

Die Windströmung in der Reinigung eines Mähdreschers

Institut für Landmaschinen der landwirtschaftlichen Hochschule Uppsala, Uppsala/Schweden

Die Reinigung im Putzwerk einer Dreschmaschine geschieht zum großen Teil als Windreinigung. Will man den Sortierungsvorgang untersuchen, so muß man die Schwebeeigenschaften des Reinigungsgutes [1] und die Windströmung in der Reinigung kennen. Diese Windströmung wurde in einem Munktell-Mähdrescher MST 42 (Abb. 1) gemessen, dessen Reinigung für viele andere Mähdrescher charakteristisch ist. Mit diesem Mähdrescher wurden außerdem, wie in einem weiteren Beitrag beschrieben wird, Feldversuche durchgeführt, um den tatsächlichen Sortiervergang festzustellen.

Die Menge Reinigungsgut, die durch die Reinigung strömt, liegt in der Größenordnung von 0,8 kg Gut je kg Luft. Das Gut beeinflusst natürlich die Strömung und diese Beeinflussung ist außerdem nicht gleichmäßig, sondern in den verschiedenen Teilen der Reinigung unterschiedlich. Deswegen sollten die Messungen im praktischen Betrieb vorgenommen werden, um genaue Werte der Strömung geben zu können. Solche Messungen bewirken aber außer praktischen Schwierigkeiten bei der Durchführung, daß die Zahl der variierenden Faktoren bedeutend größer wird. Deswegen wurde der ungenauere aber einfachere Weg gewählt und ohne Reinigungsgut gemessen. Die Ergebnisse geben jedoch einen Überblick über die Strömungsverhältnisse und zeigen auch schon, wo Verbesserungen vorgenommen werden können, ehe genauere Untersuchungen durchgeführt werden.

Die Windbewegungen wurden stichprobenweise in, über und hinter dem oberen Sieb gemessen, weil andere Untersuchungen gezeigt hatten, daß die Reinigung hauptsächlich hier vor sich geht. Die Meßpunkte sind in Abbildung 1 eingezeichnet. Die Messungen wurden mit einem in Wasser festgestellten Strömungsbild ergänzt.

Windmessungen im Mähdrescher

Bei den Messungen war der Mähdrescher ortsfest und ohne Reinigungsgut aufgestellt und von einem Elektromotor angetrieben. Die meisten Wellen außer der Gebläsewelle waren außer Betrieb gesetzt. Deswegen erhielt die Reinigung keine Schüttelbewegung, die doch keinen erheblichen Einfluß auf die Meßergebnisse haben konnte, aber die Messungen beträchtlich erleichterte.

Die Windgeschwindigkeit wurde mit einem Prandtl'schen Staurohr von 3 mm Durchmesser (Abb. 2) und einem Fuess-Schrägröhrmanometer gemessen. Da sie etwas schwankte, wurde als Durchschnittsgeschwindigkeit der Mittelwert zwischen den Außenwerten angesehen, die in einer Meßdauer von einer

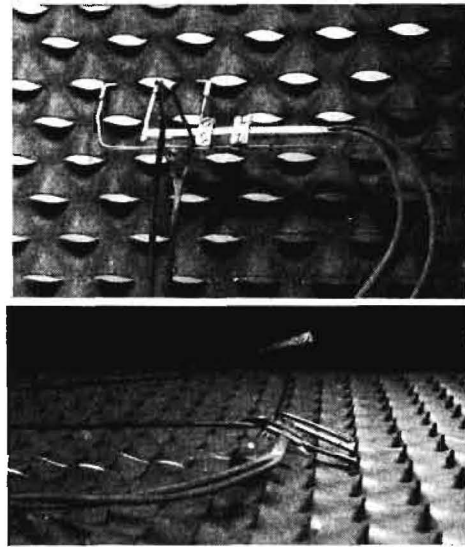


Abb. 2: Das Meßgerät für Serie B

Minute gefunden wurden. Der Unterschied zwischen den genannten Außenwerten betrug in allen Meßserien durchschnittlich weniger als 0,1 m/s. Eine Berechnung des Meßfehlers gibt eine wahrscheinliche durchschnittliche Ungenauigkeit der Geschwindigkeitsbestimmung von $\pm 0,13$ bis $\pm 0,17$ m/s im Bereich 2 bis 10 m/s.

