

## Staubemission, Staubimmission und Staubbekämpfung beim Mähdrescher

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

DK 53.08:62-784:628.511:631.354

Im Rahmen der Bemühungen um eine Verbesserung der Umweltbedingungen am Arbeitsplatz ist die Staubbekämpfung auf fahrenden Arbeitsmaschinen eine aktuelle Aufgabe. — Neben dem Messen der Staubströme und der Staubausbreitung liegt das Hauptziel der Arbeit in der Untersuchung von Maßnahmen zur Staubbekämpfung. Den sichersten Schutz gegen Staub bietet die mit Kühlanlage ausgerüstete, geschlossen gehaltene Fahrerkabine. Wird ein geringerer Aufwand angestrebt, empfiehlt sich eine Fahrerhaube. Hiermit läßt sich die Staubbelastung auf 10 bis 25 mg/m<sup>3</sup> verringern. Das Absaugen der Staubströme an den Quellen und das Abscheiden des Staubes erfordert einen verhältnismäßig großen Aufwand. Diese Maßnahme zur Staubbekämpfung erscheint für den Mähdrescher derzeit wenig aussichtsreich. Unbeschadet dieser Bewertung stehen die genannten Maßnahmen als grundsätzliche Lösungen im Wettbewerb miteinander.

Vom Institut haben an den Messungen mitgewirkt:

Dr.-Ing. G. Wächter, Versuchsflächen;

Dipl.-Ing. H. Speckmann, Elektronische Meßtechnik, Programme Prozeßrechner;

Dipl.-Ing. T. Hinz, Teilchengrößenanalyse;

Ing. (grad.) R. Möller und Ing. (grad.) H.-J. Haselhuhn, Konstruktion der Erfassungselemente und Versuchseinrichtungen;

Techniker U. Burow, R. Bruer, Staubmessungen, Auswertung und Versuchsdurchführung;

Techniker G. Strerath, W. Ihle, Durchführung und Auswertung der elektronischen Messungen;

Laborantin Frau E. Schmidt, Laboruntersuchungen;

Meister und Versuchsmechaniker D. Wellner, H. Heise, M. Franke, W. Falk, H. Seidel und W. Schridde, Aufbau der Versuchsanlage und Betrieb des Mähdreschers;

\*) Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Direktor des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

### Inhalt

1. Einleitung
2. Aufgabenstellung
3. Versuchsaufbau und -durchführung
  - 3.1 Messen der Staubemission
  - 3.2 Messen der Immission am Fahrerplatz
  - 3.3 Messen der Erfolge von Maßnahmen zur Staubbekämpfung
4. Meßergebnisse
  - 4.1 Die Staubemission beim Mähdrescher
  - 4.2 Ergebnisse über die Staubausbreitung und den Staubgehalt am Fahrerplatz
  - 4.3 Erfolge von Maßnahmen zur Staubbekämpfung
5. Zusammenfassung
  - 5.1 Staubemission
  - 5.2 Staubausbreitung (Immission)
  - 5.3 Staubbekämpfung

### 1. Einleitung

Auf fahrenden Arbeitsmaschinen sind neben der Arbeitsbelastung insbesondere die Klima-, Staub-, Schwingungs- und Lärmbelastung bestimmend [1]. Hinsichtlich der Staubbelastungen ergeben Messungen, daß diese auch bei längerfristiger Tätigkeit oberhalb anzustrebender Grenzwerte liegen können. Dies begründet Überlegungen zur Staubbekämpfung. Die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Staubbekämpfung umfassen [2]:

1. Betriebstechnische Maßnahmen (Begrenzung der Expositionsdauer, Wahl günstiger Arbeitsrichtungen und -termine, hohe Fahrgeschwindigkeit usw.)
2. Aufheben des Arbeitsplatzes durch Automatisieren
3. Staubschutz am Beschäftigten durch Atemschutzgeräte
4. Anordnung des Fahrerplatzes
5. Senken der Stärke der Staubquellen
6. Erfassen des Staubes an den Quellen mit Abscheiden, windabhängige Abgabe oder andere Behandlung
7. Ableiten und/oder Verdünnen der Staubströme während der Ausbreitung im Bereich des Fahrerplatzes
8. Kapseln des Arbeitsplatzes durch eine Fahrerkabine.

Die Wirkungen der genannten Maßnahmen lassen sich recht gut abschätzen, eine meßtechnische Absicherung, insbesondere der Punkte 5 bis 8, steht aber noch aus. Hierzu einen Beitrag zu liefern ist das Ziel von schon früher angesprochenen [1, 2] und zwischenzeitlich abgeschlossenen Versuchen.

## 2. Aufgabenstellung

Da alle Maßnahmen zur Bekämpfung einer Staubbelastung die Kenntnis der Staubquellen voraussetzen, ist ihre Bestimmung der erste Schritt der Untersuchungen.

1. Messen der Staubemission beim Mähdrusch in Abhängigkeit von Eigenschaften des zu erntenden Gutes, wie Getreideart, -feuchtigkeit, Art des Bestandes, und von technischen Bedingungen, wie Schnittbreite, Trommeldrehzahl, Fahrgeschwindigkeit und Korbabstand.

Der an den Quellen austretende Staub wird über Luftströmungen fortgeleitet. Das auf diese Weise entstehende Staubfeld wird gekennzeichnet durch die örtlich vorliegende Staubkonzentration. Daher ist weiter zu messen:

2. Die Ausbreitung des Staubes von den Quellen und die dadurch auftretende Staubbelastung am Fahrerplatz, insbesondere in Abhängigkeit von den Windverhältnissen.

Nach der Analyse der Staubemission und der Staubausbreitung verbleibt als Aufgabe:

3. Technische Maßnahmen zum Bekämpfen der Staubbelastung insbesondere am Fahrerplatz zu untersuchen.

## 3. Versuchsaufbau und -durchführung

Für die Versuche wurde ein Mähdrusch der Fa. Claas, Typ Dominator 85 mit 4,50 m Schnittbreite und einer Kabine mit Kühleinrichtung gewählt. Diese Maschine wurde so ausgerüstet, daß sich die oben gestellten Fragen im praktischen Einsatz untersuchen lassen.

### 3.1 Messen der Staubemission

Beim Mähdrusch wird an folgenden Orten Staub emittiert. (Die Stärke der Quellen entspricht der gewählten Reihenfolge):

1. An den Öffnungen für den Stroh- und Spreuaustritt
2. Am Mähtrisch (Schneidwerk), und hier insbesondere im Bereich der Einzugsorgane
3. An den bodenberührenden Elementen (Reifen, Schleifsohlen)
4. An undichten Stellen der stoffführenden Kanäle.

Von diesen Quellen sind die am Stroh- und Spreuaustritt und die am Mähtrisch bestimmend, so daß sich die folgenden Betrachtungen auf diese beziehen.

Am Stroh- und Spreuaustritt wird Staub durch vom Mähdrusch erzeugte Luftströmungen, nämlich den Reinigungs- und den Trommelluftstrom, aus dem Mähdrusch heraus transportiert. Um diesen Emissionsstrom  $E_S$  zu erfassen, wurde der Austritt mit Stauberfassungselementen, Bild 1, umschlossen. Die äußeren Schürzen bestehen im unteren Bereich aus geschlitztem Gummi, um eine hinreichende Abdichtung zum Boden zu erhalten. Der anfallende Staub wird entgegen der Fallrichtung nach oben abgesaugt. An dieser Stelle liegt die Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,5 und 1 m/s. Dadurch wird erreicht, daß im Verhältnis gesehen nur wenig Kurzstroh und Spreu mitgerissen werden. Dieser Anteil beträgt etwa das Dreifache der Staubmenge.

Die abgesaugte Luftmenge muß mindestens so groß sein wie der Reinigungs- und Trommelluftstrom. Dieser erreicht bei dem gewählten Mähdrusch einen Höchstwert von etwa 15 000 m<sup>3</sup>/h.

Im praktischen Betrieb liegen die Mengen zwischen 8 000 bis 11 000 m<sup>3</sup>/h. Das Gebläse wurde daher so gewählt, daß der Durchsatz beim Absaugen im Betrieb mindestens 15 000 m<sup>3</sup>/h beträgt.

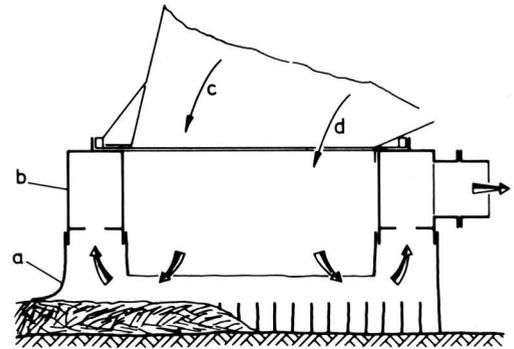


Bild 1. Schema der Stauberfassungselemente am Stroh- und Spreuaustritt.

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| a Gummi, unten geschlitzt                         | c Langstroh           |
| b Absaugkanal 320 mm breit<br>430 mm hoch, rundum | d Spreu und Kurzstroh |

Die Elemente zum Erfassen des Emissionsstromes  $E_M$  am Schneidwerk zeigt Bild 2. Auf dem Mähtrisch ist ein Absaugkanal über die gesamte Breite angeordnet. Mit der Weite des Absaug Schlitzes läßt sich eine über der Breite gleichmäßige Einströmgeschwindigkeit einstellen. Bei der gewählten Gebläseleistung ist ein nahezu vollständiges Erfassen dieser Quelle bei Wind mit einer Stärke bis etwa  $v_{rw} = 4$  m/s möglich.

