

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-

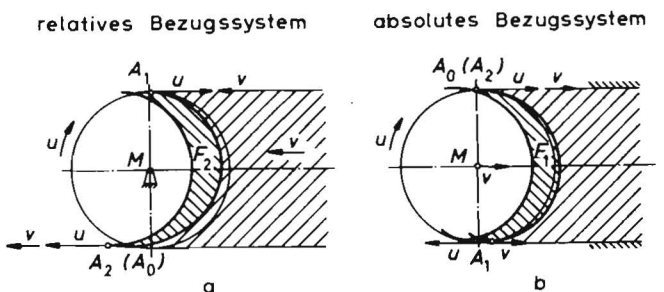


Bild 1: Bezugssysteme der Werkzeugführung  
a Drehmittelpunkt M der Werkzeugbewegung ortsfest, Gut bewegt  
b Drehmittelpunkt M der Werkzeugbewegung bewegt, Gut ortsfest

matischen Funktionsmerkmale von Scheibenmähern näher eingegangen werden soll, wird für die Ableitung der allgemeingültigen Zusammenhänge das Absolutsystem gewählt. Diese Festlegung beeinträchtigt die Übertragbarkeit der Ergebnisse in keiner Weise, da einer Werkzeuglage  $A_0$  im Absolutsystem eine um  $180^\circ$  gedrehte Lage  $A_2$  im Relativsystem gleichwertig ist. Ein Vergleich von Bild 1a und Bild 1b zeigt anschaulich diese komplementäre Anordnung der Punkte  $A_0, A_2$  beziehungsweise  $A_1$ .

### 2.1. Bahnkurve eines Werkzeugpunktes und Betrag seiner Absolutgeschwindigkeit

Bei Überlagerung von Rotations- und Translationsbewegung eines Werkzeugpunktes A stellt dessen Bahnkurve in einem ortsfesten Bezugssystem eine Zykloide dar mit den folgenden Bestimmungsgrößen (Bild 2): Abstand  $R$  des Werkzeugpunktes A von seinem Drehpunkt M (die Indizes von A kennzeichnen die zeitlich aufeinanderfolgenden Positionen des Werkzeugpunktes), Rollradius  $r$  der Zykloide, Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  des Punktes A beziehungsweise Drehwinkel  $\varphi = \omega t$ . Aus der Umfangsgeschwindigkeit  $\vec{u} = R\omega$  des Punktes A und der Vorschubgeschwindigkeit  $\vec{v} = r\omega$  bestimmen sich die Koordinaten des laufenden Zykloidenpunktes A zu

$$x_A = R \sin \omega t + r\omega t \quad (1a)$$

$$y_A = R \cos \omega t \quad (1b)$$

Der Betrag der Absolutgeschwindigkeit  $\vec{w}$  ergibt sich aus der vektoriellen Addition von Umfangsgeschwindigkeit  $\vec{u}$  und Translationsgeschwindigkeit  $\vec{v}$  nach Differentiation der Gleichungen (1a) und (1b) zu

$$|\vec{w}| = |\vec{u} + \vec{v}| = R\omega \sqrt{1 + 2k \cos \omega t + k^2} \quad (2)$$

Der Betrag von  $\vec{w}$  schwankt in dem Bereich

$$|\vec{u}| + |\vec{v}| \geq |\vec{w}| \geq |\vec{u}| - |\vec{v}|$$

wobei die Extremwerte jeweils bei den periodisch wiederkehrenden Drehwinkeln  $\varphi = n \cdot \pi$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ), und zwar für gerades  $n$  als Maximum und für ungerades  $n$  als Minimum auftreten.

Die Charakterisierung einer Zykloide erfolgt durch die Kenngröße  $k$ . Sie ist durch das Verhältnis von Umfangs- und Vorschubgeschwindigkeit  $k = v/u$  oder das gleichwertige Verhältnis der Radien  $k = r/R$  definiert.

Für  $k < 1$  entsteht eine „verlängerte“ Zykloide (Bild 3a) [7]. Der die Zykloide erzeugende Werkzeugpunkt durch-

#### Verwendete Formelzeichen

- $i$  Anzahl der Werkzeuge je Umfang
- $k$  Zykloidenkennwert  $k = \frac{r}{R}$
- $l$  Eingriffslänge eines Werkzeuges
- $n$  ganze reelle Zahl
- $r$  Rollradius der Zykloide
- $R$  Radius eines Zykloidenpunktes (Werkzeugaußenkante)
- $s$  Vorschubstrecke
- $t$  Zeitkoordinate
- $u$  Umfangsgeschwindigkeit
- $v$  Vorschubgeschwindigkeit
- $w$  Absolutgeschwindigkeit des Zykloidenpunktes
- $x$  Koordinate im karthesischen System
- $y$  Koordinate im karthesischen System
- $\alpha$  Winkel zwischen den Richtungen der Vektoren  $\vec{w}$  und  $\vec{v}$
- $\beta$  Winkel zwischen den Richtungen der Vektoren  $\vec{w}$  und  $\vec{u}$
- $\gamma$  Bezugswinkel (Hilfsgröße)
- $\delta$  Winkelabstand zwischen zwei Werkzeugen
- $\varphi$  Drehwinkel des Zykloidenpunktes
- $\lambda$  bezogene Werkzeuglänge  $\lambda = \frac{l}{R}$
- $\omega$  Winkelgeschwindigkeit von  $R$  und  $r$
- $\vec{\phantom{x}}$  Symbol für Vektor

