

- [50] *Stolte, E.*: Körperschalldämmung im Maschinenbau. Konstruktion Bd. 8 (1956) H. 2, S. 60/65.
- [51] *Schick, J.*: Die Entwicklung und Konstruktion von Gummifedern, z.B. im Kraftfahrzeug. ATZ Bd. 63 (1961) H. 10, S. 334/39.
- [52] *Ungar, E.E. u. C.W. Dietrich*: High-frequency vibration isolation. Journal of sound and vibration Bd. 4 (1966) Nr. 2, S. 224/41.
- [53] *Kurz, K.*: Über die akustischen Anforderungen an Gummielemente zur Körperschallisolierung. Dr. A. Stankiewicz GmbH, Akustisches Laboratorium, Meßbericht Nr. 1/71.
- [54] *Hakimi, A.H.*: Mounts to reduce tractor cab noise. Agric. Engng. Bd. 52 (1971) Nr. 7, S. 370/71.
- [55] *Oberst, H. u. K. Frankenfeld*: Über die Dämpfung der Biegeschwingungen dünner Bleche durch fest haftende Beläge. Acustica – Akustische Beihefte Bd. 2 (1952) H. 4, S. 181/94.
- [56] *Oberst, H., G.W. Becker u. K. Frankenfeld*: Über die Dämpfung der Biegeschwingungen dünner Bleche durch fest haftende Beläge II. Acustica Bd. 4 (1954) S. 433/44.
- [57] *Kurz, K.*: Verminderung der Schallabstrahlung von Blechkonstruktionen durch dämpfende Beläge. Ind.-Anz. Bd. 76 (1954) Nr. 101, S. 1556/57.
- [58] *Becker, G.W. u. H. Oberst*: Grenzen der Geräuschminderung durch Körperschalldämpfung im Kraftfahrzeug. Acustica Bd. 8 (1958) S. 11/18.
- [59] *Dietzel, R.*: Vergleichende Untersuchungen über den Verlustfaktor einfacher und eingezwängter Dämpfungsbeläge auf dünnen Blechen. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. Bd. 76 (1967) Nr. 6, S. 189/97.
- [60] *Oberst, H.*: Stand der Entwicklung der schwingungsgedämpften Verbundbleche. Mitt. Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung Bd. 18 (1967) Nr. 3/4, S. 17/20.
- [61] *Braunisch, H.*: Schwingungsgedämpfte dreischichtige Verbundsysteme. Acustica Bd. 22 (1969/70) S. 136/44.
- [62] *Kurz, K.*: Zusammenhang zwischen Motorschwingungen und Raumresonanzen von Fahrzeugkabinen. VDI-Berichte Nr. 69 S. 81/85, Düsseldorf: VDI-Verlag 1963.
- [63] *Kurz, K.*: Einige raumakustische Probleme in der Fahrzeugakustik. Glas. Ann. Bd. 90 (1966) Nr. 8, S. 292/96.
- [64] *Graham, N.A. u. V. Marples*: A method of rating some acoustic characteristics of agricultural tractor cabs. J. agric. Engng. Res. Bd. 16 (1971) S. 394/98.

Staubbekämpfung am Arbeitsplatz auf fahrenden Arbeitsmaschinen.

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 631.372:62-784:331.827:628.511

Die Staubbelastung am Arbeitsplatz auf fahrenden Arbeitsmaschinen liegt oft über den in der MAK-Werte-Liste aufgeführten Richtwerten. Eine sichere Einhaltung der angestrebten Grenzwerte z.B. von 8 mg/m^3 bei inertem Staub ist durch eine dauernd geschlossene, hinreichend dichte und mit einem entsprechenden Filtrationsentstauber ausgerüstete Fahrerkabine möglich. Eine solche Kabine erfordert entsprechende klimatische Einrichtungen. — Für Arbeitsmaschinen ohne Kabine bietet sich zum Senken der Staubbelastung das Ableiten der Staubströme über sehr unterschiedliche technische Lösungen an.

1. Übersicht zur Staubbelastung und ihre Auswirkungen

Die Staubimmission auf fahrenden Arbeitsmaschinen für die Pflanzenproduktion ist vom Grundsatz her bekannt. Messungen zu diesem Problem zeigen [1], daß die Staubbelastung am Fahrerplatz bei der Bodenbearbeitung beispielsweise bis zu 500 mg/m^3 und beim Mähdrusch bis zu 300 mg/m^3 betragen kann. Die für inerte Stäube anzustrebende maximale Arbeitsplatzkonzentration von 8 mg/m^3 wird meist überschritten. Eine Staubbelastung oberhalb

dieses Wertes führt zwar bei inerten Stäuben zu keiner gesundheitlichen Schädigung, es wird aber die Arbeitsleistung und Arbeitsgüte herabgesetzt. Aber auch andere Stäube treten auf. Von Pflanzen abgelöste Teile und Mikroorganismen (Größe zwischen $0,5$ und $4 \mu\text{m}$) können Allergien unterschiedlichen Grades verursachen (allergene Stäube). Fibrogene Stäube können direkt zu Lungenfibrosen führen [2, 3]. Als gefährliche Arbeitsstoffe sind u.a. Staub von Thomasphosphat und Kalkstickstoff und einige Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel zu nennen [4]. Schon diese wenigen Hinweise zeigen die Notwendigkeit der Staubbekämpfung auf fahrenden Arbeitsmaschinen. Produktionsbereiche, für die solche Maßnahmen besonders in Frage kommen, sind die Bodenbearbeitung, der Mähdrusch, die Halmfütterernte, die Kartoffelernte und die Verteilung von bestimmten Mineraldüngern, Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln.

