

Wurfbahnen von Einzelkörpern hinter Ausblaskrümmern

Von Hinrich Petersen, Braunschweig *)

DK 621.867:631.363

Die Wurfförderer haben neben den anderen Funktionen auch die Aufgabe, das Gut möglichst gleichmäßig und verlustfrei in die Transport- oder Lagerbehälter zu fördern. Aus dieser Sicht verdienen die Fördervorgänge im Häcksler und hinter dem Ausblas des Häckslers besondere Beachtung bei der Konstruktion. Eine hinreichend genaue Bestimmung der Wurfbahnen hinter dem Ausblas ist nur zu erreichen, wenn das Feld unterschiedlicher Luftgeschwindigkeit berücksichtigt wird.

1. Einleitung

Die Ermittlung der Wurfbahnen von Einzelkörpern und Gutströmen ist schon Gegenstand vieler Untersuchungen gewesen. Ihre Kenntnis ist von Bedeutung bei der Dimensionierung zahlreicher landwirtschaftlicher Maschinen z.B. von Bandschleudern, Wurfbändern, Düngerstreuern und Feldhäckslern. Grabenhorst [1] untersuchte die Wurfbahnen von Halmgut hinter Wurfbändern, vernachlässigte aber den Luftwiderstand. Berücksichtigt wurde dieser z.B. von Krombholz [2, 3], Mennel und Reece [4] und Keppler [5], die sich mit der Ermittlung von Wurfbahnen in ruhender Luft beschäftigten. Der Einfluß von Luftströmen konstanter Geschwindigkeit wurde z.B. von Patrin [6] und Müller und Wessel [7] in die Berechnung einbezogen.

Der vorliegende Beitrag behandelt das Problem der Wurfbahnen hinter dem Ausblaskrümmern von Wurfförderern und Feldhäckslern. Die Hauptaufgabe dieser Maschinen ist es - bei Feldhäckslern neben

dem Schneiden -, das Gut so zu fördern, daß eine möglichst gleichmäßige und vollständige Füllung der Transport- oder Lagerbehälter erreicht wird. Bei geringen Höhenunterschieden - teilweise weniger als 1 m - zwischen dem Ende des Auswurfkrümmers und der Gutoberfläche auf dem Wagen werden Wurfweiten bis zu 6 m verlangt. Beobachtungen in der Praxis zeigen, daß diese Aufgabe vielfach nicht gelöst wird und daß insbesondere feine Teilchen den Behälter nicht erreichen.

Erschwert wird die Lösung des Problems durch das Geschwindigkeitsfeld der Luft hinter dem Ausblaskrümmern, wie es bei Wurfförderern während des Betriebes immer vorhanden ist. Für die theoretische Klärung der Zusammenhänge zwischen Abwurfgeschwindigkeit (Geschwindigkeit des Gutes beim Verlassen des Auswurfkrümmers), Schwebegeschwindigkeit des Gutes und erreichbarer Wurfweite war es daher zunächst erforderlich, diese Luftgeschwindigkeitsfelder zu bestimmen.

2. Ermittlung des Luftgeschwindigkeitsfeldes

Das vom Feldhäcksler geförderte Luftvolumen hängt in erster Linie von dem Aufbau des eingebauten Wurfförderers ab. Scheibenradfeldhäcksler fördern besonders große Luftmengen im Vergleich mit Trommelfeldhäckslern, deren Luftförderung normalerweise gering ist. Für beide Bauarten wurden die Luftgeschwindigkeitsfelder ausgemessen. Dazu wurden die Feldhäcksler, um praxisnahe Verhältnisse zu erreichen, von einem Schlepper mit 540 U/min angetrieben. Die Daten der untersuchten Häcksler sind:

Scheibenradhäcksler

Scheibenraddurchmesser	$d_S = 1,16 \text{ m}$
Scheibenradrehzahl	$n_S = 470 \text{ U/min}$
Zahl der Schaufeln	$N_S = 6$
Grüngutdurchsatz	$\dot{m} = 20 \div 35 \text{ t/h}$

Trommelfäcksler

Trommeldurchmesser	$d_T = 0,61 \text{ m}$
Trommelbreite	$b_T = 0,45 \text{ m}$
Zahl der Messer	$N_M = 6$
Grüngutdurchsatz	$\dot{m} = 20 \text{ t/h}$

*) Dipl.-Ing. Hinrich Petersen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies).