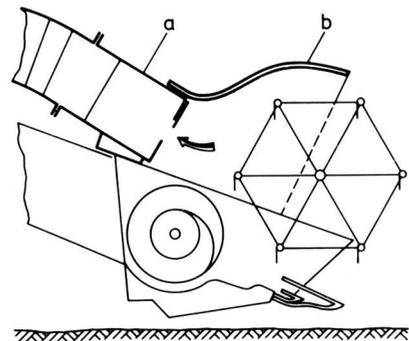


Bild 2. Schema der Erfassungselemente am Schneidwerk.

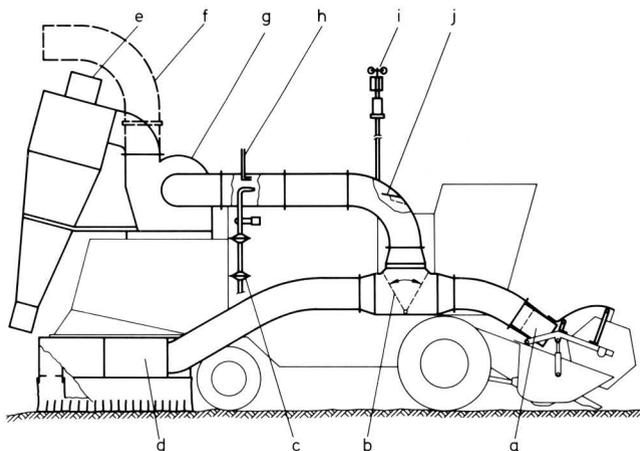
- |  |
|--|
| a Absaugkanal 400 mm hoch, 500 mm breit (in der Mitte) |
| b durchsichtige Haube, seitlich geschlossen            |

Die gesamte Meßeinrichtung zeigen Bild 3 und 4. Beide Staubquellen lassen sich wahlweise an das Radialgebläse mit 15 000 m<sup>3</sup>/h Durchsatz bei 20 mbar anschließen, das auf dem Mähdrusch angeordnet ist und von einem Wankelmotor (15 kW) angetrieben wird. Über die Drehzahl läßt sich der Durchsatz im Bedarfsfall noch wesentlich steigern.

Die Mengenmessung des erfaßten Staubes in der abgesaugten Luft erfolgt über eine Sondenentnahme mit Fraktionierung in drei Klassen, Bild 4. Ein Sieb dient zur Abscheidung der Teilchen  $d > 1$  mm. Dies ist damit die obere, gewählte Grenze des Staubes. Daran schließen sich ein Zyklon zur Abtrennung des Grobstaubes und ein Filter (Membran- oder Glasfaserfilter) zur Abtrennung des Feinstaubes an [3]. Die Teilchengrößenanalyse im Labor erfolgt mit dem Luftstrahlsieb und dem Coulter-Counter [4].

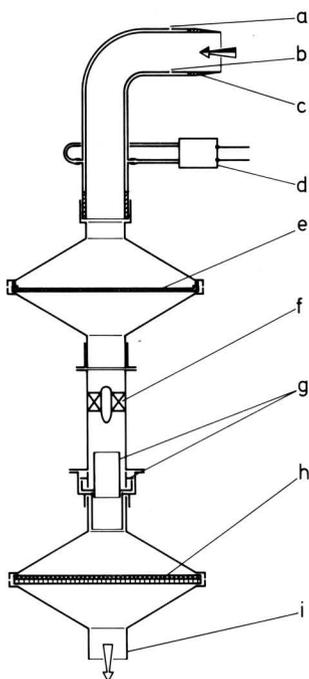
Die Rohrleitung im Bereich der Sondenentnahme wurde, um repräsentative Proben zu erhalten, durch Leitbleche so gestaltet, daß ein möglichst gleichmäßiges Staubprofil vorliegt. Nach Bilanzmessungen beträgt der Fehler weniger als  $\pm 5$  %. Der abgesaugte

Staub wird nach dem Gebläse entweder über ein drehbares Ableitrohr in Strömungsrichtung des Windes abgegeben oder durch einen Zyklon abgeschieden. Die Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen von 0,5 m  $\phi$  beträgt etwa 20 m/s, um Ablagerungen zu verhindern.



**Bild 3.** Ansicht des Mähreschers mit Versuchseinrichtungen (ohne elektronische Geräte).

- |   |   |
|---|---|
| a Erfassungselemente<br>Schneidwerk (Bild 2)                | g Gebläse mit Wankelmotor   |
| b umschaltbare Klappe                                       | h Prandtl-Rohr<br>(verschiebbar)  |
| c Staubprobennehmer<br>(s. Bild 4)                          | i Einrichtung zum Messen<br>der relativen Windrichtung<br>und Windgeschwindigkeit |
| d Erfassungselemente<br>Stroh- u. Spreuaustritt<br>(Bild 1) | j Leitbleche  |
| e Zyklon  |   |
| f drehbares Ableitrohr                                      |   |



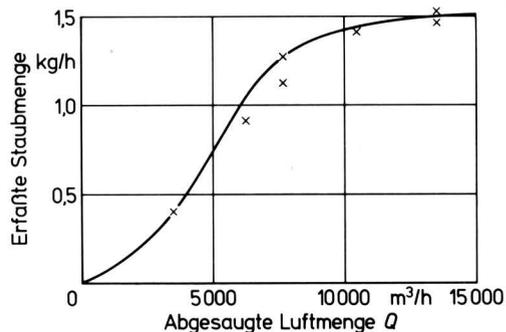
**Bild 4.** Schema der Einrichtung zur Staubprobenahme mit Auftrennung in Grob- und Feinstaub.

- |   |  |
|---|--|
| a Bohrung für Druck<br>im Hauptgasstrom | e Sieb 1 mm Maschenweite                                     |
| b Bohrung für Druck<br>im Teilgasstrom  | f Leitrad Axialzyklon  |
| c Nulldrucksonde                        | g Grobstaubsammelgefäß                                       |
| d Differenzdruckgeber                   | h Filter (Membran- oder<br>Glasfaserfilter) für<br>Feinstaub |
|   | i Anschluß Gebläse   |

Die Güte der Absaugung läßt sich experimentell dadurch überprüfen, daß man die abgesaugte Luftmenge so weit steigert, bis die erfaßte Staubmasse nur noch wenig ansteigt, also der asymptotische Wert fast erreicht wird, **Bild 5 und 6**.

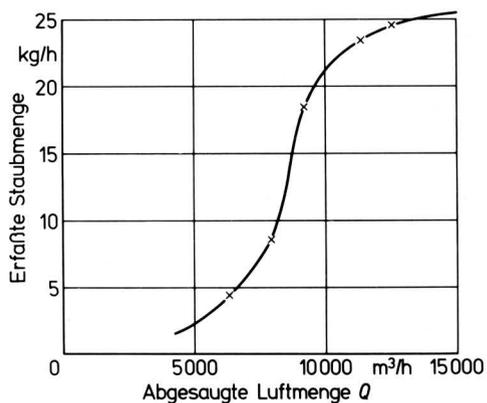
Die diesem Grenzwert nahe kommende, erfaßte Staubmenge ist jeweils identisch mit dem Staubemissionsstrom  $E_M$  bzw.  $E_S$  [kg/h].

Die Fahrten zum Messen der Emissionsströme werden für  $E_M$  gegen den Wind, für  $E_S$  meist mit achterlichem Wind und jeweils einer Relativgeschwindigkeit bis  $v_{TW} = 4$  m/s durchgeführt. Ihre Dauer hängt von der anfallenden Staubmenge ab. Es wird die Trockenmasse ermittelt und angegeben [3].



**Bild 5.** Am Mähtrisch erfaßte Staubmasse in Abhängigkeit von der abgesaugten Luftmenge.

Sommergerste: Feuchtegehalt des Kornes  $U_K = 15,5\%$ ;  
Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s



**Bild 6.** Am Stroh- und Spreuaustritt erfaßte Staubmenge in Abhängigkeit von der abgesaugten Luftmenge.

Sommergerste: Feuchtegehalt des Kornes  $U_K = 15,3\%$ ;  
Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s

### 3.2 Messen der Immission am Fahrerplatz

Die Staubausbreitung von den Quellen bzw. das Staubfeld [2] läßt sich durch Messen der Staubemissionsstromdichte beschreiben. Diese Dichte ist der auf die Fläche bezogene Staubemissionsstrom und damit auch das Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit und Staubgehalt. Für die gestellte Aufgabe interessiert neben dem Staubgehalt, der stets auf Normzustand der Luft bezogen wird, auch die Staubzusammensetzung am Fahrerplatz. Aus diesem Grund wird neben batteriebetriebenen Filtrationsabscheidern das im Institut entwickelte Gerät mit Trennung in Grob- und Feinstaub eingesetzt, **Bild 4** ohne Entnahmesonde und das 1 mm Sieb [3].

Ort der Probenahme ist jeweils der Atembereich des Fahrers. – Bei einer Staubgehaltsmessung mit der Filtrationsmethode ist zu bedenken, daß dadurch eine gewisse Entstaubung der Luft erfolgt. Dies kann in Kabinen insbesondere bei kleinen Frischluftmengen zu Fehlern führen. Unter solchen Bedingungen sind Filtergeräte mit einem entsprechend kleinen Luftdurchsatz zu wählen. Eine andere Lösung besteht darin, die Abluft der dichten Kabine durch ein Rohr abzuleiten und den Staub an dieser Stelle mit Hilfe einer Sonde zu entnehmen.