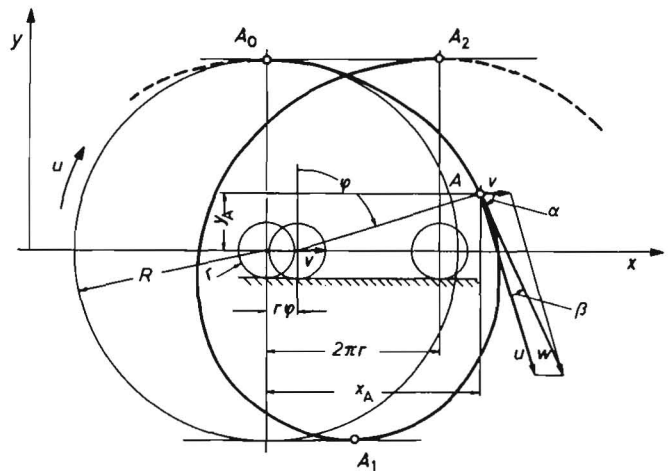


Bild 2: Bestimmungsgrößen, Bahnkurve und Geschwindigkeitsplan für eine Zykloide

läuft dabei eine verschlungene Bahnkurve. Mit jedem neuen Umlauf ergibt sich gegenüber dem vorausgegangenen eine teilweise Überdeckung der umschriebenen Flächen um die sichelförmigen Teilflächen  $F_1$  und  $F_2$ . Als Hüllkurven aller umschriebenen Flächen können zwei parallele Geraden  $g_1$  und  $g_2$  gezeichnet werden. Die verbleibenden Fehlflächen sind vernachlässigbar klein. Der Betrag der Absolutgeschwindigkeit des Zykloidenpunktes schwankt aufgrund des kleinen  $k$ -Wertes nur geringfügig.

Für  $k = 1$  entsteht die „gewöhnliche“ (Bild 2b) und für  $k > 1$  die „verkürzte“ Zykloide (Bild 2c) [7]. Beide Zykloiden sind durch eine langgestreckte Bahnkurve ohne Schleifenbildung gekennzeichnet. Eine Bearbeitung geschlossener, geradlinig begrenzter Flächen kann mit derart geführten Werkzeugen nicht mehr durchgeführt werden. Für die Praxis sind daher nur Bahnkurven mit  $k < 1$  bis  $k \ll 1$  geeignet. Die weiteren Ausführungen werden auf diesen  $k$ -Bereich beschränkt.

### 2.2. Richtung der Absolutgeschwindigkeit

Für eine Beurteilung der Werkzeugfunktion ist die Richtung der Werkzeuggeschwindigkeit von besonderem Interesse. Diese kann sowohl durch den Winkel  $\alpha$  (Bild 2), der auf die Richtung der Translationsgeschwindigkeit  $\vec{v}$ , wie durch den Winkel  $\beta$ , der auf die Richtung der Umfangsgeschwindigkeit  $\vec{u}$  bezogen ist, ausgedrückt werden. Die jeweiligen Winkelwerte lassen sich nach den Beziehungen

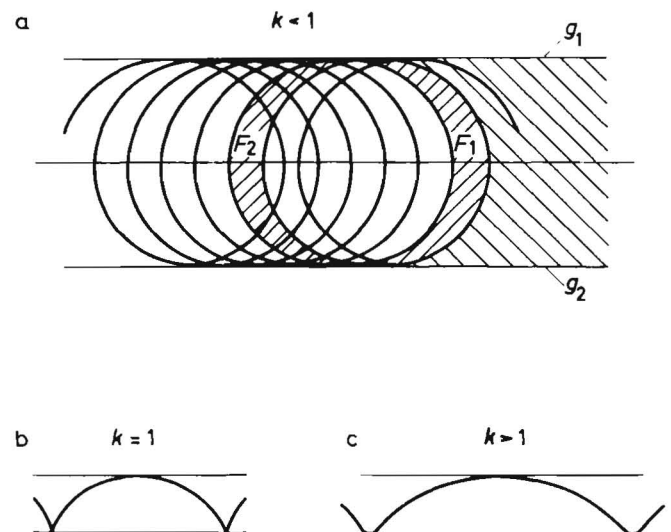


Bild 3: Typen von Zykloiden  
a verlängerte Zykloide  $k < 1$   
b gewöhnliche Zykloide  $k = 1$   
c verkürzte Zykloide  $k > 1$

$$\alpha = \arcsin \frac{\sin \omega t}{\sqrt{1 + 2k \cos \omega t + k^2}} \quad (3)$$

$$\beta = \arctg \frac{k \sin \omega t}{1 + k \cos \omega t} \quad (4)$$

berechnen. Die maximale Abweichung  $\beta_{\max}$  von der Richtung der Umfangsgeschwindigkeit erhält man aus

$$\beta_{\max} = \arctg \frac{k}{\sqrt{1 - k^2}} \quad (5)$$

Sie tritt bei einem vollen Umlauf jeweils zweimal in symmetrischer Lage zur  $y$ -Achse bei den Werten

$$\varphi_{\beta_{\max}} = \arccos(-k) \quad (6)$$

auf. Die Abhängigkeit der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  vom Drehwinkel  $\varphi$ , entsprechend Gleichung (3) und (4), sowie die Lage der Extremwerte nach Gleichung (6) sind in Bild 4 dargestellt. Für  $k = 0$ , das heißt für eine reine Kreisbewegung, sind die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  identisch. Für die Drehlagen zwischen  $\varphi = 0^\circ$  und  $\varphi = 180^\circ$  wird für  $k \neq 0$  immer  $\alpha < \varphi$ , wobei bezogen auf den gleichen Drehwinkel  $\varphi$  der Richtungswinkel  $\alpha$  mit steigenden  $k$ -Werten stetig abnimmt. Die Richtungsabweichung  $\beta = f(\varphi)$  der Absolutgeschwindigkeit  $\vec{w}$  von der Umfangsgeschwindigkeit  $\vec{u}$  hat sinusähnlichen Verlauf. Für steigende  $k$ -Werte nimmt bei  $\varphi = \text{const}$  der Betrag von  $\beta$  zu, und die Drehlage  $\varphi_{\beta_{\max}}$  der maximalen Abweichung verschiebt sich, ausgehend von  $\varphi = 90^\circ$  für  $k = 0$ , zu höheren Drehwinkeln.