Das Koordinatensystem wurde für die folgenden Betrachtungen so gewählt, daß der Nullpunkt mit der äußeren oberen Kante der Ausblasklappe, **Bild 1**, zusammenfällt und die x, y -Ebene die Symmetrieebene senkrecht durch den Ausblaskrümmter bildet. Außerdem wurde für die theoretische Ermittlung der Bahnkurven der Teilchen vereinfachend angenommen, daß bei einem Ausblasklappenwinkel $\alpha = 0$ (obere Kante der Ausblasklappe parallel zur horizontal verlaufenden x -Achse) die aufgrund der Luftstrahlausweitung in y -Richtung entstehenden Geschwindigkeitskomponenten im Verhältnis zu den Luftgeschwindigkeiten in x -Richtung vernachlässigbar klein sind und daß bei einem Ausblasklappenwinkel ungleich Null die Richtung der Luftgeschwindigkeit durch den Klappenwinkel angezeigt wird. **Bild 2** und **Bild 3** zeigen die gemessenen Luftgeschwindigkeitsfelder eines Scheibenrad- bzw. eines Trommelfeldhäckslers, dargestellt als Linien konstanter Geschwindigkeit im gewählten x, y -Koordinatensystem. Es sei vermerkt, daß diese Geschwindigkeitsfelder nicht unbedingt typisch zu sein brauchen für die Scheibenrad- bzw. Trommelbauweise. Sie gelten für die verwendeten Häcksler, und andere Häcksler können durch abweichende Geschwindigkeitsfelder aufweisen. In beiden Diagrammen fällt die leichte Neigung des Feldes in die positive y -Richtung auf. Diese Neigung ist zurückzuführen auf die Reflexion des Luftstrahles im Auswurfkrümmter und an der Ausblasklappe.

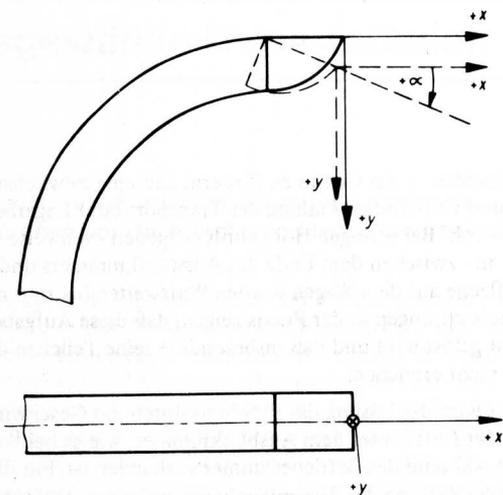


Bild 1. Auswurfkrümmter mit Koordinatenkreuz

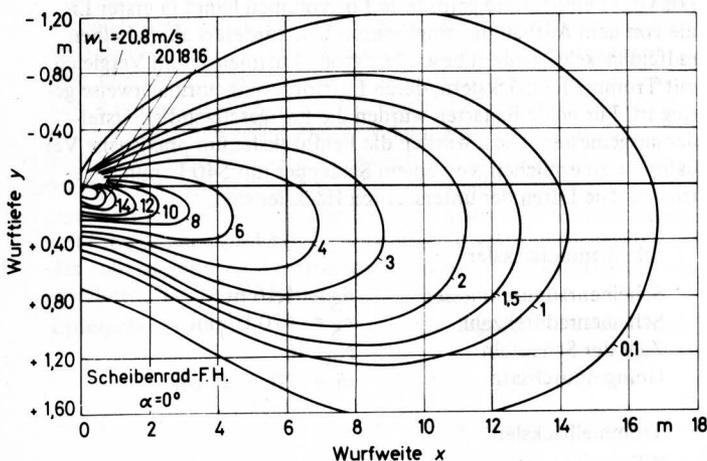


Bild 2. Geschwindigkeitsfeld eines Scheibenradfeldhäckslers, dargestellt durch Linien konstanter Luftgeschwindigkeit.