Auch die Strömungsrichtung wurde bestimmt. Um eine besondere Richtungsbestimmung zu vermeiden und doch ein Meßgerät mit kleinst-möglichen Maßen zu verwenden, wurde die Richtung gleichzeitig mit der Geschwindigkeit mit dem Prandtlrohr gemessen, obwohl dieses Gerät im allgemeinen für Richtungsbestimmungen nicht gut geeignet ist. [2, 3, 4]. An jeder Meßstelle wurde das Rohr in mehreren Richtungen gegen den Wind gestellt, für jede Richtung der Druckunterschied gemessen, eine Kurve darüber gezogen und daraus die Richtung des maximalen Druckunterschieds bestimmt. Fast alle Messungen gaben (erstaunlicherweise) deutliche Maxima. Das Prandtlrohr wurde in einem Windkanal, wo die Strömungsrichtung mit Rauchstreifen sichtbar gemacht werden konnte, geeicht. Die wahrscheinliche durchschnittliche Ungenauigkeit der Richtungsbestimmung in der Reinigung ist mit $\pm 2,5^\circ$ berechnet.

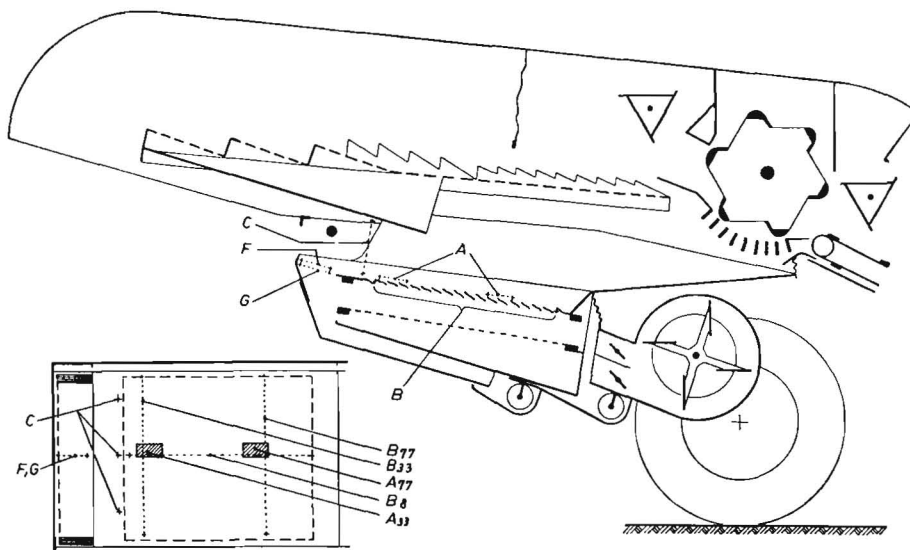


Abb. 1: Längsschnitt des Mähdreschers und Grundriß des oberen Siebes (Querschnitt des Putzwerkes siehe Abb. 4)

- A 33: Meßpunkte Serie A, Gebiet 33
- A 77: Meßpunkte Serie A, Gebiet 77
- B : Meßpunkte Serie B
- B 8: Meßpunkte Serie B, Linie 8
- B 33: Meßpunkte Serie B, Reihe 33
- B 77: Meßpunkte Serie B, Reihe 77
- C : Meßpunkte Serie C
- F : Meßpunkte Serie F
- G : Meßpunkte Serie G

Oberes Sieb: Nasensieb (siehe Abb.5). Siebverlängerung: Gitter von 3,5 mm Stahldrähten, Teilung 11,8 mm