Für die Werkzeuglagen  $180^\circ < \varphi < 360^\circ$  entspricht sowohl die Abhängigkeit  $\alpha = f(\varphi)$  nach Gleichung (3) wie  $\beta = f(\varphi)$  nach Gleichung (4) einer drehsymmetrischen Darstellung von Bild 4. Aufgrund der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Gut sind die im Absolutsystem abgeleiteten und für die Drehwinkel zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  relevanten Zusammenhänge in gleicher Weise für das Relativsystem — ortsfester Werkzeugdrehpunkte und bewegtes Gut — gültig, wenn die entsprechenden Drehwinkel zwischen  $180^\circ$  und  $360^\circ$  herangezogen werden.

### 2.3. Eingriffslänge des Werkzeuges

Der Zykloidenpunkt A, dem die äußerste Begrenzung eines Werkzeuges entspricht, rückt bei jedem Umlauf um einen Betrag  $2r\pi$  in Richtung der Translationsbewegung vor, so daß sich gegenüber dem vorangegangenen Bahnlauf eine Überdeckung um die Flächen  $F_1$  beziehungsweise  $F_2$  ergibt (Bild 3a). Befinden sich jedoch  $i$  Werkzeuge mit gleichem

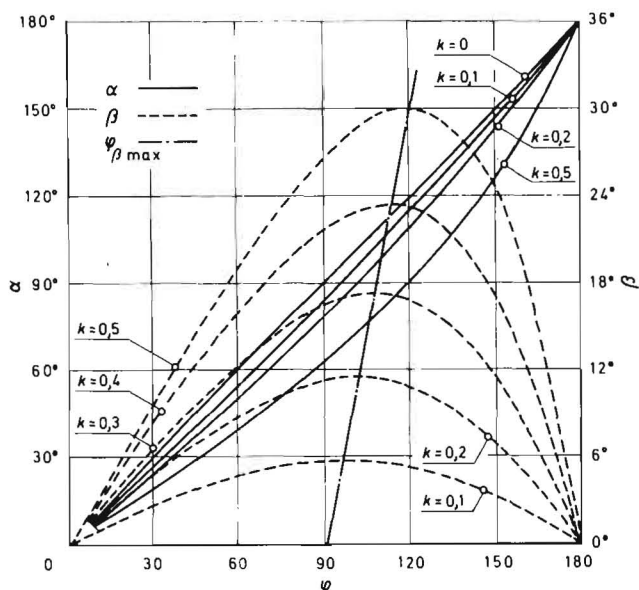


Bild 4: Richtung der Absolutgeschwindigkeit  $w$  (nach Bild 2)

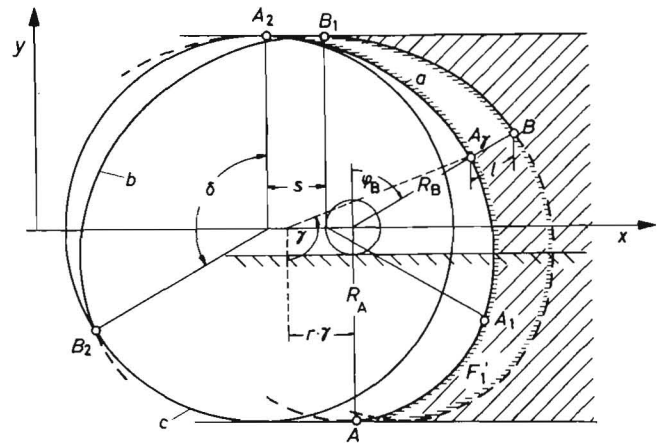


Bild 5: Bestimmungsgrößen für die Ermittlung der Eingriffslänge  $l$  eines Werkzeuges

Abstand im Umlauf, dann überdecken sich jeweils zwei aufeinanderfolgende Bahnkurven a und b, die von den Punkten A und B zweier benachbarter Werkzeuge beschrieben werden, um die Fläche  $F_{1,2} = \frac{F_{1,2}}{i}$  (Bild 5). Unter der Eingriffslänge  $l$  wird der von zwei aufeinanderfolgenden Zykloiden a und b begrenzte Abschnitt des Radiusvektors  $R_B$  verstanden. Dieser Vektor steht nicht in einem rechten Winkel zur Richtung der Zykloidenbahn. Daraus folgt, daß der Maximalwert  $l_{\max}$  der veränderlichen Eingriffslänge größer ist als die Vorschubstrecke  $s = \frac{2r\pi}{i}$  während eines

Umlaufes. Vorschubgeschwindigkeit, Eingriffslänge und erforderliche Werkzeuglänge stehen damit in einem durch die Bestimmungsgrößen der Zykloide definierten Zusammenhang.

