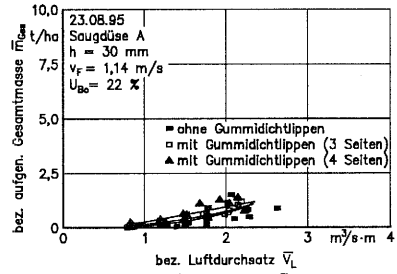


Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bez. Luftdurchsatz

Einfluß der Gummidichtlippen



Abhängigkeit des Aufsauggrades vom bezogenen Luftdurchsatz



Abhängigkeit der bez. aufgenommenen Gesamtmasse vom bez. Luftdurchsatz

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Johannes Kahrs
Geboren: 09.08.1968 in Alfstedt

Schulausbildung:

8/74 - 7/78 Grundschole Ebersdorf/Alfstedt
8/78 - 7/80 Orientierungsstufe Bremervörde
8/80 - 6/87 Gymnasium Bremervörde, Abitur

10/87 - 10/88 Grundwehrdienst

Berufsausbildung:

10/88 - 9/92 Studium der Allgemeinen Agrarwissenschaften an der
Universität Hohenheim, Fachrichtung: Pflanzenproduktion.
Abschluß: Dipl.-Ing. agr.

Berufspraxis:

11/92 - 07/97 Wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl Grundlagen der
Landtechnik des Institutes für Agrartechnik der Universität
Hohenheim

seit 08/97 Marketing Specialist für Caterpillar CLAAS America LLC in
DeKalb, Illinois

ISSN 0931-6264