

Untersuchungen über die Erzeugung von Luftströmungen in Messertrommeln zur Unterstützung der Materialförderung

Hans Wilhelm Orth

Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Braunschweig-Völkenrode

1. Einleitung

Für die Zerkleinerung landwirtschaftlicher Produkte werden sehr oft rotierende Werkzeuge verwendet, deren Arbeitskanten beim Umlauf eine Zylinderfläche beschreiben. In derartigen Arbeitsorganen wird die Bewegung des zerkleinerten, durch das Werkzeug beschleunigten Gutes [1] auch durch die gleichzeitig erzeugte Luftströmung beeinflusst. So läßt sich mit einem gesteuerten Luftstrom innerhalb des Rotationsbereiches des Arbeitsorganes das geschnittene Gut so leiten, daß es möglichst wenig mit Flächen geringerer Geschwindigkeit in Berührung kommt und somit Energieverluste vermieden beziehungsweise vermindert werden. Andererseits kann eine der Materialbewegung nicht richtig zugeordnete Luftströmung zu einer Verwirbelung des zerkleinerten Gutes führen, wodurch nicht nur der Auswurf des Materials aus dem Werkzeugbereich beeinträchtigt wird, sondern auch ein höherer Energiebedarf infolge Reibung und Beschleunigung entsteht. Die Luftströmung wirkt sich ferner auf die Bewegung des zerkleinerten Gutes nach dem Verlassen des Werkzeugbereiches aus. Mit der Austrittsgeschwindigkeit von Gut und Luft sind die wichtigsten Bedingungen für die Weiterförderung gegeben.

Aus dieser Bedeutung der Luftströmung für die Funktion einer Zerkleinerungsmaschine mit einer Messertrommel ergibt sich die Aufgabe, den Einfluß konstruktiver Maßnahmen auf die Gebläsewirkung bei einem derartigen Arbeitsorgan festzustellen.

Nach bisherigen Untersuchungen [2] haben diese „Gebläse“ einen schlechten Wirkungsgrad, da die Messer- und Gehäuseformen nicht in erster Linie nach Gebläseforderungen ausgelegt sind. Der konstruktive Aufbau eines solchen Schneid-Wurf-Systemes zeigt Ähnlichkeit sowohl mit Trommelläufergebläsen wie auch mit Querstromgebläsen. Die Ausnutzung der Trommelläufereigenschaften mit einer Ansaugung über axiale Öffnungen ist die übliche Methode der Luftförderung beim Häcksler. Da die Größe der Ansaugöffnungen aus konstruktiven Gründen jedoch begrenzt ist, erscheint es zweckmäßig, zur Verbesserung der Strömungsverhältnisse in Trommelschneidwerken die Erkenntnisse aus dem Querstrom-Gebläsebereich zu nutzen. So könnten zum Beispiel durch geeignete Ansaugöffnungen am Umfang des Trommelgehäuses eine ebene Strömung und durch den Gewinn an Ansaugfläche eine bessere Luftförderung erzielt werden.

2. Aufbau von Querstromgebläsen

Das wichtigste Kennzeichen von Querstromgebläsen ist die Durchströmung in einer Ebene, wobei die Luft am Umfang angesaugt und nach Durchtritt durch den Rotor etwa tangential ausgeblasen wird. Der Strömungsverlauf im Inneren des Rotors wird durch einen Wirbel geprägt, dessen Zentrum in der Nähe des Auslasses im Innenraum des Rotors liegt. Das gesamte Strömungsfeld kann durch einen Potentialwirbel beschrieben werden. Der Innenwirbel bewirkt in einem Teilbereich des Rotorinnern ein Rückströmen der Luft. Das Ausmaß dieser Rückströmung hängt von der Schaufel- und Gehäuseform ab und bestimmt den Wirkungsgrad der Luftförderung.