Zur Bestimmung der Eingriffslänge  $l$  als Funktion des Drehwinkels  $\varphi$  sind die Koordinaten der Punkte  $A_\gamma$  beziehungsweise B erforderlich. Die Lage des Punktes B ist durch den Drehwinkel  $\varphi_B$  gekennzeichnet. Die noch unbekanntes Koordinaten des Punktes  $A_\gamma$  müssen sowohl die Gleichung der Zykloidenkurve a wie auch die des Radiusvektors  $R_B$  erfüllen, dessen Gleichung lautet

$$y - \text{ctg } \varphi (x + Rk\varphi) = 0 \quad (7)$$

Die Drehlage des Punktes A eilt gegenüber dem Punkt B um eine Phasenverschiebung von  $\delta = \frac{2\pi}{i}$  voraus. Aus dieser

Lage muß der Radiusvektor  $R_A$  in Gedanken um einen noch unbekanntes Winkel  $\gamma$  soweit zurückgedreht werden, bis er den Radiusvektor  $R_B$  in  $A_\gamma$  schneidet. Damit lauten die Koordinaten von  $A_\gamma$

$$x_{A_\gamma} = R \sin \left( \varphi + \frac{2\pi}{i} - \gamma \right) + r(\varphi - \gamma) \quad (8a)$$

$$y_{A_\gamma} = R \cos \left( \varphi + \frac{2\pi}{i} - \gamma \right) \quad (8b)$$

Durch Einsetzen dieser Koordinaten in die Gleichung (7) des Radiusvektors  $R_B$  erhält man die Gleichung

$$\cos \left( \varphi + \frac{2\pi}{i} - \gamma \right) + \text{ctg } \varphi \left[ k - \sin \left( \varphi + \frac{2\pi}{i} - \gamma \right) \right] = 0 \quad (9)$$

aus der für vorgegebene Werte von  $\varphi$ ,  $k$  und  $i$  der Winkel  $\gamma$  berechnet werden kann. Ein bestimmter  $\gamma$ -Wert mit seinen zugeordneten Randbedingungen, in den Gleichungen (8a) und (8b) eingesetzt, führt zu den gesuchten Koordinaten des Punktes  $A_\gamma$ . Die Eingriffslänge  $l = f(\varphi, k, i)$  läßt sich nun berechnen zu

$$l = \sqrt{(dx_{A_\gamma, B})^2 + (dy_{A_\gamma, B})^2} \quad (10)$$

Die Ergebnisse sind übersichtlich darzustellen, wenn die Eingriffslänge  $l$  auf den Werkzeugradius  $R$  bezogen und somit als dimensionslose Größe  $\lambda = l/R$  bestimmt wird.

$$\lambda = l/R = \sqrt{2 \left[ 1 + k \gamma \left( \sin \varphi - \sin \left( \varphi + \frac{2\pi}{i} - \gamma \right) - \cos \left( \gamma - \frac{2\pi}{i} \right) \right] + (k \gamma)^2} \quad (11)$$

Die Gleichung (9) enthält die gesuchte Hilfsgröße  $\gamma$  in trigonometrischer und algebraischer Verknüpfung. Hierdurch ist ihre explizite Lösung nach  $\gamma$  nicht mehr möglich. Mit Hilfe einer digitalen Rechanlage wurde in einem Näherungsverfahren der gesamte Rechengang für die gewünschten Parameterbereiche durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Bild 6 dargestellt. Über dem Drehwinkel  $\varphi$  ist die Größe  $\lambda = l/R$  mit dem Parameter  $k$  als Kurvenschar aufgetragen. Die Anzahl  $i$  der Werkzeuge variiert von Bild zu Bild. Die Kurven  $\lambda = f(\varphi, k, i)$  weisen eine von der Größe  $k$  abhängige Abweichung der Nulldurchgänge von den Werten  $\varphi = 0, 180^\circ, 360^\circ$  auf.

Die Werte von  $\lambda$  wachsen mit steigenden  $k$ -Werten an und nehmen mit steigender Werkzeugzahl  $i$  ab. Die Drehlagen der zwei Maximalwerte  $\lambda_{\max}$  verschieben sich beide mit wachsenden  $k$ -Werten, ausgehend von dem  $k = 0$  zugeordneten Winkel  $\varphi = 90^\circ$  beziehungsweise  $\varphi = 270^\circ$ , in Richtung  $\varphi = 180^\circ$ . Dies zeigt, daß die maximale Eingriffslänge eines Werkzeuges im Absolutsystem bei wachsenden Drehwinkeln und im Relativsystem bei abnehmenden Drehwinkeln erreicht wird. Mit Hilfe des Bildes 6 ist es möglich, die Eingriffslänge für eine Vielzahl von Kombinationen der Parameter  $\varphi, k$  und  $i$  zu bestimmen.

### 3. Anwendung der Theorie auf den Scheibenmäher

#### 3.1. Werkzeuggeschwindigkeit und maximale Eingriffslänge

Der Scheibenmäher arbeitet nach dem Freischnittverfahren. Zur Sicherung der Trennfunktion darf die Werkzeuggeschwindigkeit nicht unter einen bestimmten Betrag abfallen und sollte im Hinblick auf gleichmäßige Stoppelhöhe keinen

Schwankungen unterworfen sein. Beide Ziele lassen sich nur durch eine Zykloidenbahn mit sehr kleinem  $k$ -Wert realisieren.

Bei Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit taucht die Schneidkante des Trennwerkzeuges eines solchen Mähwerkes unterschiedlich tief in das zu mähende Gut ein. Die Eingriffslänge ergibt sich aus den in Abschnitt 2.3. dargelegten Beziehungen. Dabei bleibt bei ausreichender Werkzeuglänge und unter Voraussetzung einer konstanten Bestandsdichte die spezifische Schneidenbelastung — das ist die auf die Schneidkantenlänge bezogene Werkzeugkraft — trotz der veränderlichen Eingriffslänge konstant. Deshalb sind — abgesehen von den geringen Schwankungen der Absolutgeschwindigkeit — die Schnittbedingungen und auch die Arbeitsqualität immer gleich.