2. Aufgabenstellung

Das Ziel dieses Berichtes ist es, die grundsätzlichen technischen Möglichkeiten der Staubbekämpfung am Arbeitsplatz auf fahrenden Arbeitsmaschinen für die Pflanzenproduktion darzustellen [1] und zu bewerten. Der Zweck von technischen Maßnahmen besteht darin, die für Arbeitsplätze bestehenden MAK-Werte zu unterschreiten und dies unter Berücksichtigung der lungengängigen Anteile.

Überlegungen zur Staubbekämpfung setzen insbesondere eine Kenntnis der Staubquellen (Ort des Austrittes und Menge des Staubes), der örtlichen Staubverteilung und der Staubzusammensetzung voraus.

*) Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Batel ist Direktor des Institutes für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig, Bundesallee 50.

3. Art der Staubquellen, örtliche Verteilung des Staubes und Staubzusammensetzung

Bei den fahrenden Arbeitsmaschinen läßt sich unterscheiden zwischen Arbeitsmaschinen mit Eigenantrieb (Selbstfahrer) und Schleppern mit angekoppelten Geräten.

Beim Mähdröschler, ein repräsentatives Beispiel für Erntemaschinen mit Eigenantrieb, liegen die Staubquellen im Bereich des Strohaustrittes und des Mähtrisches und hier besonders an der Eintrittsöffnung zum Schrägelevator. Stellt man die für Mähdröschler in Abhängigkeit von der Windrichtung und weiteren Bedingungen gemessenen Staubbelastungen am Fahrerplatz [1] in Polarkoordinaten dar, so ergibt sich das Bild 1. Der Abstand vom Pol gibt den Staubgehalt ζ und der Winkel α den Windeinfallswinkel, bezogen auf die Fahrzeuglängsachse in Fahrtrichtung, an. Die gezeichnete Kurve ist eine Linie mittlerer Staubbelastung bei unterschiedlicher Windrichtung. Mit der dargestellten Kurve wird versucht, im praktischen Betrieb gemessene Werte [1] zusammenzufassen. Es zeigt sich u.a., daß die Staubbelastung bei einer Luftströmung aus $230^\circ < \alpha < 130^\circ$, also bei achterlichem Relativwind am stärksten und bei Querströmungen am schwächsten ist.

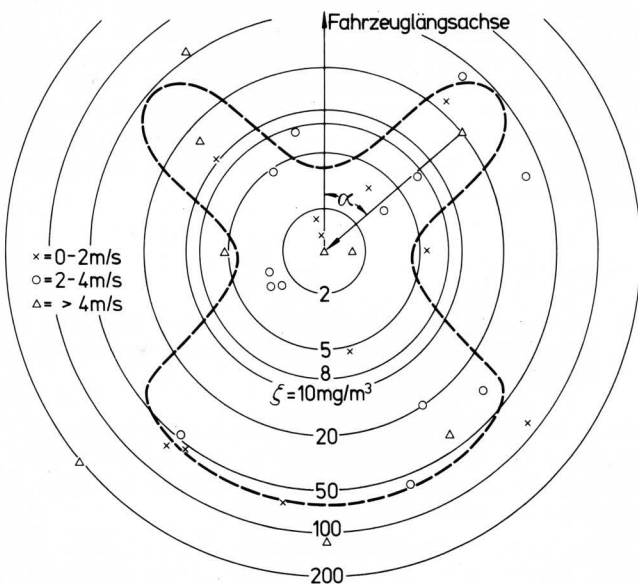


Bild 1. Kurve mittlerer Staubbelastung am Fahrerplatz auf Mähdröschlern in Abhängigkeit von der relativen Windrichtung (Ernte 1975, Meßwerte bei [1]).

ζ Staubgehalt in mg/m^3
 α Windeinfallswinkel, bezogen auf Fahrzeug

Die mit dem Bild angegebene Belastung ergibt sich aus Lage, Ausdehnung und Intensität der Staubquellen und der Staubausbreitung. Diese Staubausbreitung wird im wesentlichen durch Luftströmungen bewirkt, die molekulare Diffusion ist zu vernachlässigen. Sie läßt sich mit Hilfe der Strömungslehre recht gut beschreiben, wie der häufig behandelte Fall der Ausbreitung von Staub beispielsweise nach dem Schornsteinaustritt zeigt [5 bis 7]. Einen qualitativen Hinweis für die Ausbreitung des Staubes beim Mähdrusch gibt Bild 2. Innerhalb der Staubströme (Staubfeld), die durch Grenzlinien für zwei Geschwindigkeiten gekennzeichnet sind, ändert sich der Staubgehalt ζ wie folgt:

Der Gehalt nimmt im Mittel sowohl in Strömungsrichtung des Windes als auch senkrecht dazu in Richtung auf die Grenzlinien des Staubfeldes ab, soweit die Linien im gasförmigen Medium verlaufen. Neben diesen im Bild dargestellten Grenzlinien sind auch die Oberfläche vom Boden und Mähdröschler Feldgrenzen. Bei Grenzen aus fester Materie kann der Staubgehalt mit abnehmendem Abstand auch ansteigen. Die Größe und räumliche Verteilung des Staubgehaltes hängt von sehr vielen Einflußgrößen ab, wie der Stärke der Staubquellen (Feuchtigkeit und Art des zu erntenden

Gutes, Größe und Bauart des Mähdröschers) und den Luftströmungen (relative Windrichtung und -stärke, Turbulenzgrad und Gestalt des Mähdröschers).

Das Ergebnis nach Bild 1, also die Staubbelastung am Fahrerplatz in Abhängigkeit von der relativen Windrichtung ergibt sich aus der Überlagerung der für einen bestimmten Fall in Bild 2 dargestellten Staubströme. Aus der größten Belastung bei achterlichem Wind folgt, daß die hinten liegende Quelle die stärkere oder für diesen Fall die bestimmende ist.