Unteres Sieb: Rundlochsieb, 13 mm Lochdurchmesser, Lochfläche 54% der Siebfläche

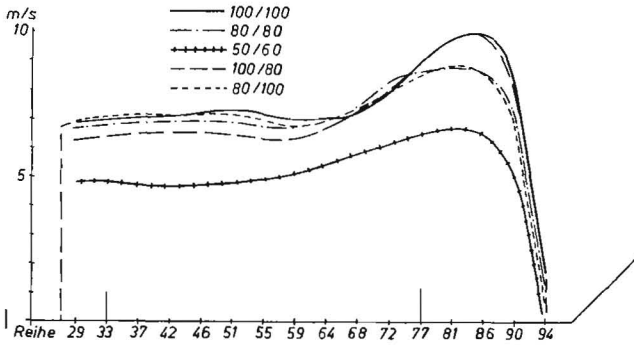


Abb. 3: Windgeschwindigkeit in den Löchern auf einem Längsschnitt durch das Putzwerk (Linie 8); das Gebläse liegt rechts

100/100: obere Klappe 100%, untere 100% seiner Bewegung offen
 80/80: obere Klappe 80%, untere 80% seiner Bewegung offen
 50/50: obere Klappe 50%, untere 50% seiner Bewegung offen
 100/80: obere Klappe 100%, untere 80% seiner Bewegung offen
 80/100: obere Klappe 80%, untere 100% seiner Bewegung offen

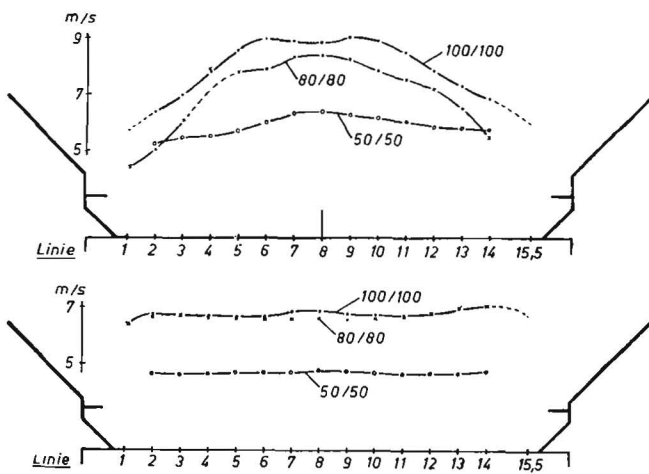


Abb. 4: Windgeschwindigkeit in den Löchern auf einem Querschnitt über das Vorderende (Abb. 4a) (Reihe 77) und über das hintere Ende (Abb. 4b) des Siebes (Reihe 33)
 Die Zahlen geben die in Abbildung 3 erläuterten Klappenstellungen an

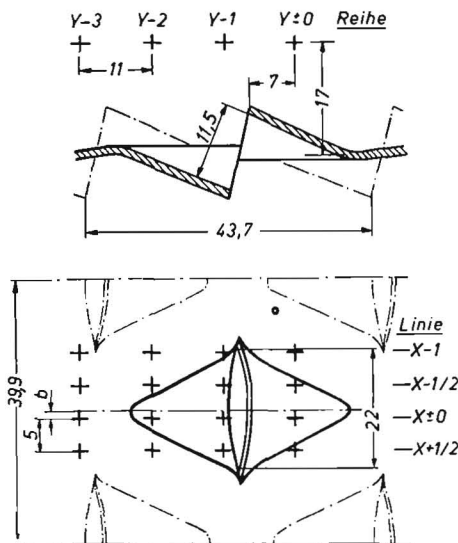


Abb. 5: Lage der Meßpunkte der Serie A im Verhältnis zu einem Sieb- loch (das Loch gehört zur Linie X und Reihe Y)
 Das Maß b wurde durch Unvollkommenheiten des Meßgerätes verur- sacht und beträgt im Gebiet 77 rund 0,8 mm und im Gebiet 33 rund 1,3 mm



Abb. 6: Das Meßgerät für Serie A

Die Windgeschwindigkeit in den Sieblöchern im oberen Sieb (Serie B)

Der Hauptteil der Reinigung geschieht am oberen Sieb und dabei hauptsächlich mit Wind.

Diese erste Meßserie soll ein Bild davon geben, wie der Wind sich über das ganze Sieb verteilt und wie die Verteilung von der Klappenstellung beeinflusst wird.