Die Beaufschlagung des Trennwerkzeuges erfolgt über die ganze Breite  $2R$  seiner Umlaufbahn. Somit ergibt sich die erforderliche Werkzeuglänge aus der während eines Umlaufes auftretenden maximalen Eingriffslänge  $l_{\max}$ . Aus Bild 6 wurden nun die Maximalwerte  $\lambda_{\max}$  der Funktionen  $\lambda = l/R = f(\varphi, i, k)$  ermittelt und in Bild 7 als Funktion  $\lambda_{\max} = f(k, i)$  dargestellt. Diese Abhängigkeit zeigt sich als Überlagerung einer Geraden mit einer sinusähnlichen Kurve sehr geringer Amplitude. Man kann daher mit hinreichender Genauigkeit die Ergebnisse als Geraden darstellen.

Dem Bild 7 läßt sich die erforderliche Werkzeuglänge für einen Scheibenmäher oder auch für andere über die volle Arbeitsbreite beaufschlagte Geräte als Funktion der Werkzeugzahl  $i$  und des Kennwertes  $k$  entnehmen. Hierzu ein Anwendungsbeispiel:

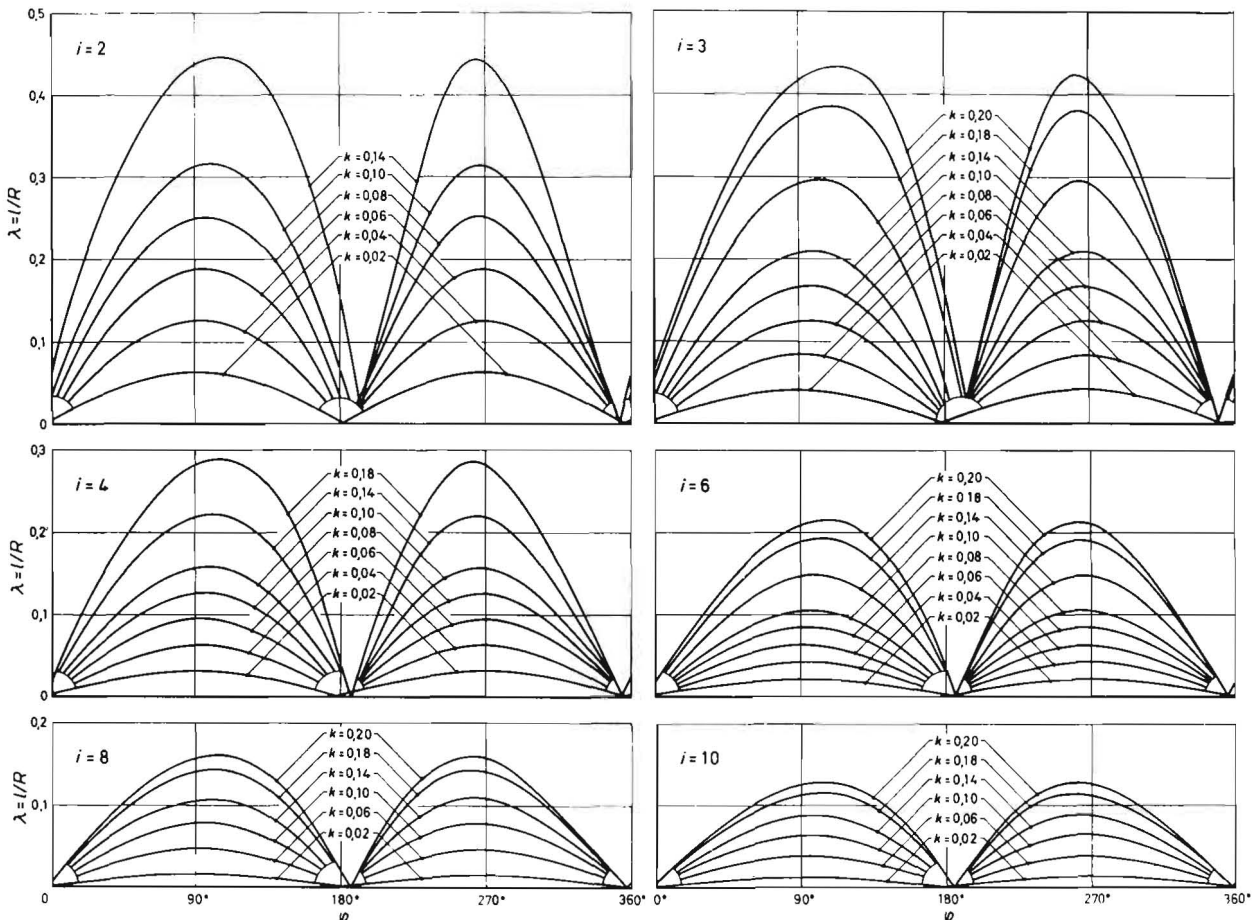


Bild 6: Abhängigkeit des Verhältnisses  $\lambda = l/R$  von Drehwinkel  $\varphi$ , Zykloidenkennwert  $k$  und von der Anzahl  $i$  der Werkzeuge