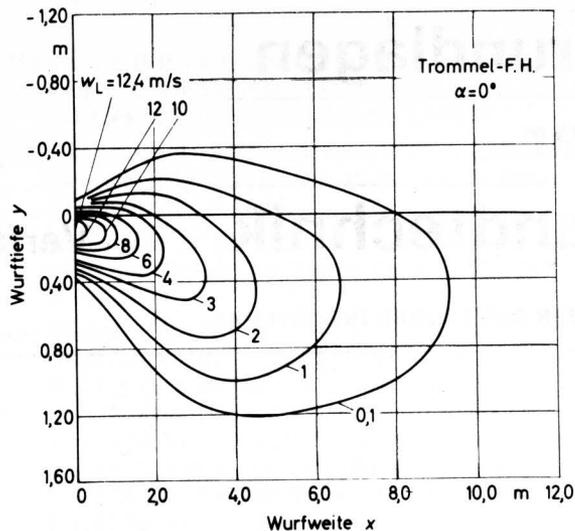


Bild 3. Geschwindigkeitsfeld eines Trommelfeldhäckslers, dargestellt durch Linien konstanter Luftgeschwindigkeit.

Für den Scheibenradfeldhäcksler sind außerdem in **Bild 4** die Luftgeschwindigkeitsfelder für zwei Klappenwinkel ungleich Null wiedergegeben. Es zeigt sich auch hier, daß aufgrund der Reflexion des Luftstrahles die Geschwindigkeitsfelder nicht symmetrisch zur Richtung der Ausblasklappe liegen, daß vielmehr bei aufwärts gerichtetem Ausblas das Geschwindigkeitsfeld in die positive y -Richtung, bei abwärts gerichtetem Ausblas in die negative y -Richtung ausweicht. Die effektive Ablenkung des Luftstrahles ist also geringer als die dem eingestellten Klappenwinkel entsprechende.

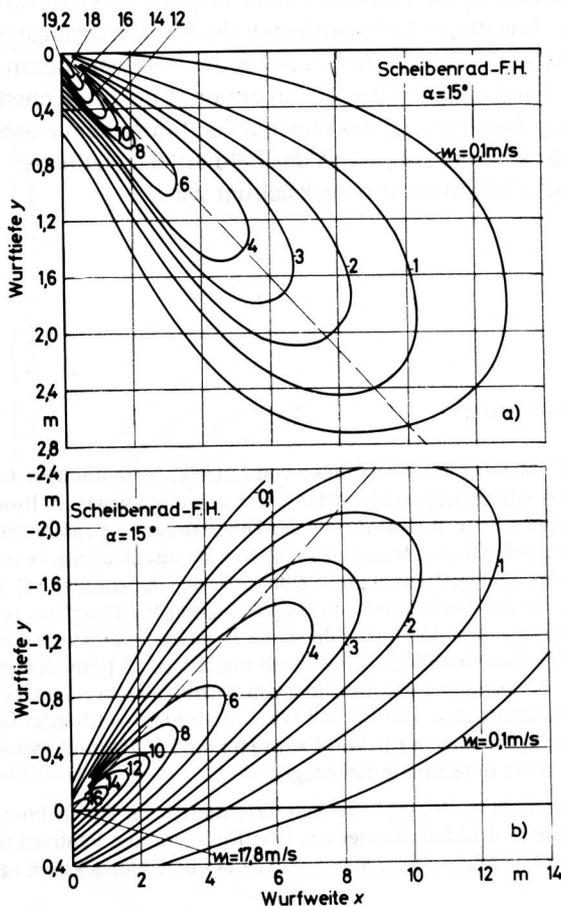


Bild 4. Geschwindigkeitsfelder eines Scheibenradfeldhäckslers
a) Ausblasrichtung abwärts ($\alpha = 15^\circ$),
b) Ausblasrichtung aufwärts ($\alpha = -15^\circ$).

Der experimentelle Weg zur Ermittlung der Geschwindigkeitsfelder erscheint mühsam, ist aber doch der einzige, um die wahren Verhältnisse hinter dem Ausblaskrümmer zu erhalten. Man könnte die Theorie des Freistrahls anwenden, doch würden dabei die konstruktiven Gegebenheiten des Ausblaskrümmer nicht berücksichtigt, die den Luftstrahl erheblich beeinflussen können.

3. Theoretische Bestimmung der Bahnkurven

Zur theoretischen Ermittlung der Bahnkurven wird die Bewegung in eine x- und eine y-Komponente aufgeteilt, wobei y und w_y in Richtung der Fallbeschleunigung positiv angesetzt werden. An den Teilchen sind nur die in Bild 5 angegebenen Schwer- und Strömungskräfte wirksam, so daß für den allgemeinen Fall ($a \neq 0$) die Bewegungsgleichungen leicht aufgestellt werden können:

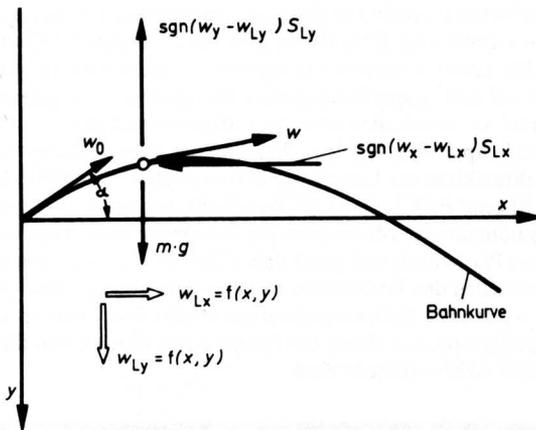


Bild 5. Bahnkurve eines Teilchens, angreifende Kräfte und Geschwindigkeiten.

x - Richtung:

$$m \frac{dw_x}{dt} = - \operatorname{sgn}(w_x - w_{Lx}) \cdot S_{Lx} \quad (1a)$$

y - Richtung:

$$m \frac{dw_y}{dt} = - \operatorname{sgn}(w_y - w_{Ly}) S_{Ly} + m \cdot g \quad (1b)$$

Hierin bedeuten m die Masse der Teilchen, w_x und w_y die Geschwindigkeit der Teilchen in x- bzw. y-Richtung, w_{Lx} und w_{Ly} die Geschwindigkeit der Luft am Ort der Teilchen und S_{Lx} und S_{Ly} die an den Teilchen angreifende Widerstandskraft. Da die Bewegung der Teilchen vorwiegend im Bereich größerer Relativgeschwindigkeiten ($w_{rel} > 1$ m/s) stattfindet, und somit für Teilchendurchmesser $d_k > 1$ mm die Reynolds-Zahl $Re > 60$ ist, wird für die Berechnung der Strömungskraft S_L das Newtonsche Widerstandsgesetz angewendet:

$$S_{Lx} = c_w \frac{\rho_L}{2} \cdot F_{sx} (w_x - w_{Lx})^2 \quad (2a)$$

bzw.

$$S_{Ly} = c_w \frac{\rho_L}{2} \cdot F_{sy} (w_y - w_{Ly})^2 \quad (2b)$$

wobei F_{sx} und F_{sy} die in x- bzw. y-Richtung angeströmten Flächen der Teilchen und ρ_L die Dichte der Luft bedeuten. Der Widerstandsbeiwert c_w , dessen Wahl im folgenden Abschnitt näher erläutert wird, ist außer von der Form und der Oberfläche der Teilchen von der Reynolds-Zahl abhängig.

3.1 Der Widerstandsbeiwert von Einzelkörpern

Bei der Lösung der Differentialgleichung (1) bereitet die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes von der Reynolds-Zahl Schwierigkeiten. Für die Einzelkugel zeigt v. Zabeltitz [8] einen Weg durch Annähern des c_w -Verlaufes mit Hilfe von solchen Funktionen, die noch eine geschlossene Lösung der Differentialgleichung erlauben. Einen einfacheren Weg gehen Bieß und Vieweg [9], die für bestimmte Bereiche der Reynolds-Zahl konstante c_w -Werte annehmen. Da aber nur für die Einzelkugel die Widerstandswerte genau bekannt sind, muß für das hier behandelte Halmgut der Widerstandsbeiwert experimentell ermittelt werden. Hierfür bietet sich die Schwebegeschwindigkeit w_s an, die sehr leicht bestimmt werden kann. Für den Zustand des Schwebens gilt, wenn man vom Auftrieb der Teilchen absieht:

$$m \cdot g = c_w \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot F_s \cdot w_s^2 \quad (3)$$

Mit dieser Gleichung läßt sich das halbe Produkt aus Widerstandsbeiwert c_w , Dichte der Luft ρ_L und der oft schwierig zu bestimmenden Anströmfläche F_s durch den Ausdruck $m \cdot g/w_s^2$ ersetzen und man erhält für die Strömungskraft:

$$S_L = \frac{m \cdot g}{w_s^2} (w - w_L)^2 \quad (4)$$

Es ist hier zu beachten, daß in der Schwebegeschwindigkeit der für den Schwebezustand gültige c_w -Wert enthalten ist und dieser damit für verschiedene Anströmgeschwindigkeiten ($w - w_L$) als konstant angenommen wird. Bei den in der Wurfförderung vorkommenden Geschwindigkeiten ist aber nach Gluth [10] der Fehler bei Verwendung von Gleichung (4) vernachlässigbar klein. Auch Krombholz [2, 3] findet eine gute Übereinstimmung dieser Näherung mit experimentellen Untersuchungen.