Die Messungen werden in jedem Loch der Mittenlinie des Siebes (Linie 8) und in zwei Reihen quer über dem Sieb (Reihe 77 und 33) vorgenommen (Abb. 1). Verschiedene Stellungen der Gebläseklappen wurden verwendet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Außerdem wurde die Strömung in den der Serie A entsprechenden Löchern gemessen.

Die Diagramme zeigen, daß die Windgeschwindigkeit im vorderen Teil des Siebes ungleich verteilt ist. Dies hängt wahrscheinlich von einer unzureichenden Ausführung des Gebläses und seiner Luftzufuhr ab. Das Ergebnis stimmt mit Beobachtungen des praktischen Betriebes gut überein. Dabei werden nämlich zuerst die Seitenteile des Vorderendes des Siebes mit einer zusammenhängenden Schicht von Reinigungsgut bedeckt und danach das Hinterende, während die Mitte des Vorderendes nur selten bedeckt wird.

Man sieht weiter, daß die obere Gebläseklappe auf die Strömung in der vorderen Hälfte des Siebes, die untere Klappe auf die Strömung in der hinteren Hälfte einwirkt, aber auch, daß das Schließen einer Klappe eine Erhöhung der Strömung durch den anderen Kanal zur Folge hat.

Wie bereits erwähnt, wird die Geschwindigkeitsverteilung im praktischen Betrieb eine andere, da das Reinigungsgut den Windstrom beeinflusst. Wenn das Sieb normal arbeitet, ist dieser Einfluß jedoch wahrscheinlich gering.

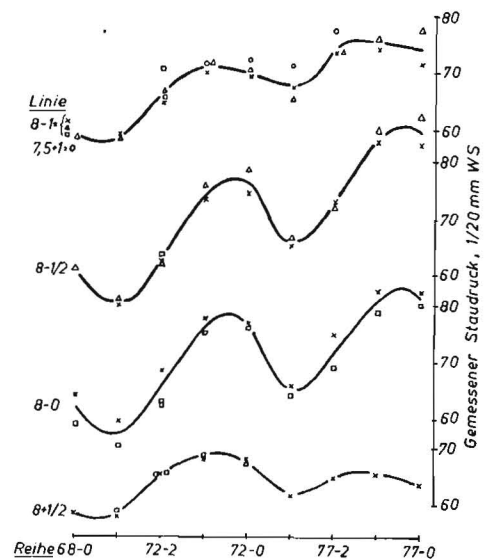


Abb. 7: Beispiele des gemessenen Staudrucks, Serie A

Die Strömungsverhältnisse 17 mm über der Siebebene (Serie A)

Die Windreinigung findet in den Sieblöchern, aber auch über dem Sieb statt. Um festzustellen, bis zu welcher Höhe dieses Sortieren gehen kann, wurden Messungen auch über dem Sieb gemacht.

Unmittelbar über dem Siebblech kommen Gebiete mit „Totwasser“, Ablösungsgebiete, vor. Untersuchungen im Wasser deuten an, daß diese Gebiete sich nicht mehr als 10 bis 15 mm über die Siebebene ausdehnen. Darum war zu vermuten, daß Messungen 17 mm über der Siebebene in einem Gebiet ziemlich gleichbleibender Strömung liegen sollten. Die Messungen wurden über jedem Siebloch an 16 Punkten nach Abbildung 5 vorgenommen. Wegen der großen Zahl der Meßpunkte konnten nur zwei begrenzte Gebiete des Siebes (Abb. 1) und nur bei Gebläseeinstellung voll geöffnet untersucht werden. Abbildung 6 zeigt das Meßgerät.