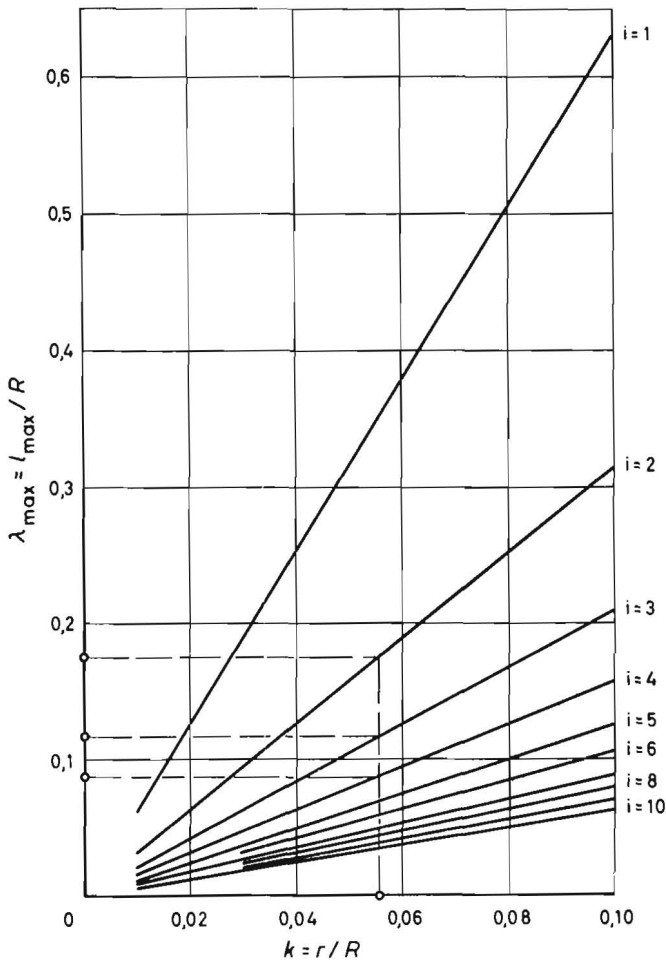


Bild 7: Abhängigkeit von  $\lambda_{\max} = l_{\max}/R$  vom Zykloidenkennwert  $k$  und von der Anzahl  $i$  der Werkzeuge

Für ein Scheibenmäherwerk seien vorgegeben: Werkzeugumfangsgeschwindigkeit  $u = 75$  m/s; Außenradius der Werkzeugbahn  $R = 0,4$  m; geforderte maximale Fahrgeschwindigkeit  $v = 15$  km/h. Es soll die erforderliche Messerlänge für 2, 3 und 4 Messer je Umfang bestimmt werden.

Mit dem Wert  $k = \frac{v}{u} = 0,0555$  ergeben sich nach Bild 7 folgende Werte:

Messerzahl $i$	[—]	2	3	4
Tabellenwert $\lambda_{\max}$	[—]	0,175	0,115	0,088
maximale Eingriffslänge $l_{\max}$	[cm]	7	4,6	3,4

Wird die errechnete maximale Eingriffslänge  $l_{\max}$  als freie Werkzeuglänge konstruktiv realisiert, so ergeben sich für alle Vorschubgeschwindigkeiten bis zu der geforderten Geschwindigkeit konstante spezifische Schneidenbelastungen und gleichartige Schnittbedingungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Durchsatz. Ein Trennen in einem Bereich oberhalb der vorgesehenen Geschwindigkeit ist möglich, aber durch Stauen und Abbiegen des Materials nur unter Einbußen bei Schnittqualität und Stoppellänge.

### 3.2. Materialfluß

Beim Mähen erteilt das Trennwerkzeug dem Halmgut Impulse, die das Gut in der Schnittzone in Richtung der Absolutgeschwindigkeit des Werkzeuges beschleunigen. Die während eines Umlaufes veränderliche Richtung der Werkzeuggeschwindigkeit  $w$  erzeugt aber nur dann eine nutzbringende Materialförderung, wenn sie ganz oder mit einer Komponente in Richtung des gewünschten Materialflusses, also entgegen der Vorschubrichtung, auftritt. Da im Bereich der maximalen Eingriffslänge auch die größte Gutmenge beschleunigt wird, ist im Hinblick auf einen guten Material-

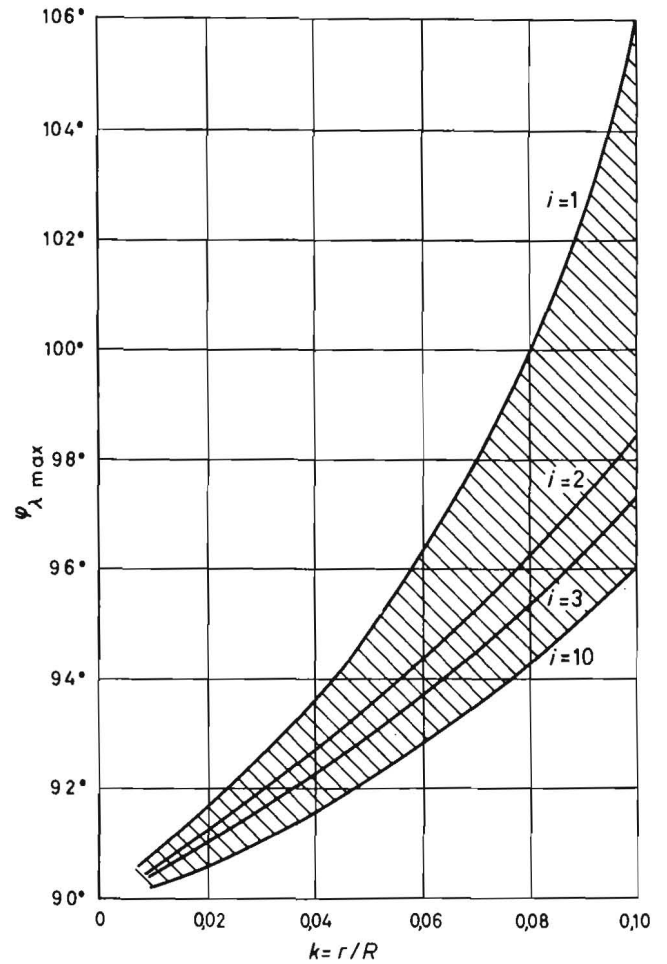


Bild 8: Drehlage des Werkzeuges bei maximaler Eingriffslänge als Funktion von Zykloidenkennwert  $k$  und Anzahl  $i$  der Werkzeuge