Eine Literaturdurchsicht zeigt, daß seit der Erfindung durch MORTIER im Jahre 1892 das Querstromgebläse immer nur zeitweise Interesse hervorgerufen hat. Eine Übersicht über die bis zum Jahre 1959 über Querstromgebläse erschienenen

Literatur gibt DE FRIES [3]. Durch Weiterentwicklung und neue Erkenntnisse über die Wirbelsteuerung, vor allem durch ECK [4], findet dieser Gebläsetyp in letzter Zeit häufiger Anwendung. ILBERG und SADEK [5] untersuchten die Innendurchströmung des Rotors und stellten ergänzende Ansätze über das Geschwindigkeits- und Druckfeld auf. In einer weiteren Arbeit behandelte ENGELHARDT [6] experimentell den Einfluß der Reynolds-Zahl auf die Durchflußcharakteristik durch Veränderung der Rotordrehzahl und der Dichte des strömenden Mediums. FINKBEINER [7] und QUICK [8] untersuchten die Möglichkeiten des Einsatzes für Mäh-drescherreinigungsgeläse, wobei die Vorteile der kleinen Bauweise und des gleichmäßigen Geschwindigkeitsprofils herausgestellt werden.

3. Experimentelle Untersuchungen

Obwohl sehr viele theoretische Ansätze vorliegen, ist es bis heute noch nicht gelungen, für Querstromgebläse die Beziehung zwischen geometrischen Abmessungen und der zugehörigen Charakteristik durch Rechnung zu bestimmen. Insbesondere bei den im Häckslerbau verwendeten Messern, Schaufelzahlen und Gehäuseformen und bei Beladung des Luftstromes mit festen Partikeln ist es nicht möglich, die Gebläsecharakteristik zu berechnen, so daß experimentelle Untersuchungen notwendig sind.

3.1. Versuchsaufbau

Die Messungen wurden zunächst an einem Versuchsgebläse durchgeführt, das folgende Merkmale aufwies: Fliegende Lagerung der Messertrommel, um Strömungsmessungen im Rotorinnenraum durchführen zu können; auswechselbare Schaufeln, Schaufelzahl $z = 8, 16$; Schaufelwinkel $0^\circ < \delta < 90^\circ$; Schaufellänge $l_s = 0,08$ m; Ansaugöffnung nach Größe und relativer Lage verschiebbar durch Aufteilung des Gehäusemantels in einzelne austauschbare Segmente; Umfangsgeschwindigkeit u stufenlos verstellbar bis 35 m/s; Rotordurchmesser $d = 0,5$ m; Rotorbreite $b = 0,2$ m; konzentrisches Gehäuse mit tangential ansetzendem Ausblas.

Da die Aufnahme der Strömungsbilder sehr zeitaufwendig war, wurde der Strömungsverlauf parallel zu den Messungen an dem oben beschriebenen Versuchsstand in einem Flachwasserkanal beobachtet. An Modellen im Maßstab 1:3 sollte hierbei der Einfluß von Gehäuse- und Schaufeländerungen auf die Ausbildung der Strömung und auf das Förderolumen festgestellt werden. Dieses Verfahren erleichterte die Auswahl der Parameterkombinationen für das Versuchsgebläse.

3.2. Ähnlichkeitsbetrachtungen

Zum Vergleich der im Flachwasserkanal gewonnenen Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Gebläseversuch müssen die den Messungen jeweils zugrunde liegenden Bedingungen mechanisch ähnlich sein. Bei Untersuchungen von Strömungsfeldern im Modellmaßstab ist neben der geometrischen Ähnlichkeit die Re-Zahl die wesentliche Ähnlichkeitskennziffer. Ihr Einfluß ist besonders groß in den Bereichen, in denen noch keine Ablösung der Strömung stattgefunden hat. Hat sich die Strömung jedoch abgelöst, dann wird der Einfluß der Re-Zahl geringer. Hieraus folgt, daß eine Übertragung von Meßergebnissen vom Modell auf die Großausführung erlaubt ist, wenn entweder die beiden