Wie zu vermuten war, zeigte sich bei den Messungen, daß die Meßwerte eine periodische Schwankung infolge der Lage der Löcher aufwiesen (Beispiel in Abb. 7). Als erste Näherung habe ich angenommen, daß die Meßwerte an je 16 Meßstellen oberhalb eines Sieblochbereichs nur von „ihrem“ Siebloch bestimmt sind und daß sie um den gleichen Betrag von den Werten entsprechender Meßstellen über einem anderen Loch abweichen. Mit dieser Annahme erhalte ich ein aus 16 Werten je Windgeschwindigkeit und Windrichtung bestehendes Strömungsbild und mehrere Paare Abweichungen davon, wobei jedes Paar ein Siebloch betrifft. Abbildung 8 zeigt zwei solche Strömungsbilder mit zugehöriger Lochströmung. Die durchschnittlichen Abweichungen der Meßwerte von diesem Strömungsmodell sind ungefähr gleich groß wie vorweg berechnet war, was andeutet, daß die Ungenauigkeit des verwendeten Modells nicht groß sein kann.

Je 16 Meßwerte dieser Serie betreffen dieselbe Luftmenge, die durch das Siebloch gegangen ist. Darum ist eine Kontrolle mit der Kontinuitätsgleichung möglich. Diese zeigt einen Unterschied in der Luftmenge von 5%, der innerhalb der Fehlergrenzen liegt.

Die Messungen zeigen, daß schon in dieser Höhe über der Siebebene (17 mm) keine großen Unterschiede der Geschwindigkeiten in den verschiedenen Punkten bestehen. Die gemessenen Geschwindigkeiten schwanken nur von 97 bis 107% der Mittelwerte im vorderen Gebiet und von 90 bis 113% im hinteren Gebiet. Die Hauptstromrichtung hat überall ungefähr 17° Neigung gegen das Sieb mit den größten Schwankungen $\pm 8^\circ$ in einzelnen Punkten.

Der Einfluß des Reinigungsgutes scheint bei normalem Betrieb klein zu sein.

Die Strömung zwischen dem oberen Sieb und dem Schüttler (Serie C)

Um den Weg der abgeschiedenen leichteren Teilchen klarzulegen, ist es notwendig, die Strömung auch höher über dem Sieb zu kennen. Messungen wurden darum in dem in Abbildung 1 gezeigten Schnitt C gemacht. Einige Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt. Andere Messungen zeigen, daß die Strömung über die ganze Breite des Siebes ziemlich gleichförmig ist. Eine Kontrolle der Luftmenge zeigt gute Übereinstimmung mit Serie A und B.

Die Strömung an der Siebverlängerung (Serie F und G)

Die Siebverlängerung spielt bei der Reinigungsarbeit eine wichtige Rolle; es wurden deshalb einige Messungen in und über der Siebverlängerung gemacht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt.

Bei den Messungen in der Siebverlängerung (Serie G) befand sich die Spitze des Staurohrs in der Höhe der Oberseite des Rostes, die Bohrungen für das Messen des statischen Druckes folglich 9 mm höher, das heißt in einem Gebiet mit niedriger Geschwindigkeit. Deswegen sind die angegebenen Geschwindigkeiten der Serie G etwas zu niedrig.

Für die Strömung durch die Siebverlängerung gilt vermutlich in höherem Grad als für die übrigen Teile der Reinigung, daß sie vom Reinigungsgut beeinflusst wird. Wenn Teile des oberen Siebes von einer Schicht Reinigungsgut bedeckt sind, wird

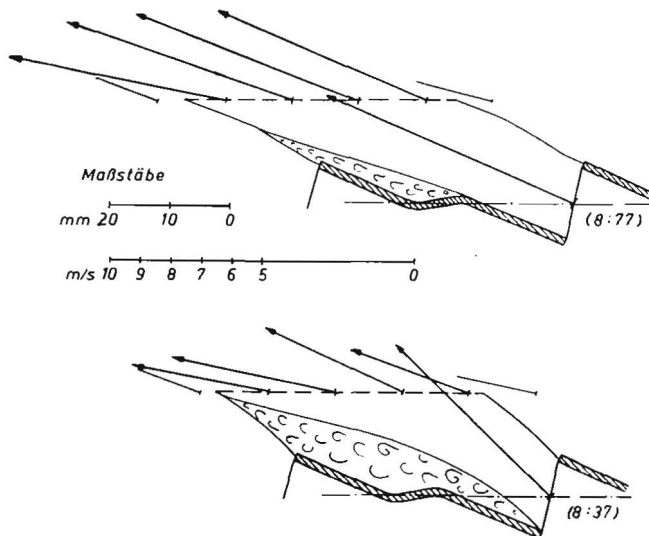


Abb. 8: Strömungsbild in der Mittenebene des Siebloches
 Abb. 8a: Linie 8, Reihe 77 Abb. 8b: Linie 8, Reihe 37
 (Die Stromlinien wie auch das „Totwassergebiet“ sind geschätzt, stimmen aber ungefähr mit den Strömungsbildern im Wasserkanal überein.
 Mittelgeschwindigkeit 8 a : 7,5 m/s und 8 b : 4,6 m/s