Da die Staubausbreitung im wesentlichen über die Windströmungen erfolgt, ist der Mähdrescher mit einer Einrichtung ausgerüstet, die den Windeinfallswinkel  $\alpha$  bezogen auf die Fahrzeugsängsachse (im Uhrzeigersinn) und die relative Windgeschwindigkeit  $v_{rw}$  in der ungestörten Strömung kontinuierlich mißt. Die Ergebnisse werden auf Band gespeichert und anschließend über einen Prozeßrechner ausgewertet und ausgedruckt. Diesen Werten werden die Staubgehaltsmeßwerte am Fahrerplatz zugeordnet. Alle Meßergebnisse stehen vor Beginn des nächsten Versuchstages zur Verfügung. Bei gleichzeitiger Messung des Emissionsstroms sind die wichtigsten Einflußgrößen für die Fahrerplatzbelastung bekannt.

Der Anteil jeder Staubquelle an der Belastung am Fahrerplatz läßt sich dadurch ermitteln, daß die andere Quelle abgesaugt und der Staub abgeschieden wird. Zur Abscheidung dient ein Zyklon von 1,2 m  $\phi$ , 3 m Höhe und einer Trennkorngröße von etwa 7  $\mu$ m.

### 3.3 Messen der Erfolge von Maßnahmen zur Staubbekämpfung

Von den in Abschnitt 1 genannten grundsätzlichen technischen Möglichkeiten zur Staubbekämpfung sollen die nach Punkt 5 bis 8 untersucht werden.

#### 3.3.1 Senken der Stärke der Staubquellen

Mit der Anordnung nach Bild 3 und 4 lassen sich die Abhängigkeiten der Staubemissionsströme von Produktions- und Arbeitsbedingungen, wie Feuchtigkeit des Erntegutes, Trommeldrehzahl und Zerkleinern durch Häckseln untersuchen. Da die Größe der Ströme und die Staubbelastung am Fahrerplatz verknüpft sind, kann man aus den Abhängigkeiten der Emissionsströme auch betriebstechnische Maßnahmen zur Staubbekämpfung ableiten.

#### 3.3.2 Erfassen des Staubes an den Quellen mit Abscheiden, windabhängiger Abgabe oder anderer Behandlung

Die Versuchsanordnung ermöglicht es, die Emissionsströme am Mähtrisch und am Spreu- und Strohaustritt sowohl zu erfassen als auch abzuscheiden. Gleichzeitig läßt sich der Staubgehalt am Arbeitsplatz messen. Um die Erfolge dieser Staubbekämpfungsmaßnahme beurteilen zu können, muß man unter gleichen Bedingungen auch den Staubgehalt am Fahrerplatz bei Normalausführung des Mähdreschers ermitteln. Aus diesem Grunde sind die Erfassungselemente und der Zyklon so ausgeführt, daß ein An- und Abbau in kurzer Zeit möglich ist. Zur Normalausführung des Mähdreschers gehören bei allen Versuchen die festverlegten Rohrleitungen und das Gebläse.

#### 3.3.3 Ableiten und/oder Verdünnen der Staubströme während der Ausbreitung im Bereich des Fahrerplatzes

Zur Untersuchung dieses Einflusses läßt sich der Mähdrescher in Normalausführung und in Normalausführung mit einer Fahrerhaube Bauart Röttenbacher [2] betreiben. Die von der Fahrerhaube durchgesetzte Luftmenge beträgt etwa 1000 m<sup>3</sup>/h.

#### 3.3.4 Kapseln des Arbeitsplatzes durch eine Fahrerkabine

Der Mähdrescher in Normalausführung läßt sich weiter mit einer Fahrerkabine mit Kühlanlage und Entstauber für die Frischluft ausrüsten. Die Frischluft wird über einen Filtrationsentstauber mit einem Stufenentstaubungsgrad von 97 %, gemessen für die Fraktion von 3 bis 7  $\mu$ m, in die Kabine geleitet. Die Frischluftzufuhr beträgt etwa 320 m<sup>3</sup>/h bei einem Überdruck in der Kabine von 0,3 mbar.

Um die unter 3.3.2 bis 3.3.4 genannten Maßnahmen miteinander vergleichen zu können, ist neben den Erfassungselementen auch die Fahrerhaube so ausgelegt, daß ein Wechsel in wenigen Minuten möglich ist. Für den An- bzw. Abbau der Fahrerkabine sind etwa 30 Minuten notwendig. Auf diese Weise lassen sich die verschiedenen Maßnahmen zur Staubbekämpfung in kurzen zeitlichen Abständen und damit unter nahezu gleichen Bedingungen untersuchen. Um eine hinreichende Anzahl von Meßwerten in Abhängigkeit von der Windrichtung zu erhalten, werden für diese vergleichenden Untersuchungen Kreisfahrten mit einem Mindestdurchmesser von 200 m bevorzugt.

## 4. Meßergebnisse

### 4.1 Die Staubemission beim Mähdrusch

Die wichtigsten stoffabhängigen Einflußgrößen im Hinblick auf die Emissionsströme sind die Feuchtigkeit des Getreides, die Getreideart und der Zustand des Bestandes. Die mähdrescherbedingten Parameter sind vor allem die Fahrgeschwindigkeit, die Trommeldrehzahl, die Arbeitsbreite, die Korbstellung und die Art der Strohbehandlung am Austritt.

Den Einfluß der Pflanzenfeuchtigkeit, beschrieben über den Feuchtegehalt des Kornes, und den der Getreideart zeigen die Bilder 7 bis 10. Es handelt sich um als repräsentativ anzusehende Bestände an verschiedenen Standorten. Die für diese Messungen geerntete Fläche beträgt etwa 40 ha. Die Trommeldrehzahl, Schnittbreite und Fahrgeschwindigkeit sind jeweils gleich.

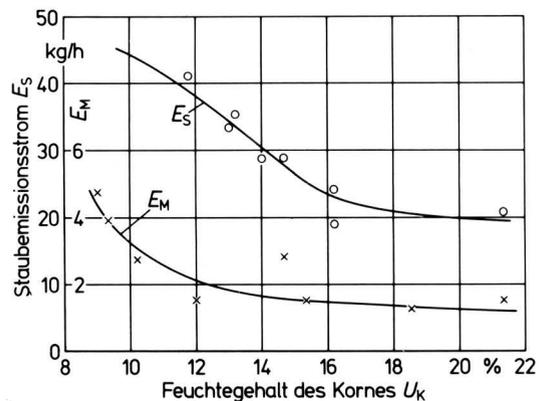


Bild 7. Staubemissionsströme  $E_M$  und  $E_S$  bei Gerste in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Kornes  $U_K$ .

Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s; Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min; 5 Standorte

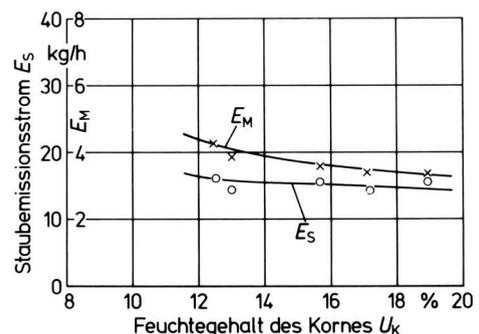
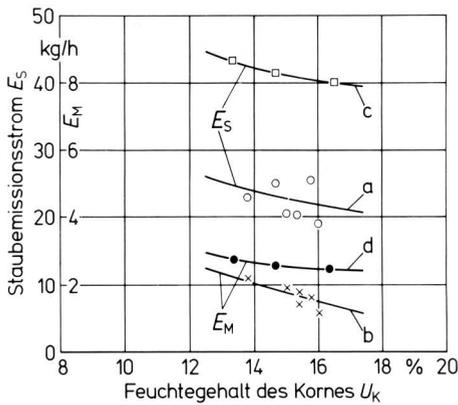


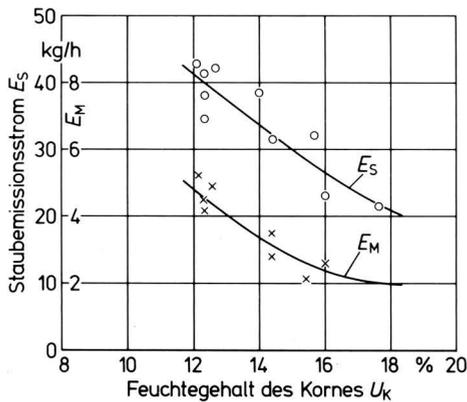
Bild 8. Staubemissionsströme bei Hafer.

Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s; Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min; 1 Standort



**Bild 9.** Einfluß des Feuchtegehaltes des Kornes  $U_K$  auf die Staubemissionsströme bei Roggen.

- a u. b Roggen, gemäht bei Erreichen der Mähdescherreife, Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min; Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s; 3 Standorte  
 c u. d Roggen, gemäht 14 Tage nach Erreichen der Mähdescherreife mit dazwischenliegenden Niederschlägen, Trommeldrehzahl  $n = 1500$  U/min; Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s



**Bild 10.** Einfluß des Feuchtegehaltes des Kornes  $U_K$  auf die Emission bei Winterweizen.

- Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min; Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s; 4 Standorte

		Gerste	Hafer	Roggen	Weizen
$E_S$	kg/h	23,5	15	22	27
$E_M$	kg/h	1,6	3,6	1,4	2,4
$E_S/E_M$		14,7	4,2	15,7	11,3

**Tafel 1.** Mittlere Staubemissionsströme  $E_M$  und  $E_S$  für verschiedene Getreidearten und einem Feuchtegehalt des Kornes  $U_K = 16\%$ .