Re-Zahlen gleich sind oder aber beide Re-Zahlen in einem Bereich liegen, für welchen ein Ablösen der Strömung erfolgt. Für gerade Schaufelgitter ist letzteres für $Re > 4 \cdot 10^5$ der Fall [5]. Für gebogene Schaufelgitter und Rotoren gelten andere Bereiche. Da bei Versuchen in der Flachwasserrinne die Re-Zahl der Großausführung nicht erreicht werden kann, war zu prüfen, ob auch für Querstromrotoren ein solcher Bereich vorhanden ist. ENGELHARDT [6] stellte fest, daß bei Querstromgebläsen für $Re > 30\,000$ der Zusammenhang zwischen Druck und Geschwindigkeit von der Re-Zahl nicht mehr beeinflußt wird. Für $7500 < Re < 30\,000$ finden nur unwesentliche Verschiebungen der Kennlinien in Abhängigkeit von der Re-Zahl statt. Die Re-Zahl wird bei Querstromgebläsen mit der Schaufellänge l_s und der Umfangsgeschwindigkeit u bestimmt.

Für den Modellversuch im Flachwasserkanal ergab sich eine Re-Zahl von 7850, während für die Großausführung die Werte im Bereich $Re > 30\,000$ lagen. Die Re-Zahl der Modellausführung liegt somit in dem Bereich, der eine qualitative Übertragung der Meßergebnisse zuläßt.

3.3. Versuchsmethodik

Im Flachwasserkanal wurde das Strömungsbild durch Fotoaufnahmen festgehalten. Eine Aussage über die jeweils vorhandene Fördergeschwindigkeit und damit über das Förderolumen ergab sich aus einer Staudruckmessung mit Hilfe einer ebenen Platte, die in einer beruhigten Strömung des Rücklaufes eingesetzt war.

Am Versuchsgebläse wurde eine Prandtl-Sonde (Außendurchmesser 3 mm, Bohrung 1 mm) für die punktweise Messung des Staudruckes und des statischen Druckes sowohl im Auslaß wie auch im Inneren des Gebläserotors verwendet. Infolge der Durchströmung in einer Ebene konnte durch Drehen der Sonde auch die Strömungsrichtung festgestellt werden, da der Staudruck bei einer Anströmung parallel zur Gesamtdruckbohrung der Sonde ein Maximum ist. An die Sondenspitze geklebte, dünne Wollfäden erleichterten dieses Verfahren. Infolge der kleinen Bohrungen der Sonde und der relativ kleinen Drücke war eine Anzeige mittels Schrägrohrmanometers oder Betz-Manometers wegen der großen Luftvolumina in Zuleitung und Gerät zu träge. Es wurde daher eine Umwandlung der Meßgrößen in elektrische Größen mittels eines elektrischen Differenzdruckgebers sehr großer Empfindlichkeit gewählt, welcher sehr kurze Zuleitungswege und damit kleine schädliche Volumina ermöglichte. Aus den punktwisen Druckmessungen im Auslaßquerschnitt des Versuchsgebläses konnte dann die Gebläsecharakteristik durch Mittelwertbildung über den gesamten Querschnitt berechnet werden. Unterschiedliche Betriebszustände wurden durch Drosselung des Endquerschnittes des Auslaßrohres eingestellt.

3.4. Versuchsergebnisse

In Bild 1 sind die im folgenden verwendeten Beziehungen definiert. Die Bilder 2 und 3 zeigen zwei charakteristische Aufnahmen des Stromlinienfeldes in zwei Modellrotoren, welche mit unterschiedlichen Schaufelformen bestückt sind. Der Rotor auf Bild 2 ist mit Kreisbogenschaufeln (Anstellwinkel am Außendurchmesser $\delta = 25^\circ$, innen radial endend) ausgestattet, welche in Anlehnung an die Maße von Querstromgebläsen und unter Verwendung eines üblichen Schnitt-