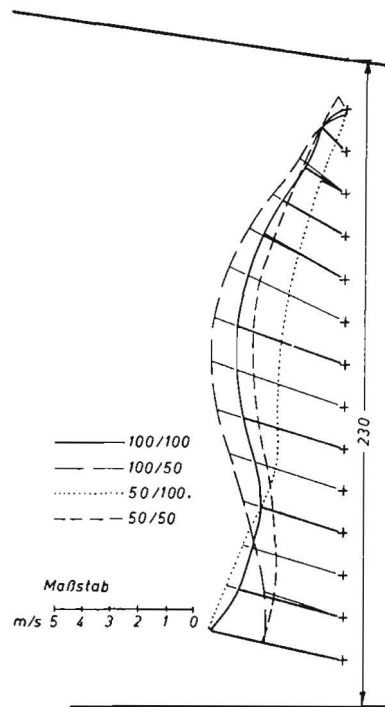


Abb. 9: Strömungsbild in der Mittenebene Schnitt C (siehe Abb. 1)
 Geschwindigkeiten mit gemessenen Richtungen sind grob gezogen. Die Vektorspitzen sind mit Linien verbunden. Mittelgeschwindigkeit 3,2 m/s, Hauptstromrichtung rd. 20° gegen die Siebebene. Die Zahlen geben die Klappenstellungen an

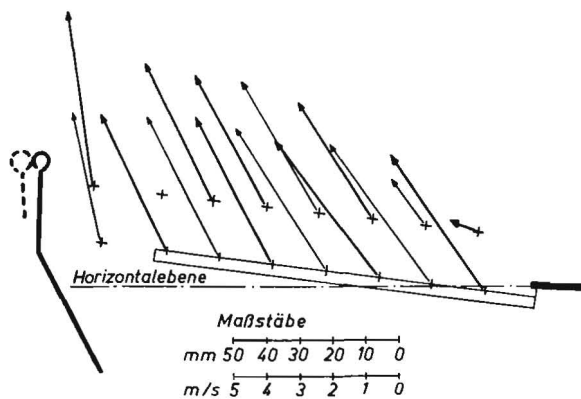


Abb. 10: Strömungsbild auf der Siebverlängerung in der Mittenebene des Putzwerks (Meßserien F und G, siehe Abb. 1)
 Geschwindigkeiten mit gemessenen Richtungen sind grob gezogen. Die angegebenen Geschwindigkeiten im unteren Schnitt (G) sind etwas zu niedrig. - Vorwiegende Geschwindigkeiten 4,2 - 5,3 m/s, Richtungen rd. 60° gegen das Sieb

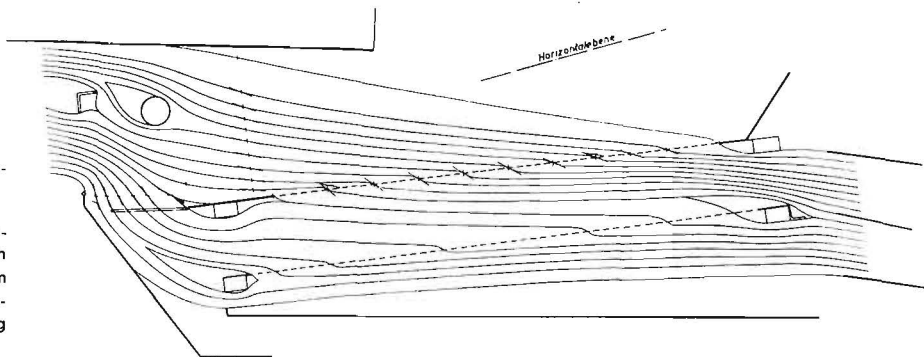


Abb. 12: Bild der Strömung durch das Putzwerk bei 100 % offenen Gebläseklappen.