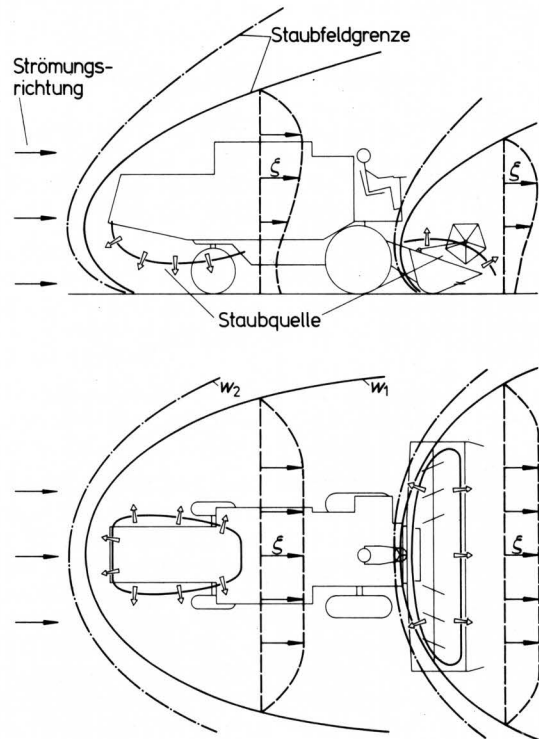


Bild 2. Staubausbreitung beim Mähdrusch. Qualitative Darstellung der um die Staubquellen Strohauswurf und Schneidtrisch sich ausbildenden Staubfelder bei achterlichem Wind unterschiedlicher Stärke.

Bei Schleppern mit angekoppelten Geräten sind Staubquellen die Schlepperreifen, die Teilchen vom Boden aufwirbeln, und die Arbeitsgeräte, wie solche zur Bodenbearbeitung oder zur Ernte von Pflanzenprodukten. Die eine Staubquelle, gebildet von den 4 Reifen, liegt um den Fahrerplatz, die andere, meist stärkere, dahinter. Hierdurch ergeben sich andere Kurven mittlerer Staubbelastung als beim Mähdröschler, Bild 3. Die gestrichelt und strichpunktirt gezeichnete Kurve beschreibt beispielsweise die Verhältnisse mit hinten angekoppelten Geräten. Entfallen diese oder sind sie an der Staubentstehung nur geringfügig beteiligt, gilt die punktiert und strichpunktirt gezeichnete Kurve. Dann ist ausnahmsweise die Belastung bei achterlichem Wind am geringsten. Die dargestellte Kurve ist wie bei Bild 1 über verschiedene Parameter gemittelt. Die Anzahl dieser Parameter ist wegen der Vielfalt von Schlepper-Gerät-Kombinationen, der Bodeneinflüsse und der relativen Windbedingungen jedoch größer als beim Mähdröschler. Die in Bild 3 angegebene Kurve ist daher noch mehr qualitativ zu werten.

In Verbindung mit den Aussagen nach Bild 2 ergibt sich u.a., daß man die Staubbelastung über eine steigende Fahrgeschwindigkeit senken kann, wenn dadurch von den Reifen nicht entsprechend mehr Teilchen aufgewirbelt werden.

Hinsichtlich der Staubzusammensetzung beim Mähdrusch und entsprechenden Ernteverfahren kann man davon ausgehen [1], daß etwa $4 \div 8$ Massen-% der Teilchen kleiner sind als $5 \mu\text{m}$ und

30 ÷ 50 % größer als 40 μm . Die Dichte liegt, je nach Feuchtigkeit, zwischen 1 und 1,5 g/cm^3 . Dieser Wert ergibt sich aus dem mit etwa 90 % hohen Anteil an organischer Substanz.

Bei der Bodenbearbeitung und der Kartoffelernte sind etwa 4 ÷ 10 Massen-% kleiner als 5 μm . Die Dichte liegt um 2,5 g/cm^3 , weil der Gehalt an Mineralstoffen, z.B. Quarz, etwa 60 ÷ 70 % erreicht.

Diese Zahlen [1] sind nur als Richtwerte anzusehen, weil sie von zahlreichen Einflüssen abhängen, wie von der Windstärke und dem Abstand von der Staubquelle.

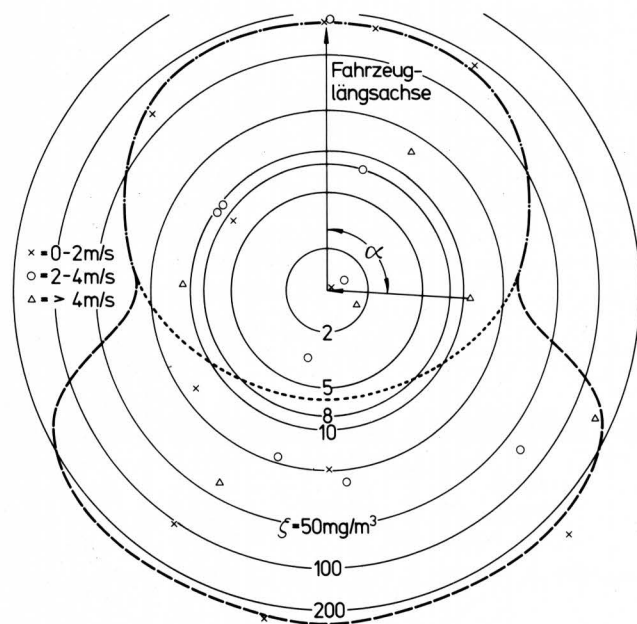


Bild 3. Kurven mittlerer Staubbelastung am Fahrerplatz auf Schleppern.