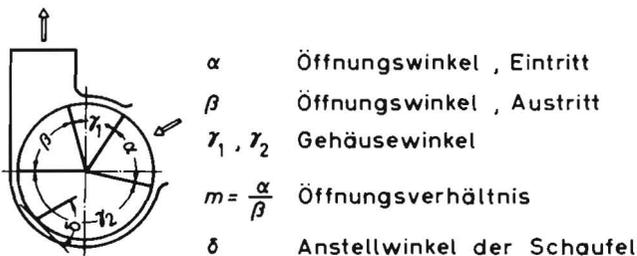


Bild 1: Definition der verwendeten Bezeichnungen



Bild 2: Durchströmung eines Gebläses mit Kreisbogenschaufeln (Modellversuch Flachwasserkanal, Schaufelzahl $z = 16$, $m = 0,85$)



Bild 3: Durchströmung eines Gebläses mit geraden Schaufeln (Modellversuch Flachwasserkanal, Schaufelzahl $z = 16$, $m = 1,19$, $\delta = 60^\circ$)

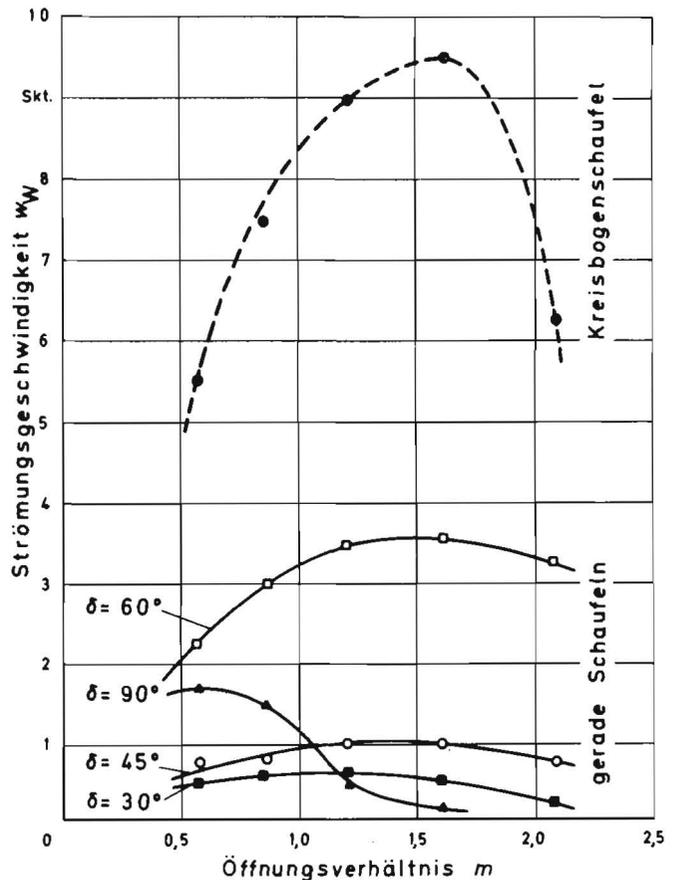


Bild 4: Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von dem Öffnungsverhältnis bei verschiedenen Schaufelformen (Modellversuch Flachwasserkanal)

winkels von 25° ausgebildet wurden. Auf dem Bild ist die für ein Querstromgebläse typische Durchströmung in Form eines Potentialwirbels zu erkennen. Diese Charakteristik wird auch durch Veränderung des Öffnungsverhältnisses, abgesehen von einer Verschiebung des Wirbelmittelpunktes, nicht beeinflusst.

Bei dem Rotor mit geraden Schaufeln zeigt sich eine ähnliche Durchströmung (Bild 3). Wie bei der gebogenen Schaufel ist eine Rückströmung und daneben die Hauptdurchströmung zu erkennen. Anstelle eines Wirbelkernes hat sich jedoch ein relativ großes Totwassergebiet gebildet. Dieses kann eine Folge der kleineren Geschwindigkeiten der Rückströmung sein. Diese Strömungsform bei geraden Schaufeln konnte bei Messungen an dem Versuchsgebläse ebenfalls festgestellt werden.