Zwischen zwei naheliegenden Stromlinien passieren überall rund $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ Luft. Die kurzen Geraden geben gemessene Richtungen in berechneten Teilungspunkten an. In den Gebieten nahe den Sieben ist die Darstellung roh. Für genauere Bilder siehe Abb. 8

die Luftmenge des Gebläses auf die Siebverlängerung konzentriert und verursacht dort eine viel höhere Windgeschwindigkeit. Bis diese Einwirkung untersucht wird, können die angegebenen Werte nur als orientierend betrachtet werden.

Strömungsbild der gesamten Reinigung

Das Aufzeichnen eines Strömungsbildes der gesamten Reinigung auf Grund von Messungen wäre eine zu umfangreiche Arbeit. Statt dessen habe ich versucht, ein Strömungsbild nach der unter anderem von Trienes [5] und Eck [6] genannten Methode zu bekommen. Hierbei wird das Versuchsobjekt in einen Kanal mit strömendem Wasser gesenkt, so daß es über die Wasseroberfläche hinausragt. Die Strömung in der Wasseroberfläche wird mit aufgestreutem Aluminiumpulver sichtbar gemacht. Durch Photographieren mit einer geeigneten Aufnahmedauer erhält man ein Strömungsbild.

Die Methode gibt ein ebenes Strömungsbild und sollte deswegen eigentlich nur für ebene Strömungszustände verwendet werden. Man kann jedoch verwendbare Ergebnisse auch für symmetrische Strömungszustände erwarten, wenn die Wasseroberfläche mit der Symmetrieebene zusammenfällt.

Für den Versuch stand kein für diesen Zweck besonders eingerichteter Kanal zur Verfügung, sondern er mußte mit primitiven Mitteln ausgeführt werden. Untersucht wurde ein Modell



Abb. 11: Aufnahme der Strömung in der Wasserrinne um das Putzwerkmodell. Belichtungszeit rund $1/10 \text{ sec}$

der Reinigung im Maßstab 1 : 2. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel von den Aufnahmen. Mehrere Aufnahmen wurden zu einem ersten Strömungsbild zusammengestellt.

Die Strömung war, wie oben berichtet, in einzelnen Sektoren des Putzwerkes durch Messungen festgestellt. Diese Meßwerte wurden nun mit Hilfe des obengenannten groben Strömungsbildes zu einem besseren Strömungsbild ergänzt (Abbildung 12). Die Stromlinien sind so gezogen, daß zwischen zwei nebeneinander liegenden Linien (eigentlich Flächen) immer rund $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ Luft passieren. Die Siebbreite ist $0,7 \text{ m}$ (Abb. 12 stellt die durchschnittlichen Verhältnisse über der ganzen Siebbreite dar).

Mit Hilfe dieses Strömungsbildes kann man den Strömungszustand an jedem beliebigen Punkt des Putzwerkes berechnen und sich damit auch eine Vorstellung von den Partikelbahnen bilden.

In diesem Beitrag habe ich nur die Windströme durch ein leeres Putzwerk beschrieben. Einige Schlußfolgerungen über die Reinigung, die man daraus ziehen kann, werden im kommenden Beitrag folgen, wo sie als Erklärung des durch Versuche gefundenen und dort beschriebenen Reinigungsvorganges dienen.