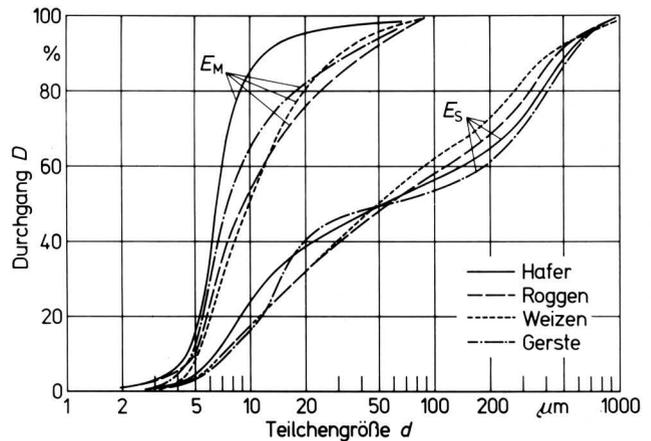
		Gerste		Roggen		Hafer		Weizen	
		$A_G$	$A_F$	$A_G$	$A_F$	$A_G$	$A_F$	$A_G$	$A_F$
Mähtrisch	Mittelwert	90,6	9,4	85,7	14,3	79	21	89	11
	Bereich	86 - 94	6 - 14	81 - 91	9 - 19	75 - 84	16 - 25	87 - 91	9 - 13
Stroh- und Spreuaustritt	Mittelwert	97	3	96,4	3,6	95,2	4,8	96,3	3,7
	Bereich	96 - 98	2 - 4	95 - 97	3 - 5	94 - 96	4 - 6	95 - 97	3 - 5
Anzahl der Meßwerte	bei $E_M$	47		16		6		14	
	bei $E_S$	17		39		7		27	

Aus den Messungen folgt, daß die Staubemissionsströme  $E_M$  und  $E_S$  mit abnehmender Feuchtigkeit ansteigen. Abweichungen von den Kurven entstehen dann, wenn sich die Luftfeuchtigkeit kurzfristig stark ändert, sich also auf der Oberfläche der Pflanzen aber noch nicht in der Kornfeuchtigkeit auswirkt. Diese Fälle (z.B. Niederschläge) sind nicht wiedergegeben. Im Mittel ist der Emissionsstrom am Stroh- und Spreuaustritt um das 10fache stärker als der am Mähtrisch.

Hinsichtlich der Getreideart ist der Emissionsstrom am Stroh- und Spreuaustritt bei gleichen Bedingungen nicht sehr unterschiedlich. In **Tafel 1** sind aus den Bildern entnommene Emissionswerte für  $U_K = 16\%$  zusammengestellt. Die vorhandenen Unterschiede sind neben den Stoffeigenschaften auch auf die verschiedene Korbeinstellung zurückzuführen.

Im Vergleich dazu zeigt der Emissionsstrom am Mähtrisch größere relative Unterschiede. An dieser Stelle wird vor allem leicht anhaftender und bereits bei geringer Beanspruchung entstehender Staub emittiert. Dies wird durch den höheren Anteil an Feinstaub, **Tafel 2** und **Bild 11**, bestätigt. Dieses Bild zeigt anschaulich die wesentlich größere Feinheit des Staubes im Emissionsstrom vom Mähtrisch. Die Unterschiede in der Teilchengrößenverteilung zwischen den Getreidearten sind vergleichsweise gering.

Einen wichtigen Einfluß haben auch der Boden und in Verbindung damit die Intensität der Niederschläge (durch Spritzvorgänge vom Boden abgelöste Teilchen). Nicht wiedergegebene Versuche an nicht beregneter und beregneter Gerste zeigen für letztere, insbesondere bei Lagergetreide, fast eine Verdoppelung des Emissionsstromes am Mähtrisch und nur eine geringe Veränderung am Stroh- und Spreuaustritt.

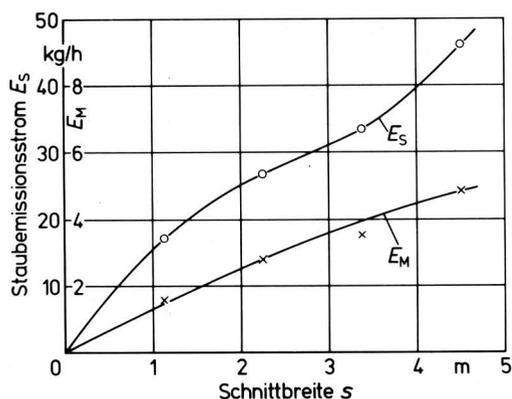


**Bild 11.** Teilchengrößenverteilung (Durchgang  $D$ ) für den Staub in den Emissionsströmen und einer Kornfeuchte um  $16\%$ .

Die gezeigten Kurven der Emissionsströme in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit wurden ermittelt an als normal anzusehenden Beständen, wobei als Mähzeitpunkt das Erreichen der Mähdruschreife gewählt wurde. Es treten insbesondere dann Abweichungen auf, wenn das Getreide beregnet wurde oder der Bestand überreif ist. Winterroggen, geerntet etwa 14 Tage nach Erreichen der Mähdescherreife und mit dazwischenliegenden Niederschlägen erreicht

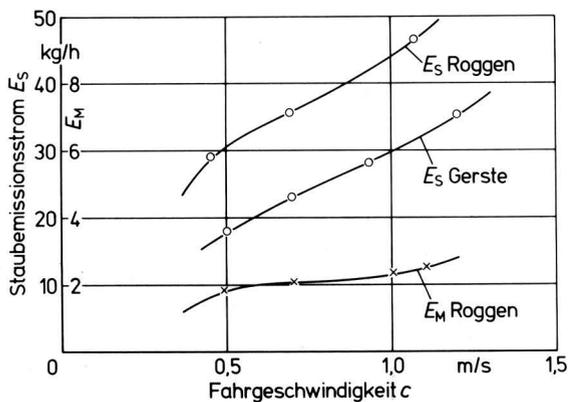
**Tafel 2.** Grob- ( $A_G$ ) und Feinstaubanteil ( $A_F$ ) in den Emissionsströmen  $E_M$  und  $E_S$ .

Emissionsströme, die wesentlich höher liegen, Bild 9. Des weiteren können Abweichungen auftreten, wenn ein starker Unterwuchs vorhanden ist, der zu einer Anfeuchtung während des Mähvorganges führt. Solche Fälle sind in den Kurven nicht enthalten.



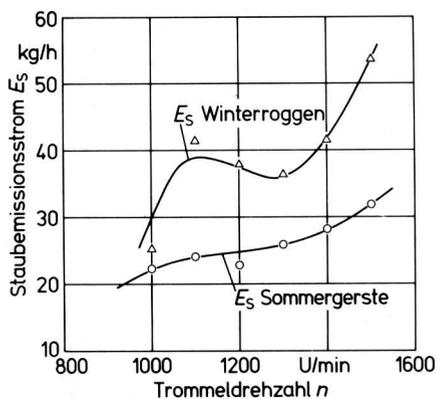
**Bild 12.** Staubemissionsströme  $E_M$  und  $E_S$  in Abhängigkeit von der Schnittbreite  $s$ .

Wintergerste: Feuchtegehalt des Kornes  $U_K = 9\%$ ;  
Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min;  
Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s



**Bild 13.** Staubemissionsströme als Funktion der Fahrgeschwindigkeit  $c$ .

Feuchtegehalt des Kornes:  
Roggen:  $U_K = 13,5\%$   
Gerste:  $U_K = 13,2\%$   
Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min



**Bild 14.** Staubemissionsstrom  $E_S$  in Abhängigkeit von der Trommeldrehzahl.

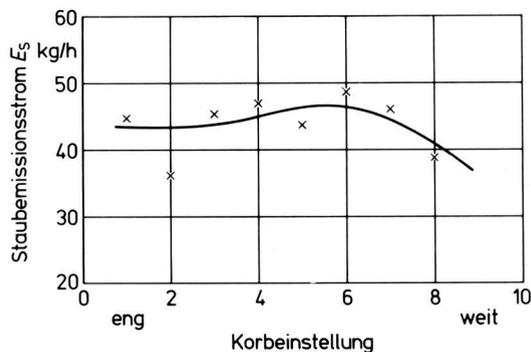
Feuchtegehalt des Kornes:  
Roggen:  $U_K = 15,4\%$   
Gerste:  $U_K = 14\%$   
Fahrgeschwindigkeit  $c = 1,2$  m/s

Die Einflüsse der mährescherbedingten Parameter, wie Schnittbreite, Fahrgeschwindigkeit, Trommeldrehzahl und Korabstand, zeigen die Bilder 12 bis 15.

Es ergibt sich, daß der Staubemissionsstrom bei sonst gleichen Bedingungen etwa dem Getreidedurchsatz (Pflanzenmasse) proportional ist, wie die Abhängigkeit von der Schnittbreite und der Fahrgeschwindigkeit zeigen. Mit diesen Angaben lassen sich die Emissionsströme für andere Bauarten abschätzen.

Mit der Trommeldrehzahl steigt der Staubemissionsstrom am Stroh- und Spreuaustritt. Dabei können sich, wie ein Bestand mit großem Strohanteil zeigt, auch gegenläufige Einflüsse zeigen, Bild 14.