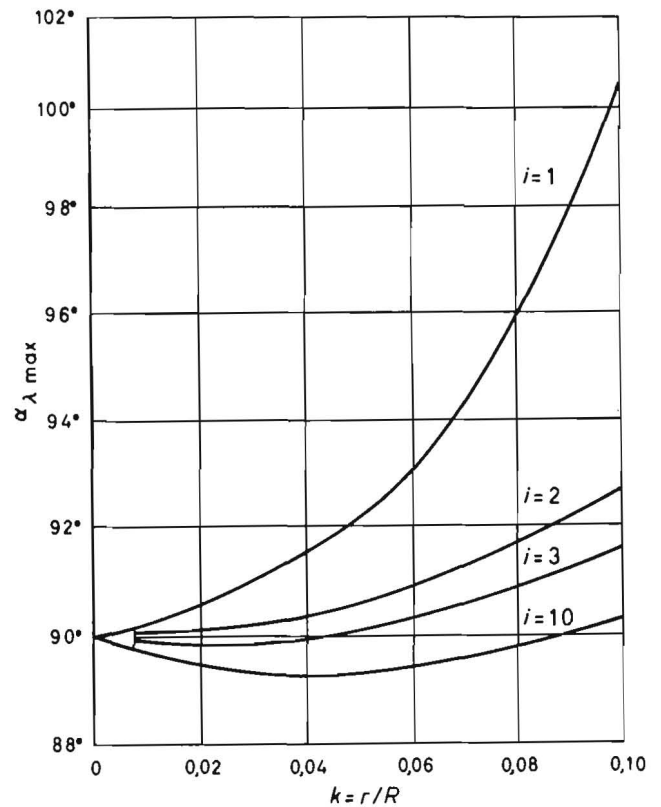


Bild 9: Richtung der Absolutgeschwindigkeit bei maximaler Eingriffslänge als Funktion von Zykloidenkennwert  $k$  und Anzahl  $i$  der Werkzeuge



fluß die Richtung der Absolutgeschwindigkeit für diesen Drehwinkel von besonderem Interesse.

Der gesuchte Winkel  $\alpha$  der Werkzeuggeschwindigkeit ist in allgemeingültiger Form durch Gleichung (3) und Bild 4 dargestellt. Eine Unterstützung des Materialflusses erfolgt, sobald der Winkel  $\alpha$  Werte über  $90^\circ$  annimmt. Wie Bild 4 zeigt, tritt bei größeren  $k$ -Werten, das heißt bei steigender Vorschubgeschwindigkeit, die Förderwirkung des Werkzeuges bei immer späteren Drehwinkeln ein.

Der Drehwinkel  $\varphi_{\lambda_{\max}}$  kann Bild 8, das die entsprechenden Winkelgrößen aus Bild 6 zusammengefaßt darstellt, entnommen werden. Die maximale Eingriffslänge ergibt sich hiernach bei Drehwinkeln  $\varphi \geq 90^\circ$ . Je geringer die Zahl der Werkzeuge ist, desto stärker verschiebt sich mit steigenden  $k$ -Werten die Lage der maximalen Eingriffslänge zu höheren Drehwinkeln.

Durch eine Koppelung der Aussagen von Bild 4 und Bild 8 erhält man die gesuchte Abhängigkeit  $\alpha_{\lambda_{\max}} = f(k, i)$  (Bild 9). Die Kurven zeigen, daß bei steigenden  $k$ -Werten der Materialfluß infolge Beschleunigung des Gutes durch das Werkzeug nur bei Verwendung von einem Werkzeug spürbar positiv beeinflusst wird, während sich bei mehreren Werkzeugen nur eine geringe positive, bereichsweise sogar eine negative Wirkung einstellt. Steigen die  $k$ -Werte aber weiter an, so müßte auch bei größerer Werkzeugzahl der Materialfluß besser werden. Da beim Scheibenmäher das Halmgut nur im Schnittbereich unmittelbar beschleunigt wird und der größte Teil der darüberliegenden Gutmasse unbeeinflusst bleibt, kann ein geordneter Materialfluß somit nicht allein aus den Wirkungen des Trennwerkzeuges erreicht werden. Daher erweist sich der gezielte Einsatz von geeigneten, über den ganzen Eingriffsbereich des Werkzeuges positiv wirkenden Förderelementen als notwendig.

#### 4. Zusammenfassung

Für umlaufende Werkzeuge, die quer zu ihrer Drehachse mit Gut beaufschlagt sind, werden die Zusammenhänge zwischen Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeuges, Vorschubgeschwindigkeit des Gutes und Relativgeschwindigkeit von Werkzeug und Gut aufgezeigt. Im Hinblick auf eine Beeinflussung des Gutstromes wird die mit dem Drehwinkel der Werkzeugbewegung veränderliche Richtung der Werkzeug-Relativgeschwindigkeit dargestellt. Eine aus der Zykloidentgleichung abgeleitete Beziehung gibt Aufschluß über die mit dem Drehwinkel veränderliche Eingriffslänge eines oder mehrerer über den Umfang gleichmäßig verteilter Werkzeuge.