----- Schlepper und Gerät
 ----- Schlepper ohne Gerät

4. Technische Maßnahmen zur Staubbekämpfung

Zur Staubbekämpfung bieten sich folgende Wege an:

- 4.1 Aufheben des Arbeitsplatzes durch Automatisieren
- 4.2 Staubschutz am Beschäftigten durch Atemschutzgeräte
- 4.3 Senken der Stärke der Staubquelle
- 4.4 Verlegen des Fahrerplatzes an Orte geringerer Staubbelastung und Senken der Belastung über die Formgebung der Maschinen
- 4.5 Erfassen und Ableiten (auch Abscheiden) des Staubes
- 4.6 Ableiten der Staubströme im Atembereich
- 4.7 Kapseln des Arbeitsplatzes (Fahrerkabine)

Diese Maßnahmen können auch in Kombination erfolgen.

4.1 Aufheben von Arbeitsplätzen durch Automatisieren

Die Möglichkeiten der Automatisierung bei der Fahrzeugführung sind schon mehrfach behandelt worden [8]. Man kann davon ausgehen, daß sich die Fahrer der Maschinen in naher Zukunft noch nicht voll durch Automaten ersetzen lassen, so daß dieser Arbeitsplatz für absehbare Zeit noch als existent anzusehen ist.

4.2 Staubschutz am Beschäftigten durch Atemschutzgeräte

Der mit Sicherheit preisgünstigste Staubschutz ist das Anlegen eines Atemschutzfilters [9]. Dieser Weg wird aber aus unterschiedlichen Gründen meist abgelehnt. So wird das Atemschutzgerät wegen des Atemwiderstandes und der Veränderung von Klimafaktoren oft als eine nicht minder große Belastung als der Staub empfunden und dies insbesondere bei sommerlichen Temperaturen. Andererseits gibt es Fälle, bei denen derzeit nur diese Geräte einen hinreichenden Schutz bieten. Dies betrifft beispielsweise die Handhabung einiger gesundheitsschädlicher und giftiger Schwebstoffe zum Pflanzenschutz und zur Schädlingsbekämpfung [10].

4.3 Senken der Stärke der Staubquelle

Ein Senken der Stärke der Staubquelle ist vor allem über betriebstechnische Maßnahmen möglich, weil die Staubentstehung beispielsweise bei der Bodenbearbeitung in hohem Maße von der Bodenfeuchtigkeit abhängt. Man wird die jeweiligen Arbeiten soweit wie möglich unter günstigen Bedingungen durchführen. Aus terminlichen Gründen sind diesem Bestreben aber mehr oder weniger enge Grenzen gesetzt. Ähnliches gilt auch für die Ernte.

Bei der Mineraldüngung besteht oft die Möglichkeit, die Teilchengrößen eines körnigen Düngers und die Festigkeit der Teilchen so zu wählen, daß eine geringere Staubbelastung auftritt. Die Möglichkeiten, die Staubquellen durch konstruktive Maßnahmen an den Maschinen in ihrer Stärke ausreichend zu reduzieren, sind allgemein als gering anzusehen.

4.4 Verlegen des Fahrerplatzes an Orte geringerer Staubbelastung und Senken der Belastung über die Formgebung der Maschinen

Wie mit den Bildern 1 und 2 gezeigt, befindet sich beispielsweise der Mähdrescher in einem Staubfeld, in dem sich der Staubgehalt örtlich ändert. Hieraus leiten sich folgende Möglichkeiten zum Senken der Staubbelastung am Fahrerplatz ab:

- 4.4.1 Die Staubquellen (Staubaustritt) sind so tief und der Fahrerplatz ist so hoch wie möglich (oder umgekehrt) zu legen (höhenmäßige Zuordnung von Quelle und Arbeitsplatz).
- 4.4.2 Nach Bild 1 und 2 sollte der Fahrerplatz möglichst vorn angeordnet werden.
- 4.4.3 Die Form der Maschine ist so zu wählen, daß die staubbeladene Luft nicht zum Fahrerplatz geleitet wird.

Der aus staubtechnischen Gründen anzustrebenden Verlegung des Fahrerplatzes (4.4.1 und 4.4.2) nach oben und vorne sind meist enge Grenzen gesetzt, wegen der damit verbundenen Zunahme der Schwingungsbelastung und wegen der zu fordernden Sichtverhältnisse.

Der Staubaustritt läßt sich im Prinzip in sehr vielfältiger Weise gestalten, wegen der jeweiligen Konzeption aber nur in einigen Fällen verlegen (s.a. Abschnitt 4.5). Beim Mähdrescher wären beispielsweise am Strohaustritt bis zum Boden reichende Schürzen denkbar und beim Schlepper eine weitgehend Kapselung der Räder. Aber auch diesen Vorschlägen stehen gewichtige Gründe entgegen.

Über die Möglichkeiten einer besseren Luftführung durch entsprechende Formgebung der Maschinen können Modellversuche im Windkanal gute Hinweise geben.

Die Aussichten einer ausreichenden Senkung der Staubbelastung auf diesem Wege mit vertretbaren Mitteln sind insbesondere wegen der Turbulenz als gering zu bezeichnen.

Die in diesem Abschnitt genannten Wege sind mehr als unterstützende Maßnahmen anzusehen.

4.5 Erfassen und Ableiten (auch Abscheiden) des Staubes

Unter dieser Maßnahme, eine Erweiterung der in Abschnitt 4.4 behandelten Möglichkeiten, wird die Erfassung der von den Quellen ausgehenden Staubströme, d.h. die Überführung in ein geschlossenes System, verstanden. Die anschließende Behandlung der erfaßten Ströme kann in einer gezielten Ableitung oder in einer Staubabscheidung bestehen, **Bild 4**.