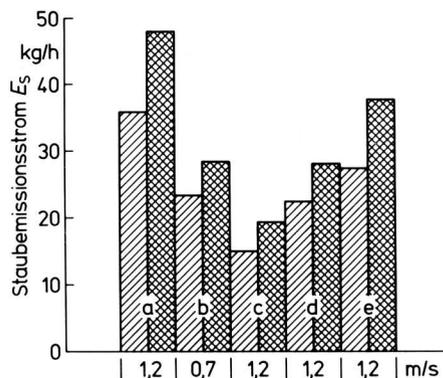
Den Einfluß des Korabstandes zeigt Bild 15. Bei hohem Strohanteil kann sich die Staubemission stärker mit der Korbeinstellung ändern.



**Bild 15.** Einfluß der Korbeinstellung auf den Emissionsstrom  $E_S$ .

Winterweizen: Feuchtegehalt des Kornes  $U_K = 12,1\%$ ;  
Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min;  
Fahrgeschwindigkeit  $c = 12$ ,

Durch Häckseln, Bild 16, steigt der Emissionsstrom am Stroh- und Spreuaustritt um 20 bis 40 %.



**Bild 16.** Staubemissionsströme  $E_S$  ohne und mit Häckseln des Strohes.

Trommeldrehzahl  $n = 1400$  U/min;  
a Sommergerste  $U_K = 12,4\%$   $c = 1,2$  m/s  
b Sommergerste  $U_K = 12,4\%$   $c = 0,7$  m/s  
c Hafer  $U_K = 13,7\%$   $c = 1,2$  m/s  
d Roggen  $U_K = 13,8\%$   $c = 1,2$  m/s  
e Weizen  $U_K = 15,6\%$   $c = 1,2$  m/s

## 4.2 Ergebnisse über die Staubausbreitung und den Staubgehalt am Fahrerplatz

### 4.2.1 Allgemeines zur Staubausbreitung

Der an den Quellen austretende Staub breitet sich über Luftströmungen aus. Beherrschend sind die Windströmungen, überlagert durch die vom Mährescher erzeugten Kühl-, Trommel- und Rei-

nigungsluftströme. Es entstehen zwei sich abhängig von den Windverhältnissen überlagernde Staubfelder. In diesem Bereich liegt der Fahrerplatz.

Zur Staubausbreitung zunächst einige kurze grundsätzliche Hinweise. Betrachtet man eine in einer Ebene liegende Punktquelle mit einer in dem zur Verfügung stehenden Raum gleichmäßigen Ausbreitung, so beträgt der durch eine in einem bestimmten Abstand betrachtete Halbkugeloberfläche hindurchtretende Staubemissionsstrom

$$E = w \cdot F \cdot \zeta \quad [\text{kg/h}] \quad (1).$$

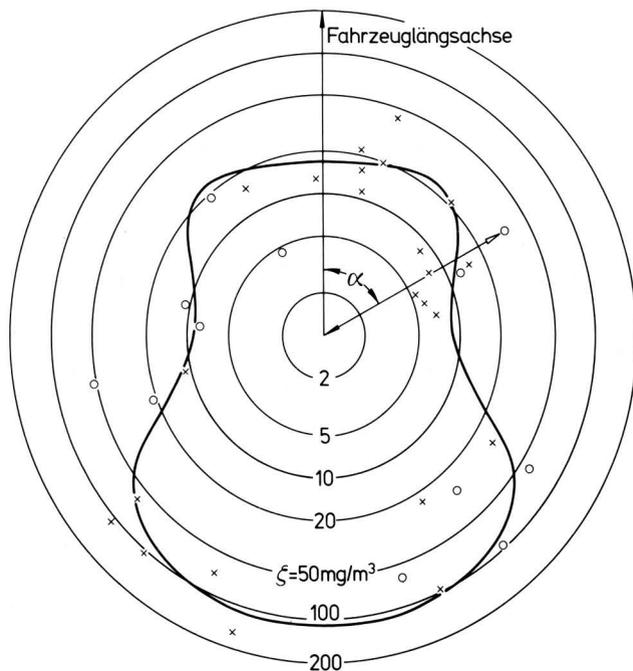
Wird eine solche Quelle durch Wind parallel zur betrachteten Ebene angeströmt, so verändern sich sowohl die Form des Staubfeldes und damit die Fläche  $F$  als auch die Teilchengeschwindigkeit  $w$  in dieser Fläche.

Betrachten wir zunächst den Fall einer konstanten Emission und Fläche, also einer konstanten Emissionsstromdichte, dann nimmt mit der Windgeschwindigkeit ( $v_w = w$ ) der Staubgehalt ab. Mit steigender Windgeschwindigkeit verkleinert sich aber die Fläche.

Hinsichtlich des Staubgehaltes bestehen somit gegenläufige Einflüsse. Aus der Veränderung der Fläche einerseits und der Teilchengeschwindigkeit andererseits ergibt sich der jeweilige Staubgehalt. Da beide Einflüsse entgegengesetzt gerichtet sind, ergibt sich in bestimmten Bereichen eine verhältnismäßig geringe Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.

#### 4.2.2 Ergebnisse über den Staubgehalt am Fahrerplatz bei unterschiedlichen Windbedingungen und Emissionsströmen

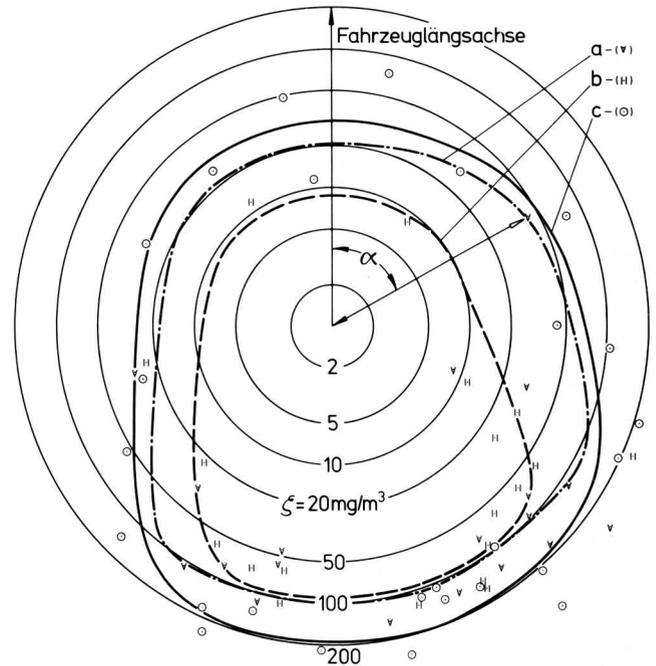
In Bild 17 ist dargestellt der Staubgehalt am Fahrerplatz des Mähdreschers in normaler Ausführung, ermittelt aus Fahrten mit konstanter Richtung. Die dieser Kurve zugrundeliegende Emission liegt im Bereich  $2 < E_M < 3,5 \text{ kg/h}$  und  $20 < E_S < 35 \text{ kg/h}$ . Die Ergebnisse bestätigen die in einer früheren Arbeit [2] mitgeteilten Ergebnisse, die auch unterschiedliche Bauarten einschließen, im Grundsatz. Die vorliegende Kurve beinhaltet Mittelwerte für verschiedene Standorte und Getreidearten.



**Bild 17.** Staubgehalt  $\zeta$  am Fahrerplatz in Abhängigkeit von der relativen Windrichtung (Windeinfallswinkel  $\alpha$ )

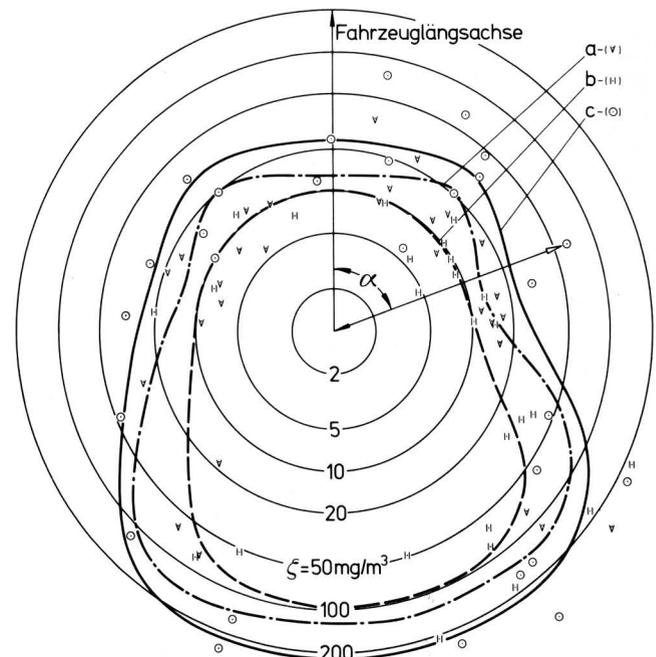
$2,0 < E_M < 3,5$        $20 < E_S < 35$   
 $o \quad v_{rw} < 2,5 \text{ m/s}$        $x \quad v_{rw} > 2,5 \text{ m/s}$

Die beim Mähdrescher am Strohaustritt vorhandene Quelle darf man als punktförmig und die am Mähtisch als fadenförmig betrachten. Wie überlagern sich nun diese beiden Quellen? Diese Frage läßt sich mit der Versuchseinrichtung entsprechend Bild 3 dadurch beantworten, daß man den Staubgehalt am Fahrerplatz, verursacht sowohl durch beide Quellen als auch durch die vordere (Mähtisch) oder die hintere (Stroh- und Spreuaustritt), über eine entsprechende Absaugung mißt.



**Bild 18.** Staubgehalt  $\zeta$  am Fahrerplatz verursacht durch die vordere a, die hintere b und beide Quellen c in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel  $\alpha$ .