Schrifttum:

- [1] Persson: Eigenschaften des Reinigungsgutes in Mähdreschern. Landtechn. Forsch. 7 (1957), Heft 2, S. 41/45
 - [2] Goldstein u. a.: Modern developments in fluid dynamics. Oxford 1938, S. 251
 - [3] Eck: Technische Strömungslehre. Berlin 1954, S. 386/287
 - [4] Prondtl: Führer durch die Strömungslehre. Braunschweig 1949, S. 54
 - [5] Trienes: Strömungsbilder von der Windführung in Landmaschinen. Grundl. d. Landtechn. Heft 3, Düsseldorf 1951, S. 133
 - [6] Eck: Einführung in die technische Strömungslehre. 2. Band: Strömungstechnisches Proktikum. Berlin 1935, S. 18/29
- Andere Messungen der Windbewegung in einem Putzwerk sind in folgenden Arbeiten besprochen:
- Kühne-Morks: Untersuchungen an Gebläsen von Dreschmaschinen. TdL 7 (1926) H. 9, S. 179
- Kühre: Handbuch der Landmaschinentechnik, 11. Band. Berlin 1934, S. 207/210
- Komorow, Gladkow, Wasilenko u. a.: Kompendium der sowjetischen Landmaschinentechnik. Berlin 1954, S. 241/247

Résumé:

S. Persson: „Die Windströmung in der Reinigung eines Mähdreschers.“

Im ersten Teil der Arbeit (Landtechnische Forschung 2/1957) wurden die Eigenschaften des zu reinigenden Gutes in einem Mähdrescher untersucht. Da die Reinigung im Mähdrescher zum großen Teil als Windreinigung geschieht, ist es von Interesse, die Strömung in den in dieser Hinsicht wichtigsten Teilen des Putzwerkes zu kennen. Die Meßergebnisse der Abbildungen 3 und 4 geben einen Überblick über die Geschwindigkeitsverteilung über dem ganzen oberen Sieb bei verschiedenen Windstärken des Gebläses. In einer anderen Meßserie (Abb. 8) wurde die Strömung 17 mm über dem oberen Sieb in zwei begrenzten Gebieten festgestellt. Daraus sieht man, daß die Strömung schon in dieser Höhe ziemlich gleichförmig ist. Weitere Meßserien (Abb. 9 und 10) geben die Strömung am hinteren Ende des oberen Siebes an. Das Strömungsbild wird mit Hilfe von Photoaufnahmen von der Strömung um das Modell einer Reinigung in einer Wasserrinne ergänzt (Abb. 12).

S. Persson: "Air Flow in Combine Harvesters."

In the first part of this contribution (Landtechnische Forschung 2/1957) the properties of the various materials to be separated in a combine harvester were investigated. Since the operation of separation is usually performed pneumatically in a combine harvester, it is important that a correct idea of the air flow in the various parts of the cleaner unit of the harvester be obtained. The results charted in Figs 3 and 4 show the distribution of the air speed over the whole of the upper sieve at various rates. Another set of measurements (Fig. 8) shows that the air flow as measured at two entirely separate portions of the sieve is 17 mm over the surface thereof. Hence, it can be seen that the air flow is fairly regular at this height. A further set of measurements (Figs 9 and 10) were made on the air flow at the rear of the sieve. The air flow diagram is supplemented by photographs.

S. Persson:

«Le rôle du courant d'air dans les systèmes de nettoyage d'une moissonneuse-batteuse.»

Dans la première partie de l'article parue dans le numéro 2/1957 de la Landtechnische Forschung, on a examiné les propriétés des produits qui doivent être nettoyés dans une moissonneuse-batteuse. Etant donné que le nettoyage dans la moissonneuse-batteuse se fait essentiellement par courant d'air, il est intéressant de connaître les caractéristiques du courant d'air dans les différents organes servant principalement au nettoyage. Les résultats des mesures reproduits sur les figures 3 et 4 donnent un aperçu sur les variations de la vitesse du courant d'air à différentes puissances du ventilateur, les mesures étant effectuées sur toute la surface de la grille supérieure. Lors d'une autre série de mesures (fig. 8), la vitesse du vent a été mesurée à deux endroits circonscrits de la grille supérieure, à 17 mm au-dessus de celle-ci. Il résulte de ces mesures qu'à cette distance, la vitesse du courant d'air est déjà assez uniforme. D'autres séries de mesures (fig-9 et 10) ont déterminé la vitesse du courant d'air à la partie arrière de la grille supérieure. Ces données sur le courant d'air sont complétées par des photos qui reproduisent le flux autour d'un modèle d'un système de nettoyage placé dans une rigole d'eau. (fig. 12)