Das Erfassen des Staubes erfolgt durch sog. Erfassungselemente oder Absaughauben. Diese Elemente sollen nach Möglichkeit die gesamte Staubquelle überdecken und die Luftgeschwindigkeit ist so zu wählen, daß die staubbeladene Luft abgesaugt wird und dies auch bei Einwirken des Windes. Hieraus ergeben sich meist sehr große Luftmengen und damit ein großer Raum- und Energiebedarf. Diese lassen sich bis zu einer für fahrende Arbeitsmaschinen notwendigen Grenze meist nur über ein Einengen der Staubquelle senken. Die Möglichkeit der räumlichen Einengung bestimmt daher in hohem Maße die Anwendbarkeit dieser Methode. Schlepper mit angekoppelten Bodenbearbeitungsgeräten z.B. scheiden aus diesem Grund aus. Eine gewisse Möglichkeit bieten manche Erntemaschinen. Dies sei am Beispiel des Mähdreschers diskutiert.

Das notwendige Einengen der Quellen ist möglich, z.B. durch Schürzen rundum am Strohaustritt, die bis zum Boden reichen *). Der untere Bereich läßt sich aus flexiblem Material ausführen, um eine gute Abdichtung zum Boden zu erhalten, weil davon u.a. die abzusaugende Menge abhängt. Im Bereich des Schneidtisches sind die Möglichkeiten zur Einengung begrenzt. Es empfiehlt sich ein Absaugschlitz an der Oberkante des Schneidtisches.

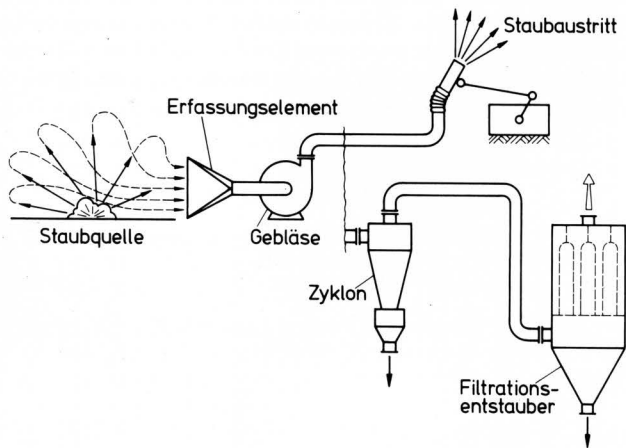


Bild 4. Schema einer Stauberfassung mit gesteuertem Austritt oder Staubabscheidung.

Eine überschlägige Berechnung (Schrifttum bei [1]) führt bei einem Mähdrescher mit einer Schnittbreite von etwa 4 m und relativen Windgeschwindigkeiten bis 4 m/s zu einer Förderleistung des Gebläses von etwa $20 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$. Das beinhaltet einen Leistungsbedarf bis 15 kW. Bei Windgeschwindigkeiten von über 4 m/s wird die Erfassung des Staubes zunehmend verschlechtert.

Der so erfaßte Staub ist vom Mähdrescher so abzuleiten, daß der Fahrerplatz davon nicht belastet wird. Dies kann nur unter Berücksichtigung der relativen Windverhältnisse erfolgen. Zu denken ist u.a. an eine windabhängig gesteuerte Ableitung beispielsweise derart, daß durch Verstellen der Staubaustrittsöffnung der Fahrerplatz stets auf der dem Wind zugewandten Seite (Luvseite) liegt.

*) Die Frage, ob auch in der Maschine z.B. über dem Schüttler abgesaugt werden kann, ist wegen der damit verbundenen Beeinflussung der Trenn- und Transportvorgänge ein weiterer Teil eines Versuchsprogramms.

Die Probleme der Ableitung entfallen, wenn man den Staub abscheidet. Zu denken ist hier u.a. an eine Abscheidung durch Zyklone. Da die Trennkorngrößen dieser Entstauber aber bei etwa $5 \div 7 \mu\text{m}$ liegen, lassen sich die lungengängigen Anteile des Staubes nicht hinreichend abscheiden. Eine Nachschaltung von Filtrationsentstaubern verbietet sich aus Kosten-, Platz- und Energiegründen. Andere Entstauber sind für den mobilen Einsatz nicht geeignet. Die Staubabscheidung als alleinige Maßnahme scheidet daher als Staubschutz aus. Aber auch als unterstützende Maßnahme hat sie wenig Aussicht.

4.6 Ableiten der Staubströme vom Atembereich

Die im Abschnitt 4.5 diskutierte Lösung des Erfassens und Ableitens ist deshalb als aufwendig zu bezeichnen, weil räumlich gesehen nur die Forderung besteht, den Atembereich am Arbeitsplatz von staubbelasteter Luft freizuhalten.

Der einfachste Weg besteht darin, den fast immer vorhandenen Wind (auch Fahrtwind) derart auszunutzen, daß die Fahrtrichtung in günstige Bereiche, gemäß Bild 1, gelegt wird. Diesem Bestreben sind aber wegen der Lage der Flächen und der Art des Bestandes oft Grenzen gesetzt.

In Fortführung dieses Gedankens sind, wie auch aus dem Patentschrifttum bekannt, viele Überlegungen angestellt worden, die gestellte Aufgabe durch künstliche Luftströmungen zu lösen [11, 12].

Ein Vorschlag beinhaltet, den Atembereich durch eine Frischluftführung (Luftvorhang) gemäß Bild 5 staubfrei zu halten. Die Grenzen dieser Maßnahme liegen in folgendem: Die Luftgeschwindigkeit am Kopf des Fahrers darf bestimmte Werte nicht überschreiten, so daß der Frischluftstrom bei hohen Windstärken nicht immer ausreicht, um den Atembereich freizuhalten. Zudem ist es notwendig, einen Ort zu haben, an dem möglichst staubfreie Luft zur Verfügung steht. Das Faltrrohr ermöglicht, bei geringer Transporthöhe die Luftentnahme im Betrieb höher zu legen, so daß der Lufteintritt außerhalb oder am Rand des Staubfeldes liegt. Diese Einrichtung bringt, unter Berücksichtigung dieser Faktoren, eine Verbesserung hinsichtlich der Staubbelastung.