$v_{rw} < 2,5 \text{ m/s}$ , Weizen  $E_M \sim 4,2 \text{ kg/h}$ ;  $E_S \sim 42 \text{ kg/h}$



**Bild 19.** Staubgehalt  $\zeta$  am Fahrerplatz verursacht durch die vordere a, die hintere b und beiden Quellen c in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel  $\alpha$ .

$v_{rw} > 2,5 \text{ m/s}$ , Weizen  $E_M \sim 4,2 \text{ kg/h}$ ;  $E_S \sim 42 \text{ kg/h}$

Die Ergebnisse sind in **Bild 18 und 19** dargestellt. Hieraus läßt sich ersehen, in welchem Maße die vordere und die hintere Quelle die Fahrerplatzbelastung verursachen. Es ergibt sich, daß die vordere Quelle bei allen relativen Windrichtungen an der Fahrerplatzbelastung beteiligt ist. Daß dies auch bei achterlichem Wind der Fall ist, mag zunächst überraschen, erklärt sich aber durch die bei der Umströmung von Körpern im Windschatten auftretenden Wirbel. Demgegenüber wirkt sich die hintere Quelle nur bei Rückenwind am Fahrerplatz aus. Daß sich nach Ausschalten der vorderen Quelle bei Gegenwind noch eine Belastung von etwa 6 bis 10 mg/m<sup>3</sup> ergibt, ist teilweise darauf zurückzuführen, daß sich diese Quelle durch Absaugen nicht vollständig beseitigen läßt.

Aus den Kurven folgt weiter, daß die Belastung bei Gegen- und Seitenwind mit wachsender Geschwindigkeit  $v_{rw}$  abnimmt. Bei achterlichem Wind dagegen steigt die Belastung im untersuchten Bereich sowohl durch die vordere als auch durch die hintere Quelle mit zunehmender relativer Windgeschwindigkeit. Dieses Ergebnis ist für die hintere Quelle verständlich.

Hinsichtlich der Belastung des Fahrerplatzes durch die vordere Quelle bei achterlichem Wind bedarf dieses Ergebnis noch einer Erläuterung: Bei achterlichem Wind bilden sich, wie erwähnt, bei der Umströmung des Mähdreschers im Windschatten, und an dieser Stelle befindet sich der Fahrerplatz, Wirbel aus. Diese werden hinsichtlich Staub auch von der vorderen Quelle gespeist. Die Wirkung dieser Wirbel steigt mit der Geschwindigkeit bzw. der Reynoldsschen Zahl.

Zur Überlagerung der beiden Quellen noch folgende Hinweise: Die Addition beider Quellen ergibt die Gesamtbelastung, wenn es sich um Mittelwerte handelt. Die gemessenen Werte aber liegen Momentanwerten oft näher als den Mittelwerten. Dies erklärt teilweise die verhältnismäßig große Streuung der Meßwerte. Die Streuung ist dadurch bedingt, daß der Vorgang der Staubaubreitung von sich vielschichtig überlagernden stochastischen Vorgängen bestimmt wird, nämlich regellosen Schwankungen der relativen Windrichtung, der der relativen Windgeschwindigkeit und der der Wirbel. Im Rahmen dieser stochastischen Vorgänge gibt es beispielsweise bei Rückenwind Zeitbereiche, in denen die Gesamtbelastung entweder nur von der vorderen oder auch nur von der hinteren Quelle verursacht wird. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wurden die Meßergebnisse interpoliert und als Kurve dargestellt. Dies ist bei der Interpretation zu berücksichtigen. Da die Anschaulichkeit hinsichtlich der Größenordnung der Einflüsse durch den logarithmischen Maßstab Einbußen erleidet, sind die Ergebnisse für einen ausgezeichneten Bereich, nämlich  $\alpha = 0^\circ \pm 30^\circ$  und  $\alpha = 180^\circ \pm 30^\circ$  in **Tafel 3** dargestellt.

rel. Windgeschwindigkeit $v_{rw}$ (m/s)	rel. Windrichtung $\alpha$ (°)	Belastung am Fahrerplatz $\zeta$ (mg/m <sup>3</sup> )		
		durch vordere Quelle	durch hintere Quelle	durch beide Quellen
< 2,5	0 ± 30	21	9	30
	180 ± 30	100	90	190
> 2,5	0 ± 30	15	10	25
	180 ± 30	110	100	210

**Tafel 3.** Anteil der Staubquellen an der Immission  $\zeta$  am Fahrerplatz nach Bild 18 und 19.

Hinsichtlich der stochastischen Schwankungen um die Mittelwerte von  $\alpha$  und  $v_{rw}$  ist noch zu bemerken, daß bei den durchgeführten Messungen keine Korrelation zur relativen Windgeschwindigkeit  $v_{rw}$  gefunden wurde. Des weiteren sind die Abweichungen von den Mittelwerten (häufigste Werte) meist nicht normal verteilt. Es lassen sich daher keine charakteristischen Kennwerte für die Schwankungen beim Windeinfallswinkel  $\alpha$  und der relativen Windgeschwindigkeit und damit für die dadurch verursachte Streuung der Meßwerte über den Staubgehalt am Fahrerplatz angeben.

Zur Staubzusammensetzung am Fahrerplatz ist zu erwähnen, daß sie etwa der der verursachenden Quellen, Bild 11, entspricht, weil die Entmischung während der Ausbreitung von der Quelle bis zum Arbeitsplatz nicht sehr groß ist. Bei Gegen- und Seitenwind stimmt die Teilchengrößenverteilung des Staubes am Fahrerplatz mit der im Staubstrom vom Mähtisch überein. Für  $\alpha = 180^\circ \pm 45^\circ$  liegt ein Mischkollektiv aus den Strömen von Strohaustritt und Mähtisch vor. Das Mischungsverhältnis schwankt dabei in dem insgesamt möglichen Bereich.

Wegen der großen Unterschiede in der Feinheit der Stäube in den Emissionsströmen erlaubt eine Teilchengrößenanalyse vom Staub am Fahrerplatz Aussagen über seine Herkunft.

### 4.3 Erfolge von Maßnahmen zur Staubbekämpfung

Mit den bisher dargelegten Ergebnissen sind schon einige der in Abschnitt 1 unter Punkt 5 bis 8 aufgeworfenen Fragen zur Staubbekämpfung beantwortet.

#### 4.3.1 Senken der Stärke der Staubquellen

Über betriebstechnische Maßnahmen, wie Wahl des Erntetermins und damit der Getreidefeuchtigkeit, lassen sich die Staubemissionsströme und damit der Staubgehalt am Arbeitsplatz senken. Da man aber anstrebt, möglichst unabhängig von solchen Einschränkungen zu sein, ist zu prüfen, welche technischen Maßnahmen zur Staubbekämpfung sich anbieten.

#### 4.3.2 Erfassen des Staubes an den Quellen mit Abscheiden, oder windabhängigem Ableiten

Die Erfolge dieser Maßnahme zeigen die Bilder 18 und 19 bei Absaugung jeweils einer Quelle. Welche Werte lassen sich bei der Absaugung beider Quellen erreichen?

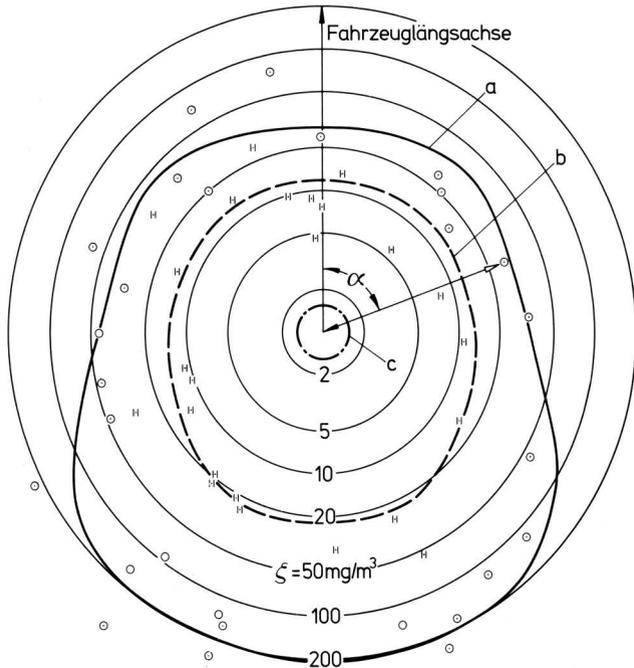
Bei Gegen- und Seitenwind ( $\alpha = 0^\circ \pm 125^\circ$ ) wird der Fahrerplatz nur durch die vordere Quelle belastet. Durch Absaugen läßt sich die Arbeitsplatzbelastung nach den Meßergebnissen auf 6 bis 10 mg/m<sup>3</sup> senken.

Die Belastung nach Absaugen beider Quellen bei Rückenwind (z.B.  $\alpha = 180^\circ \pm 30^\circ$ ) kann man aus den Meßwerten auch wegen der großen Streuungen nicht entnehmen. Es wurden daher Meßfahrten für diesen Bereich durchgeführt. Die notwendige Gebläseleistung ließ sich für jeweils etwa 15 Minuten über eine 30%ige Steigerung der Drehzahl, bezogen auf den Wert für den Dauerbetrieb des Wankel-Motors, erreichen. Der Staubgehalt am Fahrerplatz lag bei Rückenwind und Absaugung beider Quellen zwischen 10 und 20 mg/m<sup>3</sup>. Dies bedeutet eine Dauerbelastung bei Hin- und Rückfahrt von etwa 8 bis 15 mg/m<sup>3</sup>. Eine weitergehende Entstaubung ist kaum möglich, weil Zyklone nur eine Trennkorngröße von etwa 5  $\mu$ m erreichen und die Güte der Stauberfassung auch bei hohem Aufwand noch einige Prozente unter dem Wert von 100 liegt.