Die in der Flachwasserrinne durchgeführten Untersuchungen ergaben ferner eine Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit im Rücklauf vom Öffnungsverhältnis und von der Schaufelform. Während für Kreisbogenschaukeln ein ausgeprägtes Geschwindigkeitsmaximum bei Veränderung des Öffnungsverhältnisses auftritt, ist dieses bei geraden Schaufeln nicht eindeutig festzustellen (Bild 4). Ein Vergleich mit den Bildern 2 und 3 läßt erkennen, daß bei geraden Schaufeln nur ein Teil der Ansaugfläche genutzt wird und somit eine Veränderung dieser Fläche sich entsprechend gering auswirkt. Wie zu erwarten war, ist die Förderwirkung von Kreisbogenschaukeln besser als die von geraden Schaufeln, welche keine stoßfreie Umlenkung der Strömung ermöglichen und daher zu Stoßverlusten führen. Durch Veränderung des Schaufel-Anstellwinkels ist jedoch eine Verbesserung möglich (Bild 5). Die beste Förderung ist, unabhängig vom Öffnungsverhältnis, im Bereich $\delta = 60^\circ \dots 75^\circ$ zu erwarten. Diese Aussage wird durch Messungen an dem Versuchsgebläse bestätigt, wie es die Gebläsekennlinien in Bild 6 zeigen. Zur Kennzeichnung eines bestimmten Betriebszustandes wurden verschiedene Drosselzahlen $\tau = \varphi^2/\psi$ eingezeichnet. Die Charakteristiken $\psi = f(\varphi)$ weisen einen Anstieg des statischen Druckes bei abfallender Luftgeschwindigkeit auf. Die Druckspitzen für $\tau = 2,77$ entsprechen einer Drosselung des Endquerschnittes auf 60%. Der dann folgende Abfall des Druckes bewirkt ein instabiles Betriebsverhalten. Die Gegenüberstellung dieser Kennlinien mit der eines Querstromrotors mit Kreisbogenschaukeln (radial endend, Anstellwinkel $\delta = 55^\circ$, neun Schaufeln [10]) in einem vergleichbaren Gehäuse läßt erkennen, daß im gesamten Bereich größere Kennwerte erreicht werden. Außerdem ist keine Instabilität vorhanden, obwohl der Druckzuwachs im unteren Drosselbereich minimal ist. Alle Kennlinien zeigen, daß große Luftgeschwindigkeiten erreicht werden, solange nur ein geringer Gegendruck vorhanden ist.

Wird der Luftströmung eine Materialbewegung im Rotor und Ausblas überlagert, so wird die Luftförderung beeinflusst.

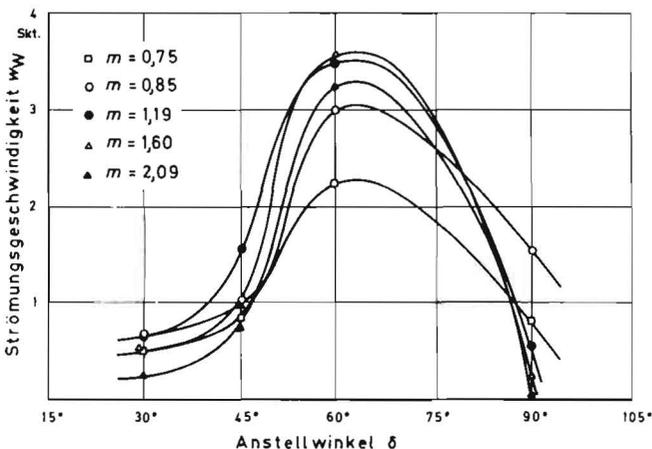


Bild 5: Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel für verschiedene Öffnungsverhältnisse (Modellversuch Flachwasserkanal)