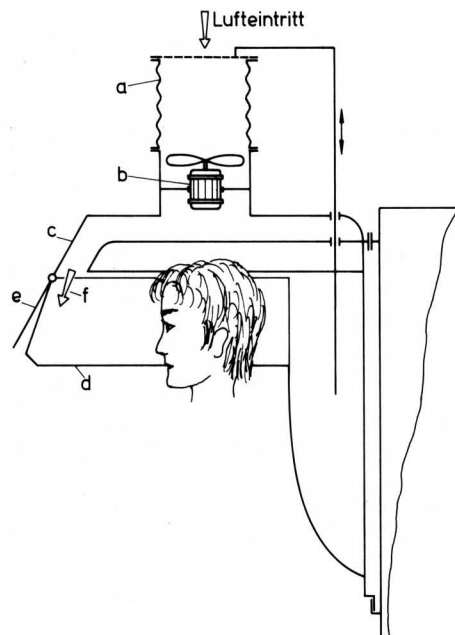


Bild 5. Schema einer Haube zur Erzeugung eines Luftschleiers, Bauart Fa. Röttenbacher, Nennslingen.

- | | | | |
|---|------------------------|---|---------------------------------|
| a | ausziehbares Faltrrohr | d | seitliche Plexiglasscheibe |
| b | Gebläse | e | vordere Plexiglasscheibe |
| c | Haube | f | Luftschleier, vorn und seitlich |

4.7 Kapseln des Arbeitsplatzes

Die umfassendste und sicherste Möglichkeit des Staubschutzes bietet die Fahrerkabine, die primär meist aus Gründen des Klimaschutzes gewählt wird. Diese Kabine gibt die Möglichkeit eines hinreichenden Staubschutzes unter der Bedingung, daß sie ausreichend dicht ist, in ihr auch bei kleinen Frischluftmengen ein geringer Überdruck herrscht und die Kabine zur Einhaltung eines behaglichen Klimas nicht geöffnet werden muß, also mit einer Kühlanlage ausgerüstet ist.

Prüft man die gegenwärtigen Kabinen unter diesen Aspekten, so ist festzustellen, daß die genannten Forderungen oft nicht hinreichend erfüllt sind.

Ein entscheidendes Bauelement der staubtechnisch richtig ausgelegten Kabine ist der Filtrationsentstauber für die Reinigung der Zuluft. Geht man davon aus, daß beispielsweise ein Staubgehalt von $\xi_{\text{roh}} = 250 \text{ mg/m}^3$ in der zugeführten Luft vorliegt und diese auf $\xi_{\text{rein}} = 8 \text{ mg/m}^3$ entstaubt werden soll, so ist ein Gesamtentstaubungsgrad von mindestens $\eta_G = (250 - 8)/250 = 96,8 \%$ erforderlich. Man erkennt hieran, daß an den Abscheidegrad der Filtermedien vergleichsweise hohe Anforderungen gestellt werden. Wird mit der Abluft weniger Staub ausgetragen als mit der Zuluft zugeführt, dann ist ein noch höherer Entstaubungsgrad notwendig, oder man muß auch an die Entstaubung der Umluft denken.

Stufenentstaubungsgrade η_{St} [13] einiger handelsüblicher, in Kabinen eingebauter Filter zeigt **Tafel 1**. Untersucht wurden ein ebenes Faservlies mit einer Dicke $s_A = 15 \text{ mm}$ (A) und zick-zack gefaltete Faserschichten auf Papierbasis mit unterschiedlichen Porenweiten (B_1 und B_2 mit $s_{B1} = 0,5 \text{ mm}$ und $s_{B2} = 0,6 \text{ mm}$). Die Versuchsanordnung, bestehend aus Dosiereinrichtung, Desagglomerator, zu untersuchendem Filtermedium, Reingasfilter, Druckmesser, Gasmenzometer, ist im Prinzip bei [14] beschrieben.

Art des Filters	Anströmgeschwindigkeit v_A m/s	Druckabfall Δp_0 N/m ²	Stufenentstaubungsgrad η_{St} in % bei Teilchengröße $d =$		
			$2 \div 5 \mu\text{m}$	$3 \div 7 \mu\text{m}$	$5 \div 10 \mu\text{m}$
A ebenes Faservlies, 15 mm stark	0,5	5	91	93	96,5
	1,0	20	89	95	95
	2,0	50	91	95	86
B_1 Filter a. Papierbasis, zick-zack gefaltet 0,5 mm stark	0,5	12	79	91	96,5
	1,0	23	80,5	91,5	96,5
	2,0	80	85	92,5	97
B_2 Filter a. Papierbasis, zick-zack gefaltet 0,6 mm stark	0,5	16	93,5	96,7	98,2
	1,0	32	95,5	96,4	98,4
	2,0	65	94,8	97	98,2

Tafel 1. Stufenentstaubungsgrade und Druckabfall verschiedener Filtermedien (A, B_1 , B_2) bei unterschiedlicher Anströmgeschwindigkeit v_A .

Staubart: Quarz, Staubgehalt in der Zuluft: $\xi_{\text{roh}} = 75 \div 100 \text{ mg/m}^3$, Δp_0 ist der Druckabfall bei reinem Filtermedium

Nach den Meßergebnissen erreicht das Filtermedium B_2 mit den kleineren Porenweiten und dem etwas höheren Druckabfall bei noch reinem Medium Δp_0 die besten und als ausreichend anzusehenden Entstaubungsgrade. Da die nur wenig höhere Druckdifferenz ohne Probleme zu verwirklichen ist, wie ausgeführte Anlagen zeigen, sollte man nur solche Medien verwenden, s. auch Bild 6.