Somit ergeben sich mit Hilfe von Gleichung (4) folgende Bewegungsgleichungen:

x - Richtung:

$$\frac{dw_x}{dt} = - \operatorname{sgn}(w_x - w_{Lx}) \cdot \frac{g}{w_s^2} (w_x - w_{Lx})^2 \quad (5a)$$

y - Richtung:

$$\frac{dw_y}{dt} = - \operatorname{sgn}(w_y - w_{Ly}) \cdot \frac{g}{w_s^2} (w_y - w_{Ly})^2 + g \quad (5b)$$

Diese Gleichungen lassen sich durch zweimalige Integration geschlossen lösen.

3.2 Geschlossene Lösung

Wie bereits erwähnt, wird die Lösung erschwert durch die sich im Geschwindigkeitsfeld von Bahnkurvenpunkt zu Bahnkurvenpunkt ändernde Luftgeschwindigkeit. Das Problem läßt sich umgehen durch Aufteilen des Bewegungsablaufs in Abschnitte von genügend kleiner Dauer, in denen die Luftgeschwindigkeit als konstant angesehen werden kann. Wir betrachten für den allgemeinen Fall das Intervall i, k , in dem die Luftgeschwindigkeit w_{Li} im Punkt x_i, y_i der Bahnkurve wirksam sein soll. Außerdem seien der Bahnkurvenpunkt x_i, y_i und die Geschwindigkeiten w_{xi} und w_{yi} der Teilchen bereits ermittelt. Es sollen der nach einem Zeitabschnitt Δt erreichte neue Bahnkurvenpunkt x_k, y_k und die dort vorliegenden Geschwindigkeiten w_{xk} und w_{yk} berechnet werden.

3.2.1 x - Richtung

Es sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) $w_{xi} < w_{Lxi}$

Hier ergibt sich für die Geschwindigkeit w_{xk}

$$w_{xk} = w_{Lxi} + 1 / \left(\frac{1}{w_{xi} - w_{Lxi}} - \frac{g}{w_s^2} \cdot \Delta t \right) \quad (6)$$

und für die Koordinate x_k des Bahnenkurvenpunktes

$$x_k = x_i + w_{Lxi} \cdot \Delta t - \frac{w_s^2}{g} \ln \left[1 - \frac{g}{w_s^2} \Delta t (w_{xi} - w_{Lxi}) \right] \quad (7)$$

b) $w_{xi} > w_{Lxi}$

$$w_{xk} = w_{Lxi} + 1 / \left(\frac{1}{w_{xi} - w_{Lxi}} + \frac{g}{w_s^2} \cdot \Delta t \right) \quad (8)$$

$$x_k = x_i + w_{Lxi} \Delta t + \frac{w_s^2}{g} \ln \left[1 + \frac{g}{w_s^2} \Delta t (w_{xi} - w_{Lxi}) \right] \quad (9)$$

3.2.2 y - Richtung

Auch hier liegen zwei Fälle vor:

a) $w_{yi} < w_{Lyi}$

Die Lösungen lauten:

$$w_{yk} = w_{Lyi} + w_s \cdot \tan \left[\frac{g}{w_s} \Delta t + \arctan \frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} \right] \quad (10)$$

$$y_k = y_i + w_{Lyi} \Delta t - \frac{w_s^2}{g} \ln \left[\cos \frac{g}{w_s} \Delta t - \frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} \sin \frac{g}{w_s} \Delta t \right] \quad (11)$$

b) $w_{yi} > w_{Lyi}$

Für die Geschwindigkeit w_{yk} gibt es zwei Lösungen.

Falls $\frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} < 1$, dann ist

$$w_{yk} = w_{Lyi} + w_s \cdot \tanh \left[\frac{g}{w_s} \Delta t + \operatorname{artanh} \frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} \right] \quad (12 a)$$

und falls $\frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} > 1$, dann ergibt sich

$$w_{yk} = w_{Lyi} + w_s \operatorname{coth} \left[\frac{g}{w_s} \Delta t + \operatorname{arcoth} \frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} \right] \quad (12 b)$$

Für die Koordinate y_k erhalten wir: $y_k = y_i + w_{Lyi} \Delta t + \frac{w_s^2}{g} \cdot$

$$\ln \left[\cosh \frac{g}{w_s} \Delta t + \frac{w_{yi} - w_{Lyi}}{w_s} \sinh \frac{g}{w_s} \Delta t \right] \quad (13)$$