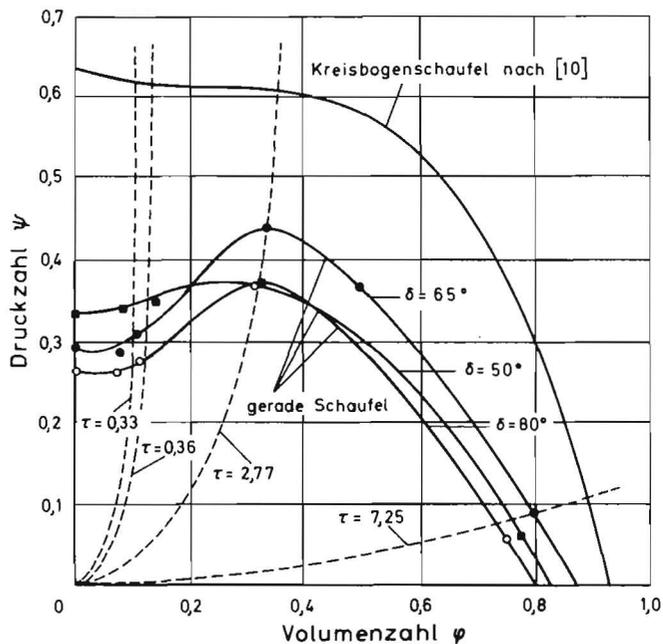


Bild 6: Kennlinien von Gebläsen mit geraden Schaufeln und mit Kreisbogenschaukeln

$$(\psi = 2 \Delta p_{stat} / \rho u^2, \varphi = w_2 / u, \tau = \psi^2 / \varphi \text{ nach [6]})$$

Die Druckzahl ψ ist das Verhältnis des statischen Druckzuwachses Δp zum theoretischen Staudruck $\rho \cdot u^2/2$ aus Umfangsgeschwindigkeit u der Schaufeln und Dichte ρ des Mediums. Die Volumenzahl φ ist das Verhältnis der mittleren Luftgeschwindigkeit w_2 zur Umfangsgeschwindigkeit u . Die Drosselzahl τ stellt somit das Verhältnis der kinetischen Energie zur statischen Druckzunahme eines Ventilators dar

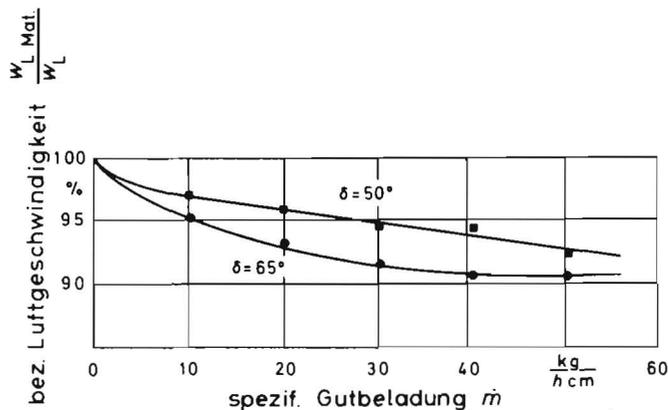


Bild 7: Mittlere Luftgeschwindigkeit $w_{L,Mat}$ in Abhängigkeit von der spezifischen Materialbelastung bei verschiedenen Anstellwinkeln, bezogen auf die Luftgeschwindigkeit w_L ohne Materialförderung

Dieses konnte festgestellt werden, indem gehäckseltes Gut (Stroh mit Feuchtigkeitsgehalt 12% und Häcksellänge 8 mm) dem Versuchsgebläse zugeführt und das Auslaßprofil gemessen wurde. Die Ergebnisse zeigen eine Abnahme der mittleren Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der auf die Rotorbreite bezogenen Gutbelastung. Es wurde etwa 10% Abnahme bei einer spezifischen Gutbelastung von 50 kg/h cm festgestellt (Bild 7). Diese geringe Reduzierung der Luftgeschwindigkeit ist dadurch zu erklären, daß das vorgeschittene Material durch den Stoß beim Eintritt in den Schaufelkranz im Rotor in Bereiche kleiner Geschwindigkeit gelenkt und damit die innere Durchströmung nur wenig gestört wird. Das Profil der Luftströmung im Auslaß wird dabei nicht wesentlich beeinflusst.