Zur Staubbekämpfung durch die angesprochene Maßnahme sind Erfassungselemente etwa nach Bild 1 und 2 notwendig. Die abzusaugende Luftmenge beträgt für jede Quelle bei dem benutzten Mähdrescher etwa 15 000 m<sup>3</sup>/h. Dies führt bei Parallelabsaugung beider Quellen und einer Entstaubung mit dem Zyklon zu einem Gebläse mit einem Luftstrom von 30 000 m<sup>3</sup>/h bei 20 mbar. Beim Mähdrescher bietet sich aber auch ein Hintereinanderschalten derart an, daß der Staubstrom vom Mähtisch in das Reinigungsgebläse geleitet wird. Das andere Gebläse dient zum Absaugen der Quelle am Stroh- und Spreuaustritt. Insgesamt gesehen verkleinert sich dadurch nicht nur der Abluftstrom auf 15 000 m<sup>3</sup>/h und damit die Baugröße des Zyklons (Axialzyklon), sondern auch noch der Druckabfall, weil kürzere Rohrleitungen möglich sind.

#### 4.3.3 Ableiten und/oder Verdünnen der Staubströme im Atembereich

Die Ergebnisse der Staubbekämpfung mit einer Fahrerhaube und Luftvorhang sind in **Bild 20** dargestellt. Es zeigt sich, daß der Staubgehalt im Atembereich durch diese Maßnahme wesentlich gesenkt wird. Es verbleibt noch eine Belastung von 10 bis 25 mg/m<sup>3</sup>. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Entnahmestelle noch im Staubfeld liegt, wenn auch am Rand. Die einfachste Abhilfe ist ein längeres Faltröhr. Auch an den Einbau eines Filters ist zu denken. Im Verhältnis zum Aufwand ist die Haube eine zu beachtende Maßnahme der Staubbekämpfung.



**Bild 20.** Fahrerplatzbelastung ohne Staubbekämpfung a, bei Fahrerhaube Bauart Röttenbacher b und Fahrerkabine c.

bei a:  $\odot v_{rw} < 2,5 \text{ m/s}$  Weizen:  $3,5 < E_M < 4,2 \text{ kg/h}$ ;  $35 < E_S < 42 \text{ kg/h}$   
 $\circ v_{rw} > 2,5 \text{ m/s}$

#### 4.3.4 Fahrerkabine

Die mit einer Fahrerkabine mögliche Staubbekämpfung zeigt **Tafel 4**. Mit Überdruck läßt sich ein Staubgehalt um 2 mg/m<sup>3</sup> sichern. Dies erfordert eine Kabine, die sich geschlossen halten

		Kabine geschlossen m. Kühleinrichtung und Belüftung	Kabine geschlossen nur Belüftung	Kabine geschlossen ohne Köhlen ohne Belüften
Staubgehalt $\zeta$	mg/m <sup>3</sup>	1 - 2	1 - 2	10
Grobstaub- anteil $A_G$	(%)	92	92	89
Feinstaub- anteil $A_F$	(%)	8	8	11
Temperatur T	°C	22	27	37 - 40
Lärm	dB(AI)	88,2	88,2	88,2

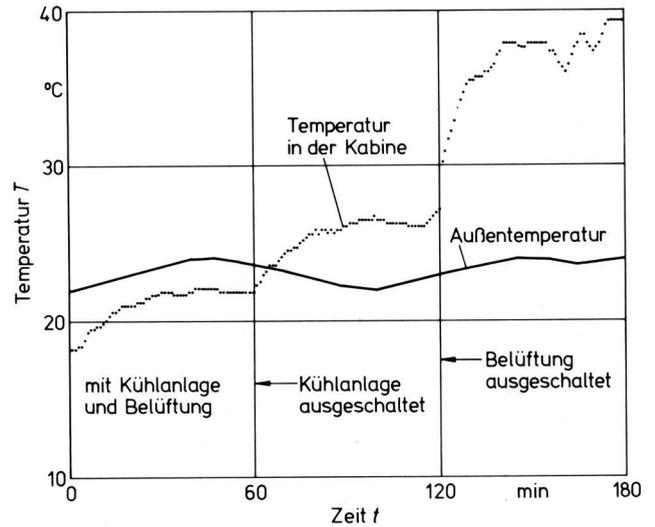
Bedingungen neben der Kabine  $\zeta = 70 - 100 \text{ mg/m}^3$   
 Temp. T = 22 - 24 °C

**Tafel 4.** Bedingungen am Fahrerplatz in einer Fahrerkabine unterschiedlicher Klimagegestaltung. Dauerbelastung, Mähdrusch Weizen.

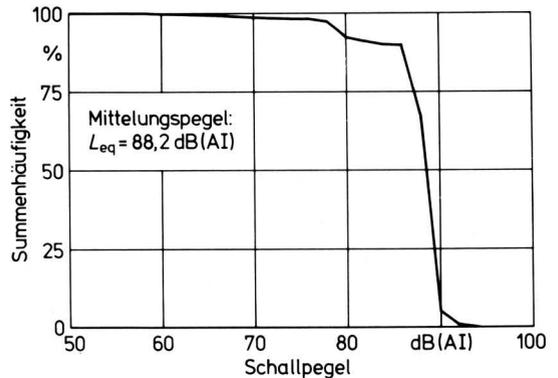
läßt, eine geeignete Abluftführung aufweist, hinreichend dicht und mit einer ausreichenden Belüftung, d.h. 300–600 m<sup>3</sup>/h auch bei belegtem Filter, ausgerüstet ist. Der Gesamtentstaubungsgrad des Filters sollte mindestens 97 % erreichen. Wie sich eine solche Kabine hinsichtlich anderer Belastungen verhält, zeigen die Tafel und die **Bilder 21 und 22**.

Danach liegt die Dauerbelastung für Staub bei 1–2 mg/m<sup>3</sup>, der mittlere Lärmpegel bei 88,2 dB(AI) und die Temperatur mit Kühlanlage bei 22 °C. Mit reiner Belüftung sind Temperaturwerte um 30 °C und höher möglich. Mit einer Kabine und Kühlanlage lassen sich somit die geforderten Grenzwerte unterschreiten. Ähnliche Ergebnisse hat *H.A. Eriksson* für Schlepperkabinen gefunden [5].

Über die Prüfung der Staubschutzwirkung von Fahrerkabinen in Abhängigkeit von der Entstaubungsgüte des Filters, der Staabscheidung an den Innenwänden, der Staabsammlung in der Kabinenluft, der Grundverschmutzung, des Überdruckes (Dichtheit und Art der Abluftführung) und der inneren und äußeren Luftströmungen wird getrennt berichtet.



**Bild 21.** Temperaturverlauf in einer geschlossenen Fahrerkabine mit Kühleinrichtung, nur Belüftung und ohne Belüftung.



**Bild 22.** Schallpegelverteilung in einer geschlossenen Fahrerkabine, Claas Dominator 85, Baujahr 1975, Winterweizen.

#### 4.3.5 Bewertung der technischen Maßnahmen zur Staubbekämpfung

Für diese Frage sind in **Tafel 5** die Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen für die besonders aussagekräftigen Fälle  $\alpha = 0^\circ \pm 30^\circ$  und  $\alpha = 180^\circ \pm 30^\circ$  zusammengestellt. Zugrunde liegen die Meßwerte der **Bilder 18 bis 20**.

Maßnahme		Staubgehalt $\zeta$ am Fahrerplatz (mg/m <sup>3</sup> )					
		ohne Staubbekämpfung	bei Absaugen der vorderen Quelle	bei Absaugen der hinteren Quelle	bei Absaugen beider Quellen	Fahrerhaube	Fahrerkabine
Windeinfallswinkel $\alpha$ (°)	0 ± 30	25 - 30	9	15 - 21	6 - 10	10	1 - 2
	180 ± 30	190 - 210	90 - 100	100 - 110	10 - 20	20 - 25	1 - 2
	0 u. 180 ± 30 d.h. Hin- u. Rückfahrt	115	50	65	12	16	1 - 2

Tafel 5. Staubimmission am Fahrerplatz für verschiedene Maßnahmen der Staubbekämpfung. Weizen,  $E_M \approx 4,2$  kg/h;  $E_S \approx 42$  kg/h

Grundsätzlich bietet die geschlossen gehaltene Fahrerkabine mit Kühleinrichtung und richtig ausgelegter Belüftung und Entstaubung den sichersten Staubschutz. Die angestrebten Grenzwerte für Staub werden weit unterschritten. Es bleibt abzuwarten, ob solche Kabinen aus Kostengründen nur für größere Mähdrescher auf dem Markt aussichtsreich sind.

Für kleinere Bauarten, wo ein vergleichbarer Kostenanteil nur einen geringeren Aufwand für die Staubbekämpfung zuläßt, empfiehlt sich die Fahrerhaube mit einem Luftvorhang. Da die Entwicklung dieser Einrichtung noch am Anfang steht, sind Verbesserungen zu erwarten. Folgende Erkenntnisse sind dabei zu berücksichtigen: Die Luftentnahme sollte so hoch wie möglich liegen, zu lösen durch entsprechend lange Faltröhre oder schwenkbare Frischluftkammine. Zu denken ist auch an Gebläse höherer Leistung mit vor- oder nachgeschaltetem Filtrationsentstauber für die Frischluft am Fahrerplatz. Auch die Ausbildung des Luftvorhanges im Atembereich insbesondere unter Berücksichtigung der Windverhältnisse läßt sich noch verbessern, u.U. über eine Trennung von Frischluft und Luft für den Vorhang, die nicht staubfrei sein muß.