Die Luftgeschwindigkeit w_L muß für jeden berechneten Punkt der Bahnkurve dem Geschwindigkeitsfeld entnommen werden, wobei die x- und y-Komponenten wie folgt gebildet werden:

$$w_{Lx} = w_L \cos \alpha$$

und $w_{Ly} = w_L \sin \alpha$

Da dieser Lösungsweg rechentechnisch ziemlich aufwendig erschien, wurde für die theoretische Ermittlung der Bahnkurven der wesentlich elegantere Weg mit dem Analogrechner gewählt.

3.3 Lösung mit dem Analogrechner

Um die von dem Verlauf der Bahnkurve abhängige Größe der Luftgeschwindigkeit für die Rechnung erfassen zu können, wurde das Luftgeschwindigkeitsfeld in einen zweiparametrischen Funktionsgeber, den sogenannten Bivar (bi-variable function generator) eingegeben. Die Linien konstanter Luftgeschwindigkeit wurden mit Silberbente auf eine graphitbeschichtete Plexiglasplatte aufgetragen, **Bild 6**, und an diese Linien eine den Luftgeschwindigkeiten entsprechende Spannung angelegt. Während des Rechenprozesses - die Strukturskizze zur Lösung der Differentialgleichungen (5 a) und (5 b) zeigt **Bild 7** - fährt ein Metallstift des zum Funktionsgeber gehörenden x, y-Schreibers die Bahnkurve eines Teilchens auf dieser Platte nach und greift dabei laufend die durch Interpolation zwischen den Potentiallinien sich ergebende Luftgeschwindigkeit w_L ab. Die Spannungsabnahme erfolgt durch eine spezielle Schaltung stromlos, damit das Potentialfeld durch einen fließenden Strom nicht verfälscht wird.

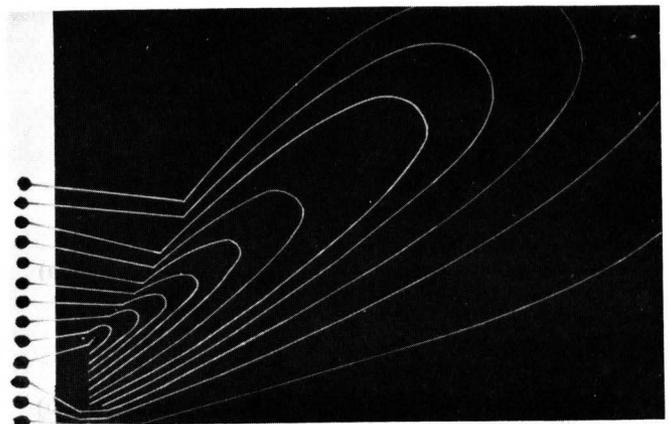
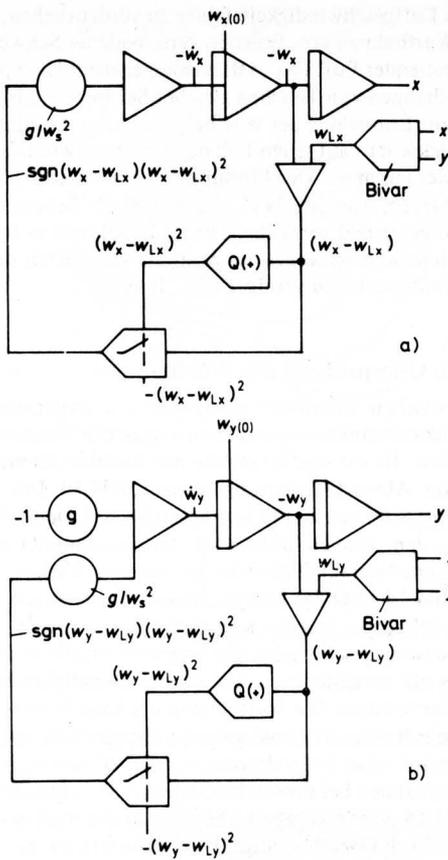


Bild 6. Auf Graphitschicht aufgetragenes Geschwindigkeitsfeld für den zweiparametrischen Funktionsgeber.