4. Zusammenfassung

Untersuchungen an Messertrommeln mit Querdurchströmung haben ergeben, daß die Innendurchströmung der Rotoren

und die Kennlinien eine starke Abhängigkeit von der Schaufelform zeigen. Hierbei ist die Förderwirkung einer Kreisbogenschaukel besser als die einer geraden Schaufel.

Durch die Überlagerung einer Materialbewegung wird infolge Störung der Innendurchströmung die Luftgeschwindigkeit reduziert. Die Störung ist davon abhängig, welchen Weg das Material innerhalb des Rotors nimmt. Durch die Form der Schaufel und durch die Lage der Schnittkante sollte versucht werden, das Material in Zonen kleiner Luftgeschwindigkeiten zu führen, um die Störung der Innendurchströmung und damit die Verringerung der mittleren Luftgeschwindigkeit im Ausblas klein zu halten.

Die Geschwindigkeit des Materials im Ausblasrohr wirkt außerdem auf die Luftgeschwindigkeit ein. Während eine Materialgeschwindigkeit, welche größer ist als die Luftgeschwindigkeit, die Luft beschleunigt, wird eine kleinere Materialgeschwindigkeit die Luftgeschwindigkeit verringern. Der Gleichgewichtszustand ist abhängig von dem vorhan-

denen statischen Druck und der Größe und Art der Materialbelastung.

Schrifttum

- [1] ORTH, H. W.: Die Beschleunigung des Gutes durch das Werkzeug bei Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen. Landtechn. Forschung 18 (1970) S. 169—174
- [2] KROMER, K. H.: Untersuchungen am Trommelfeldhäcksler unter besonderer Berücksichtigung der Materialförderung in und nach Schneid-Wurf-Trommeln. Diss. T. H. München 1967
- [3] de FRIES, I. R.: 66 Jahre Querstromventilator. VDI-Berichte (1959) S. 75—86
- [4] ECK, B.: Ventilatoren. Springer-Verlag, Berlin 1962
- [5] ILBERG, H. u. SADEK, W. Z.: Flow Theory and Performance of Tangential Fans. Institution of Mech. Engineers Proceedings 1966 S. 1—11
- [6] ENGELHARDT, W.: Experimentelle Untersuchungen an Querstromgebläsen bei veränderlichen Re-Zahlen. Diss. T. U. Karlsruhe 1967
- [7] FINKBEINER, Th.: Untersuchungen an Mährescher-Reinigungsgebläsen. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 96—99
- [8] QUICK, G. R.: On the Use of Cross-Flow Fans in Grain Harvesting Machinery. ASAE-Paper No. 69—623
- [9] SCHOLZ, N.: Aerodynamik der Schaufelgitter. Bd. 1, Verlag Braun, Karlsruhe 1965
- [10] MEIER, H.: Grundlagenversuche Reinigung. Versuchsbericht Masch. Fabr. Fahr AG Nr. 64/11 (unveröffentlicht)

Die Zuordnung von Werkzeug- und Gutbewegung bei Arbeitsmaschinen mit umlaufenden Werkzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Scheibenmäherkes

Horst Erbelding

Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Braunschweig-Völkenrode

1. Einleitung

Umlaufende Werkzeuge, die quer zu ihrer Drehachse mit dem zu bearbeitenden Gut beaufschlagt werden, finden in den verschiedenen Bereichen der Landtechnik für viele Zwecke Anwendung. So arbeiten nach diesem Funktionsprinzip beispielsweise die Messertrommel des Exakthäckslers, die Schlegeltrommel des Schlegelmähers beziehungsweise des Schlegelhäckslers, die Dreschtrommel, das Schneidwerk des Rotationsmähers oder auch die rotierenden Arbeitsorgane vieler Heuwerbungs- und Bodenbearbeitungsmaschinen.