Die Abhängigkeit der Entstaubungsgrade von der Teilchengröße d und der Anströmgeschwindigkeit v_A erklärt sich aus der Filtrationstheorie [13 bis 15]. Hiernach hängt die Entstaubungsgüte von der Güte der Teilchenverschiebung (Anteil η_V) und des Anhaftens der Teilchen (Anteil η_A) ab ($\eta_{\text{St}} = \eta_V \cdot \eta_A$). Die Teilchenverschiebung zur Oberfläche des porösen Systems erfolgt bei kleinen Teilchen vornehmlich durch Diffusion, bei größeren durch Trägheitskräfte. Für das Anhaften sind Coulombsche, kapillare und elektrische Kräfte einerseits und Strömungskräfte andererseits bestimmend.

Grundsätzlich steigen die Entstaubungsgrade mit der Teilchengröße. Bei Änderung der Anströmgeschwindigkeit wirken sich gegenläufige Effekte aus. Der Staubanteil, der durch Teilchenverschiebung zur Oberfläche des porösen Systems gelangt, steigt bei kleinen Teilchen mit abnehmender und bei größeren Teilchen mit zunehmender Geschwindigkeit. Steigende Geschwindigkeit verringert andererseits den Anteil anhaftender Teilchen. Die Ergebnisse in **Tafel 1** folgen der Theorie. Gewisse Abweichungen erklären sich dadurch, daß der Aufbau des porösen Systems nicht so einheitlich ist, daß dieser Einfluß zu vernachlässigen ist. Ferner ist die unterschiedliche Dicke s der Medien zu berücksichtigen.

Die Werte nach **Tafel 1** gelten für die Anfangsphase der Filtration. Für alle Versuche wurde eine gleiche spezifische Staubbelastung des Filtermediums (Staubmenge/angeströmte Filterfläche) gewählt. Das bedeutet Versuchszeiten zwischen 15 und 60 Minuten.

Den zeitlichen Verlauf der Entstaubungsgüte und des Druckabfalles für als repräsentativ anzusehende Bedingungen zeigt **Bild 6**. Durch den abgeschiedenen Staub sinkt die Porenweite des Filtermediums. Als Folge steigt die Entstaubungsgüte und der Druckabfall. Der Filterstoff mit Abscheidung im Medium (Filtermedium A) zeigt keinen so günstigen Verlauf wie der mit vorherrschender Abscheidung an der Oberfläche (Filtermedium B_2). Der Grund liegt darin, daß im Filtermedium abgeschiedene Teilchen bei höherem Druckabfall durch Strömungskräfte abgelöst werden und in den Reinluftstrom eintreten.

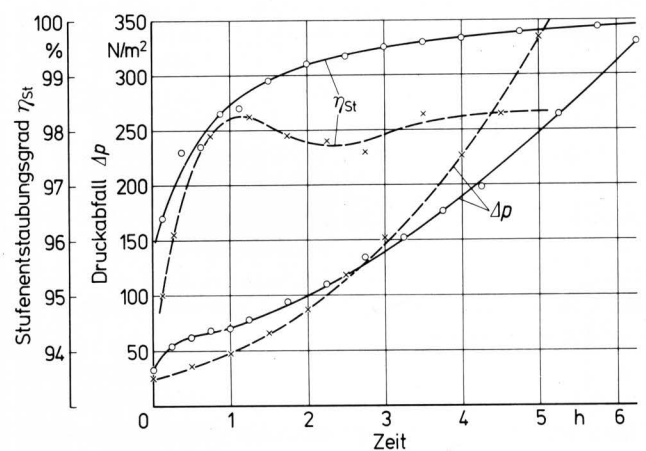


Bild 6. Stufenentstaubungsgrad η_{St} und Druckabfall Δp verschiedener Filtermedien als Funktion der Zeit.

--- Filtermedium A
 — Filtermedium B_2
 Staubart: Quarz
 Teilchengröße: $3 \div 7 \mu\text{m}$
 Staubgehalt: 100 mg/m^3

Ein weiteres Problem ist die Standzeit der Filter, also die Zeit bis zum Reinigen oder Auswechseln. Bestimmt wird diese Zeit durch den Verlauf des Druckabfalles (**Bild 6**) und die Charakteristik des gewählten Gebläses. Der hohe Staubgehalt der Zu- oder Frischluft führt dazu, daß die Standzeit der Filter verhältnismäßig kurz ist.

Andererseits ist ein häufiges Wechseln aus arbeitstechnischen Gründen nicht erwünscht. Durch vorgeschaltete Umlenkenstauber besteht eine begrenzte Möglichkeit, die Standzeit zu verlängern. Auch ist daran zu denken, die Frischluftzufuhr in Abhängigkeit von der Windrichtung zu steuern. Insbesondere aber ist anzustreben, die Frischluftentnahme für die Kabine so hoch wie möglich zu legen, weil der Staubgehalt nach einem evtl. Maximalwert mit dem Abstand vom Boden abnimmt. Auch über die Charakteristik des Gebläses läßt sich die Standzeit verlängern.

Die Kabine muß an den Fenstern, Türen und Betätigungselementen in der Bodenplatte so dicht ausgeführt sein, daß auch bei sehr geringen Frischluftstraten und starkem Wind kein Staub über diese Öffnungen eintritt. Die Abluftöffnungen – meist noch nicht vorhanden – sind so auszubilden, daß dort bei abgestellter Frischluftzufuhr kein Staub eintritt.

Werden Kabinen nach den vorgenannten Gesichtspunkten ausgelegt, so bieten sie die sichere Gewähr, die Staubbelastung auch bei sehr unterschiedlichen Bedingungen unterhalb der geforderten Grenzwerte zu halten [1].