Mit Hilfe des Analogrechners war somit eine systematische Untersuchung der Haupteinflussgrößen möglich. Für die in Bild 2 bis Bild 4 wiedergegebenen Geschwindigkeitsfelder eines Scheibenrad- bzw. Trommelfeldhäckslers wurden die Wurfbahnen berechnet für verschiedene Schwebegeschwindigkeiten von $w_s = 2,5$ m/s bis $w_s = 15,0$ m/s, die denen der vorkommenden landwirtschaftlichen Güter entsprechen, und für Anfangsgeschwindigkeiten $w_0 = 10$ m/s und $w_0 = 20$ m/s, die in der Größenordnung der direkt hinter den Auswurfkrümmern von Feldhäckslern gemessenen Gutgeschwindigkeiten liegen. **Bild 8** und **Bild 9** zeigen die Wurfbahnen von Teilchen unterschiedlicher Schwebegeschwindigkeit hinter dem Ausblaskrümmern eines Scheibenrad- und Trommelfeldhäckslers bei horizontalem Abwurf. Im Gegensatz zu den schweren Teilchen (großes w_s) treten bei den leichten Teilchen doch schon erhebliche Unterschiede in derwurfweite auf. So wird bei $w_0 = 20$ m/s ein Teilchen von $w_s = 2,5$ m/s bei einer Wurfhöhe $y = 1,5$ m im Geschwindigkeitsfeld des Scheibenradfeldhäckslers um 2 m weiter geworfen als beim Trommelfeldhäckslers.



a) x - Richtung

b) y - Richtung

Bild 7. Strukturdiagramme zur Ermittlung der Wurfbahnen.

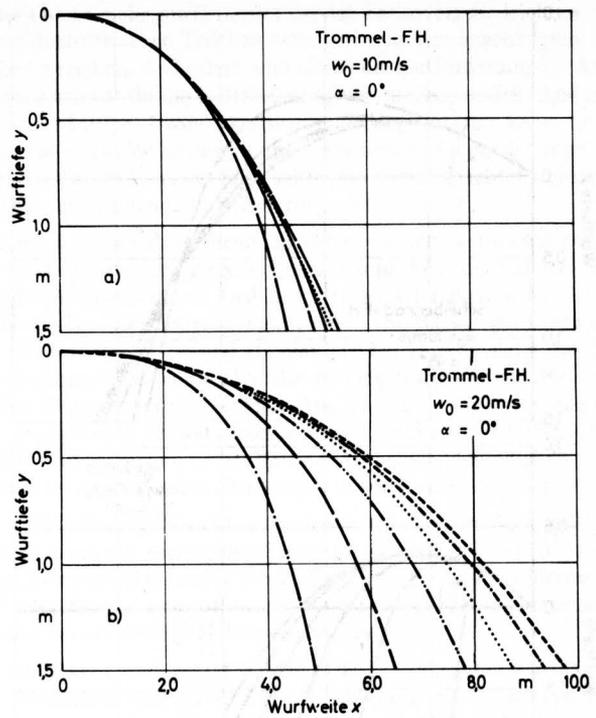


Bild 9. Wurfbahnen von Einzelkörpern im Geschwindigkeitsfeld eines Trommelfeldhäckslers bei horizontalem Abwurf

a) $w_0 = 10 \text{ m/s}$, b) $w_0 = 20 \text{ m/s}$.

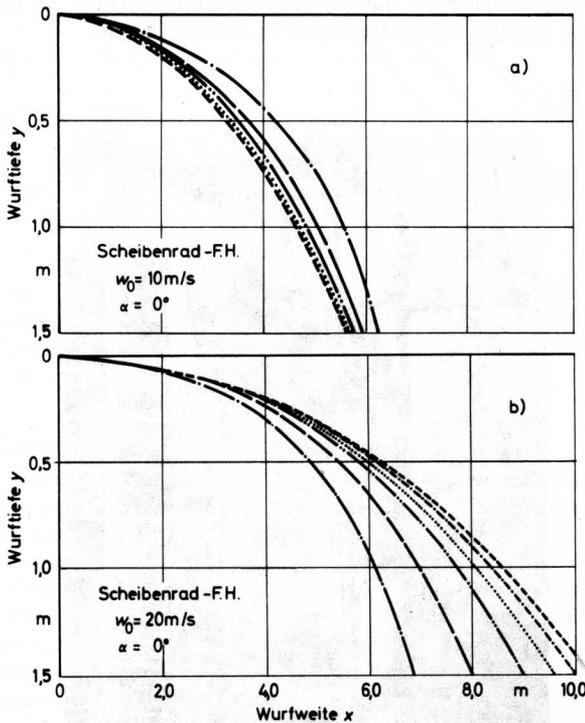


Bild 8. Wurfbahnen von Einzelkörpern im Geschwindigkeitsfeld eines Scheibenradhäckslers bei horizontalem Abwurf.