Die zum Teil nur implizit gegebenen Funktionen werden in mehrparametrischen Diagrammen einer Anwendung zugänglich gemacht.

Die Ergebnisse werden auf die speziellen Gegebenheiten des Scheibenmähers angewendet und führen zu Aussagen über die erforderliche Werkzeuglänge und die für die Beurteilung der Förderwirkung wesentliche Winkellage der maximalen Eingriffslänge in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit und Zahl der Werkzeuge sowie der Vorschubgeschwindigkeit. Es wird nachgewiesen, daß bei Freischnittwerkzeugen infolge des sehr kleinen Verhältnisses von Vorschubgeschwindigkeit zu Werkzeuggeschwindigkeit die Schnittkräfte den Materialfluß nur in sehr geringem Maße unterstützen, so daß zusätzliche Maßnahmen zur Sicherung des Materialflusses notwendig sind.

#### Schrifttum

- [1] BAADER, W.: Der Einfluß der Beschickungsrichtung, der Lage des Beschickungspunktes zur Trommel und der Schlagleistenordnung auf den Dreschvorgang. In: *Grundl. d. Landtechnik*, Heft 21, 1964, S. 16—21
- [2] FOMIN, V. I.: Obosnovanie geometričeskich Parametrov rezuščego Apparata Segmento-Diskovogo Tipa. (Grundlagen der geometrischen Parameter für Scheibenwerkzeuge mit Segmenten). *Trudy Vischom* 39 (1962) S. 125—139

- [3] JASIK, K. und Z. MARTINI: Wpływ liczby ostrzy na warunki kinematyczne ciecicia w rotacyjnych kosiarkach poziomych. (Einfluß der Messerzahl auf die kinematischen Bedingungen des Schnittvorganges bei Scheibenmähern.) *Maszyny i ciagniki rolnicze* (1967) H. 7—8, S. 4—9
- [4] KÜHLBORN, H.: Betrachtungen über Häcksellängen und deren Zusammenhang mit dem erforderlichen Leistungsbedarf. *Das wirtschafts-eigene Futter* (1969) S. 69—83
- [5] SÖHNE, W. und R. THIEL: Technische Probleme bei Bodenfräsen. In: *Grundl. d. Landtechnik*, Heft 9, 1957, S. 39—49
- [6] SÖHNE, W.: Der Arbeitsvorgang bei der Drahtwälzgege. In: *Grundl. d. Landtechnik*, Heft 19, 1964, S. 65—66
- [7] BRONSTEIN-SEMENDJAJEW: *Taschenbuch der Mathematik*, 6. Auflage (1966)

## INHALT

HANS KÜHLBORN: Der Leistungsbedarf wichtiger Arbeitsmaschinen zur Halmfuttermittelgewinnung (Fortsetzung aus Heft 5) . . . . .	153
WOLFGANG BAADER: Die Beurteilung der Funktion von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen . . . . .	164
HANS WILHELM ORTH: Die Beschleunigung des Gutes durch das Werkzeug bei Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen . . . . .	169
HANS WILHELM ORTH: Untersuchungen über die Erzeugung von Luftströmungen in Messertrommeln zur Unterstützung der Materialförderung . . . . .	175
HORST ERBELDING: Die Zuordnung von Werkzeug- und Gutbewegung bei Arbeitsmaschinen mit umlaufenden Werkzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Scheibenmäherwerks . . . . .	178

#### Anschriften der Autoren

Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG BAADER, Direktor des Instituts für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 3301 Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50

Dipl.-Ing. HORST ERBELDING, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 3301 Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50 (Direktor: Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG BAADER)

Dr. HANS KÜHLBORN, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Betriebstechnik der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 3301 Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50 (Direktor: Prof. Dr. SYLVESTER ROSEGGER)

Dipl.-Ing. HANS WILHELM ORTH, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 3301 Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50 (Direktor: Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG BAADER)

#### Übersetzungen

JOSÉ ABEIJON, 532 Bad Godesberg, Hohenzollernstraße 14 (Spanisch)  
 HANS SCHWARZ, 6 Frankfurt am Main 1, Münchener Straße 7 (Englisch)  
 ANNELESE WEIMANN, 6 Frankfurt am Main, Feststraße 16 (Französisch)

Herausgeber: Landmaschinen- und Ackerschlepper-Vereinigung im VDMA, 6000 Frankfurt am Main-Niederrad, Lyonerstraße, Fernruf 6 60 31, Fernschreiber 04 11 321

Schriftleitung: Dipl.-Landw. W. R. Blum, Langenbieber-Fulda, Oberbaurat Dipl.-Ing. Alfred Schön, Bad Vilbel.

Verlag: Hellmut Neureuter Verlag, 8190 Wolfratshausen, Postfach 1349, Fernruf 08178/53 20, Fernschreiber 05 26 347. Erscheinungsweise: Sechsmal jährlich. Bezugspreis: Inland DM 75,— im Jahr, Ausland DM 80,— im Jahr, zuzüglich Versandkosten und Mehrwertsteuer. Bankkonten: Dresdner Bank, München Kto. 81660, Postscheck: München Kto. 83260. Anzeigen: U. Zangerle, Verlagsleitung: Th. Neureuter.

Druck: Verlag W. Sachon, Graphischer Betrieb, 8948 Mindelheim, Schloß Mindelburg.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten. Für Manuskripte, die uns eingesandt werden, erwerben wir das Verlagsrecht.