Die eingesetzte Fahrerhaube stellt nur eine Ausführung für das Ableiten oder Verdünnen der Staubströme im Atembereich dar. Es sind auch andere Lösungen denkbar. Grundsätzlich sind dabei die für eine Fahrerhaube genannten Bedingungen zu erfüllen:

- Zufuhr einer bestimmten Menge staubfreier Luft (Faltröhre, Filter) in den Atembereich,
- Umlenken der Staubströme durch andere Strömungen oder Maßnahmen derart, daß die staubfreie Luft im Atembereich nicht beladen wird,
- Erhalt des Zustandes der Behaglichkeit.

In diesem Zusammenhang ist an ein Absaugen der Staubströme in Nähe des Fahrerplatzes, z.B. an der Plattform, zu denken. Dies könnte durch ein eigenes Gebläse oder auch durch die Entnahme der Kühlluft für den Motor bzw. der Zuluft für die Reinigung an dieser Stelle erfolgen. Ein Senken der Dauerbelastung unter die angestrebten Grenzwerte durch Ableiten oder Verdünnen im Atembereich erscheint möglich. Die Untersuchungen auf diesem Gebiet werden daher fortgeführt.

Die Stauberfassung und Abscheidung ist vom Ergebnis her eine brauchbare Alternative, jedoch ist der bauliche Aufwand so hoch, daß die Kosten einer Kabine mit Kühlanlage erreicht oder überschritten werden. Insbesondere aber schränken Stauberfassungselemente die Zugänglichkeit der Maschine und die Sichtverhältnisse ein. Ferner vergrößert sich das Bauvolumen. Dies sind gewichtige Argumente gegen diese Lösung. Teilabsaugungen bieten eine Verbesserung. Bei einigen Bauarten findet man solche Lösungen beispielsweise an den Einzugsorganen. Sie können nur als unterstützende Maßnahmen angesehen werden. Solche sind allgemein vorzuschlagen, wenn sie sich im Rahmen der konstruktiven Ausbildung ohne nennenswerten Aufwand anbieten.

## 5. Zusammenfassung

### 5.1 Staubemission

Die Emissionsströme beim Mähdrusch sind insbesondere von der Feuchtigkeit abhängig. Bei 4,5 m Schnittbreite und einer Kornfeuchtigkeit von 16 % liegt der Strom am Mähtrisch zwischen 1 und 4 kg/h. Am Strohaustritt ist mit Werten zwischen 15 und 30 kg/h zu rechnen. Die Einflüsse maschinenbedingter Parameter werden angegeben. Mit diesen Werten über die Emission und auch solche für die Teilchengrößenverteilung sind Unterlagen für die Staubbekämpfung und die Staubausbreitung vorhanden.

### 5.2 Staubausbreitung

Die Staubausbreitung und damit der Staubgehalt am Fahrerplatz ist abhängig von Ort und Stärke der Emission, dem Windeinfallswinkel, der relativen Windgeschwindigkeit und dem Böigkeitsgrad. Die Belastung ist am stärksten bei einem Windeinfallswinkel  $120^\circ < \alpha < 240^\circ$  und am schwächsten bei einer Queranströmung. Unerwartet ist, daß bei achterlichem Wind auch die vordere Quelle mitbestimmend ist für die Fahrerplatzbelastung.

### 5.3 Staubbekämpfung

Zur Staubbekämpfung beim Mähdrusch stehen brauchbare Alternativen zur Verfügung.

Die sicherste Maßnahme ist die staub- und klimatechnisch richtig ausgelegte Fahrerkabine. Sie empfiehlt sich besonders für große Mähdrescher.

Für kleine Mähdrescher, bei denen der Kostenanteil einer Kabine als zu hoch angesehen wird, kann eine Haube mit ausreichend langem Faltröhre oder ähnlich wirkenden Einrichtungen ggf. auch eine zusätzliche Absaugung empfohlen werden.

Das Erfassen an der Quelle mit Abscheiden oder anderer Behandlung ist aus mehreren Gründen für den Arbeitsschutz nicht oder nur als unterstützende Maßnahme zu empfehlen. Die Kosten sind verhältnismäßig hoch, die Zugänglichkeit der Maschine wird weiter eingeschränkt, das Bauvolumen vergrößert und die Sichtverhältnisse zum Schneidwerk verschlechtert. Für den Umweltschutz ist dieser Weg dagegen die alleinige Lösung, wenn man von der Emissionsenkung absieht.

Die für Mähdrescher gefundenen Ergebnisse gelten sinngemäß auch für andere Arbeitsmaschinen mit Eigenantrieb und Schlepper.

Abschließend sei der Fa. Claas für die Überlassung des Mähdreschers Dominator 85 besonders gedankt. Die hohe Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit der Maschine hat die Durchführung der Untersuchungen sehr erleichtert.

Von Landwirten der Umgebung von Braunschweig und dem Versuchsgut unserer Forschungsanstalt wurden uns ca. 80 ha Flächen für die Versuche nach unseren Bedingungen zur Verfügung gestellt. Auch hierfür danken wir bestens.

## Verwendete Formelzeichen

c	m/s	Fahrgeschwindigkeit
d	$\mu\text{m}$	Teilchengröße
n	U/min	Trommeldrehzahl
s	m	Schnittbreite
t	s	Zeit
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit
$v_{\text{rw}}$	m/s	Geschwindigkeit der Windströmung bezogen auf das Fahrzeug = relative Windgeschwindigkeit
$v_{\text{w}}$	m/s	Windgeschwindigkeit
w	m/s	Teilchengeschwindigkeit
$A_{\text{F}}$	%	prozentualer Anteil des Feinstaubes
$A_{\text{G}}$	%	prozentualer Anteil des Grobstaubes
D	%	Durchgang (Durchgangssumme)
E	kg/h	Staubemissionsstrom
$E_{\text{S}}$	kg/h	Emissionsstrom am Stroh- und Spreuaustritt
$E_{\text{M}}$	kg/h	Emissionsstrom am Mähtisch
F	$\text{m}^2$	Fläche
T	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur
$U_{\text{K}}$	%	Feuchtegehalt des Kornes
Q	$\text{m}^3/\text{h}$	abgesaugte Luftmenge
$\alpha$	$^{\circ}$	Windeinfallswinkel, gemessen im Uhrzeigersinn ( $0^{\circ}$ bis $360^{\circ}$ )
$\zeta$	$\text{mg}/\text{m}^3$	Staubgehalt, auf Normzustand des Gases ( $0^{\circ}\text{C}$ , 1,013 bar) bezogen

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] Batel, W.: Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung an Arbeitsplätzen in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung — Erster Bericht. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 135/57.
- [ 2 ] Batel, W.: Staubbekämpfung am Arbeitsplatz auf fahrenden Arbeitsmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 2, S. 50/55.
- [ 3 ] Batel, W.: Methoden und Geräte zur Bestimmung des Staubgehaltes. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 5, S. 178/87.
- [ 4 ] •Batel, W.: Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1971.
- [ 5 ] Eriksson, H.A.: Preliminär rapport över damm- och klimatmätningar under säsongen 1975. Bericht des Jordbrukstekniska Institutet Uppsala Schweden v. 17.3.1976.

# Flüssigmistfermentation mit Selbsterwärmung

Von Rudolf Thaeer und Klaus Grabbe,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

*Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinenforschung und dem Institut für Bodenbiologie  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode*

DK 614.76:631.862

Durch eine Belüftung können dem Flüssigmist seine umweltbelastenden Eigenschaften, insbesondere die Geruchsentwicklung, dadurch genommen werden, daß die Tätigkeit der in ihm enthaltenen aeroben Mikroflora gefördert wird. Bei dieser Behandlung wird Wärme frei. Sie läßt sich zur Intensivierung des Abbaus organischer Stoffe und zur Hygienisierung nutzen. Aufgrund von Versuchen mit Rinderflüssigmist werden einige für die Selbsterwärmung und den gewünschten Stoffumsatz wichtige Faktoren und Zusammenhänge dargelegt und eine gewisse Bewertung verschiedener Verfahrensvarianten vorgenommen. Für eine abschließende Beurteilung bedarf es noch einer weiteren Klärung der sehr vielfältigen Wechselbeziehungen.

\*) Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Thaeer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader), Dr. Klaus Grabbe am Institut für Bodenbiologie (Direktor: Prof. Dr. K.D. Domsch) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

## 1. Einleitung

Die Flüssigmistfermentation ist ein Verfahren, in dem die Tätigkeit aerober Mikroorganismen unter folgenden Gesichtspunkten genutzt werden kann:

1. Verhinderung von Geruchsemissionen beim Lagern und Ausbringen des Flüssigmistes durch den Abbau von Stinkstoffen,
2. Hygienisierung des Flüssigmistes,
3. Verminderung des Arbeitsaufwandes durch Verringerung des Volumens und/oder der Viskosität des Flüssigmistes und
4. Erhaltung, in Ausnahmefällen auch Verminderung seines Düngerwertes.

Erweiterte Fassung des Vortrages, gehalten auf der Internationalen Tagung Landtechnik des VDI am 23.10.1975 in Braunschweig.

Die Untersuchungen zu diesem Thema wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens "Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Agrar- und Ernährungswirtschaft durch eine neue Technologie der Milchgewinnung, Abstimmung des Futteraufwandes auf die Tierleistung und den Einsatz mikrobiellen Proteins aus Abfallprodukten in der Fütterung" vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unterstützt.