5. Zusammenfassende Bewertung der genannten Maßnahmen zur Staubbekämpfung auf fahrenden Arbeitsmaschinen

- 5.1 Der Fahrerplatz auf Arbeitsmaschinen für die Pflanzenproduktion wird sich in naher Zukunft nicht vollautomatisieren lassen. Daher ist an technischen Maßnahmen zum Senken der Staubbelastung zu arbeiten.
- 5.2 Der Staubschutz über Atemschutzfilter wird wegen der damit verbundenen Behinderung nicht als allgemeine Lösung angesehen.
- 5.3 Betriebstechnische Maßnahmen zum Herabsetzen der Staubbelastung wie geeignete Arbeitstermine und windabhängige Wahl der Arbeitsrichtung werden angewendet. Mit dem angestrebten steigenden Auslastungsgrad der Produktionsmittel entfällt jedoch diese Alternative.
- 5.4 Über Anordnung des Fahrerplatzes, Verlegen des Staubaustrittes und die Formgebung der Maschinen ist wegen anderer Faktoren nur eine begrenzte Staubbekämpfung möglich.
- 5.5 Bei Mähdreschern und anderen Erntemaschinen mittlerer und kleiner Größen ist an das Absaugen und gezieltes, evtl. windabhängiges Ableiten zu denken, auch in Verbindung mit anderen Maßnahmen (5.4). Die abschließende Bewertung dieser Maßnahme ist nur über Versuche möglich, über die nach Abschluß berichtet wird.
- 5.6 Die Luftdusche gemäß Bild 5 als eine mögliche Lösung zur Fortleitung der Staubluft vom Atembereich ist für alle Mähdrescher eine gewisse Alternative. Sie bietet keinen zusätzlichen Lärmschutz.
- 5.7 Den auch bei sich ändernden Bedingungen sichersten Staubschutz bietet die staubtechnisch richtig ausgelegte Fahrerkabine.

In den Fällen, wo eine solche Kabine aus Gründen des Klimaschutzes vorhanden ist – wie beim Schlepper –, empfiehlt es sich, den Staubschutz mit Hilfe dieser Einrichtung zu lösen. Das erfordert eine dichte Kabine mit Kühlanlage und einen Filtrationsentstauber ausreichender Entstaubungsgüte für die Frischluft. Da eine geschlossene Kabine auch eine entsprechende Schalldämmung und -dämpfung ermöglicht, wird diese Kabine künftig als Standardausrüstung anzusehen sein.

Für Arbeitsmaschinen mit Eigenantrieb, die keine Fahrerkabine als Klimaschutz (Niederschlag, Wärme und Kälte) erfordern, ist die Kabine als Staubschutz nur unter bestimmten Bedingungen zu vertreten. Beim Mähdrescher, für den eine hohe Auslastung angestrebt wird, kann die mit Kühlanlage ausgerüstete staubdichte Kabine begründet sein, weil das Absaugen und Ableiten des Staubes kaum weniger Kosten verursacht und Schürzen am Strohaustritt nicht immer erwünscht sind.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Batel, W.*: Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung – Erster Bericht. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 135/57.
- [2] ●–: Handbuch "Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe; Toxikologisch - arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten". Weinheim/Bergstraße: Verlag Chemie 1972/73.
- [3] *Ulmer, W.T.*: Kriterien zur Feststellung von Schäden an Lungen und Bronchien durch Stäube und Gase. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 35 (1975) Nr. 11, S. 393/96.
- [4] –: Verordnung über gefährliche Arbeitsstoffe vom 8. Sept. 1975 BGBl. I, S. 2493.
- [5] ●–: Ausbreitung luftverunreinigender Stoffe. Berechnungsmethoden und Modelle. VDI-Berichte 200 (1973) 224 Seiten, VDI-Verlag: Düsseldorf 1973.
- [6] *Stümke, H.*: Ausbreitung von Schornsteingasen in einer Parallelströmung mit ein- oder vorspringender Kante. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 33 (1973) Nr. 6, S. 249/53 und Nr. 7, S. 286/90.
- [7] *Stümke, H.*: Ausbreitung von Schornsteingasen über eine Ebene mit quer zum Windfeld eingeschnittenem Tal oder Talkessel. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 33 (1973) Nr. 8, S. 323/27; Nr. 9, S. 344/48; Bd. 34 (1974) Nr. 4, S. 175.
- [8] *Batel, W.*: Technische Möglichkeiten zur Erleichterung der Arbeit der Fahrer von Schleppern, Mähdreschern und anderen selbstfahrenden Arbeitsmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 6, S. 201/05.
- [9] *Fahrbach, J.*: Das Atemschutzmerkblatt (Teil I) des "Deutschen Ausschusses für Atemschutzgeräte" – Richtlinie für den Einsatz geeigneter Atemschutzgeräte. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 33 (1973) Nr. 8, S. 332/35.
- [10] *Kangro, C.*: Schutz bei Anwendung giftiger Pflanzenschutzmittel. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 33 (1973) Nr. 3, S. 150/53.
- [11] *Anderson, R.B. u. G.W. Steinbruegge*: Design of air curtain tractor cabs. Transaction of the ASAE (1972) S. 572/75.
- [12] *Van der Lely, C.*: Staubabhaltende, mittels Blasluft wirkende Arbeitsplatzabschirmung. DAS Deutschland Nr. 1262060 /Kl. 45a-57/00 Ausgabetag 5.9.68
- [13] ●*Batel, W.*: Entstaubungstechnik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1972.
- [14] *Batel, W.*: Entwicklungsstand und Tendenzen beim Filtrationsentstauber. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 33 (1973) Nr. 9, S. 359/67.
- [15] ●*Davies, C.N.*: Air Filtration. London: Academic Press 1973.