Arbeitserfolg, Werkzeugbeanspruchung und Beeinflussung der Gutbewegung durch das Werkzeug hängen in hohem Maße von der Zuordnung der Bewegungsbahnen von Werkzeug und Gut wie auch von Betrag und Richtung der zwischen Werkzeug und Gut auftretenden Geschwindigkeit ab. Beschreibt die Arbeitskante des umlaufenden Werkzeuges eine Zylinderfläche, so wird die je Zeiteinheit bearbeitete Gutmasse von der mit dem Drehwinkel des Werkzeuges veränderten Zuordnung von Werkzeug und Gut bestimmt. Während der Eingriffszeit verändern sich Betrag und Richtung der Werkzeuggeschwindigkeit gegenüber dem Gut ständig. Sie beeinflussen in der Regel entscheidend Trenn- und Zerkleinerungsvorgänge wie auch die daraus erwachsende Bewegung des getrennten Gutes. Durchläuft die Arbeitskante eines Werkzeuges dagegen eine ebene Ringfläche beziehungsweise einen flachen Kreiskegel, wie dies zum Beispiel bei Scheibenmäherkes oder auch bei verschiedenen Heuwerbungsmaschinen der Fall ist, dann interessiert darüber hinaus die von den genannten Größen abhängige Eingriffstiefe des einzelnen Werkzeuges. Die Kenntnis der kinematischen Zusammenhänge erlaubt Rückschlüsse auf die notwendige Werkzeugzahl wie auch auf die beanspruchungsgerechte Gestaltung und Anordnung der Werkzeuge.

Die Überlagerung rotatorischer und translatorischer Bewegung wurde von verschiedenen Autoren an Hand der

speziellen Fragestellung einzelner Geräte aus den landtechnischen Bereichen Getreideernte [1], Futterernte [2; 3; 4] und Boden [5; 6] bearbeitet, wobei teilweise Vereinfachungen eingeführt beziehungsweise Aussagen nur für spezielle diskrete Randbedingungen ermittelt wurden. Mit der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, die kinematischen Zusammenhänge in allgemeingültiger Form aufzuzeigen und die gewonnenen Aussagen einer einfachen Nutzenanwendung zugänglich zu machen.

2. Theoretische Zusammenhänge

Für eine grundsätzliche Betrachtung der Bewegungsverhältnisse wird davon ausgegangen, daß der Rotationsbewegung eines Werkzeuges um den Mittelpunkt M eine translatorische Bewegung des Gutes in derselben Bewegungsebene überlagert wird. Hierbei ist es zunächst ohne Bedeutung, ob man alle Größen auf einen ortsfesten Drehmittelpunkt der Werkzeugbewegung, zu dem das Gut hinbewegt wird, bezieht (relatives Bezugssystem, Bild 1a) oder ob man das Gut als ortsfest betrachtet und die Linearbewegung dem Drehmittelpunkt zuordnet (absolutes Bezugssystem, Bild 1b). Da im späteren Verlauf dieser Arbeit auf die kine-

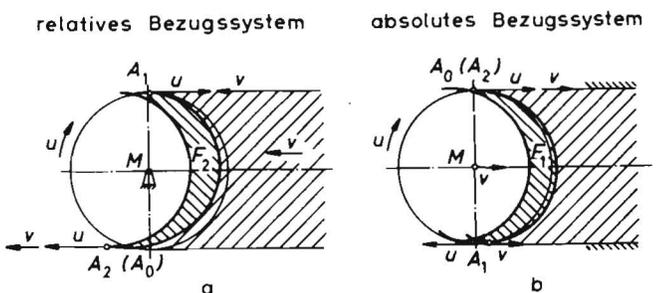


Bild 1: Bezugssysteme der Werkzeugführung
a Drehmittelpunkt M der Werkzeugbewegung ortsfest, Gut bewegt
b Drehmittelpunkt M der Werkzeugbewegung bewegt, Gut ortsfest