a) Anfangsgeschwindigkeit $w_0 = 10 \text{ m/s}$, b) $w_0 = 20 \text{ m/s}$

- $w_s = 2,5 \text{ m/s}$ $w_s = 10 \text{ m/s}$
- — — $5,0 \text{ m/s}$ - - - - $12,5 \text{ m/s}$
- · — · $7,5 \text{ m/s}$ - - - - $15,0 \text{ m/s}$

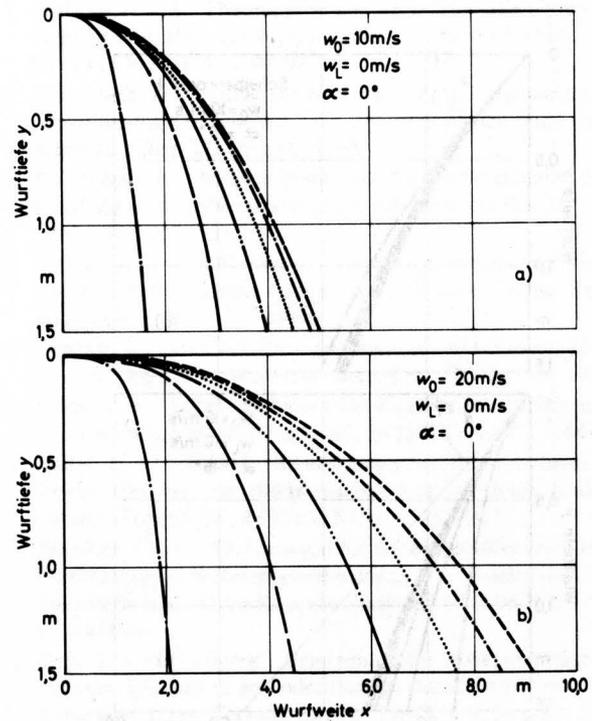


Bild 10. Wurfbahnen von Einzelkörpern in ruhender Luft bei horizontalem Abwurf

a) $w_0 = 10 \text{ m/s}$, b) $w_0 = 20 \text{ m/s}$.

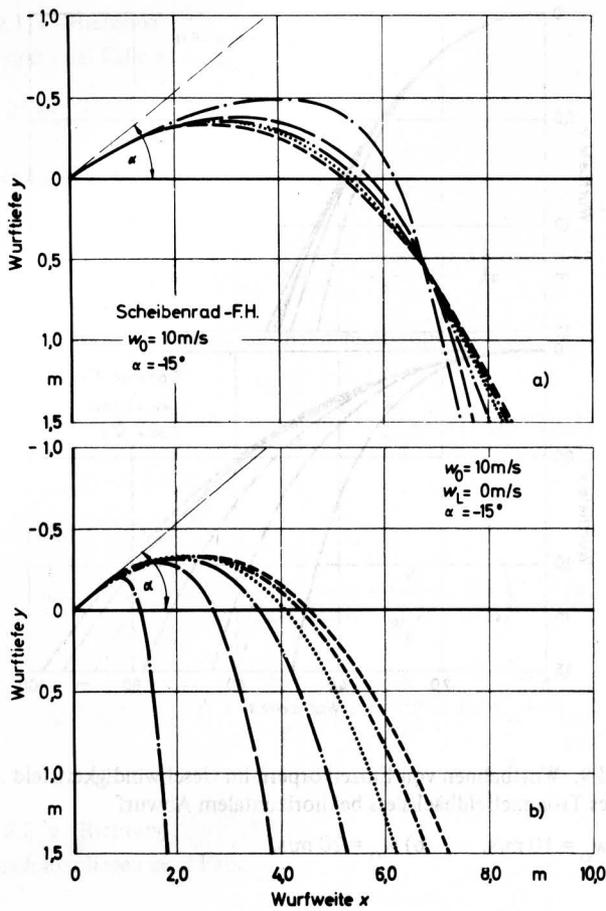


Bild 11. Vergleich der Wurfbahnen bei nach oben gerichtetem Abwurf

- a) im Geschwindigkeitsfeld eines Scheibenradfeldhäckslers,
- b) in ruhender Luft.

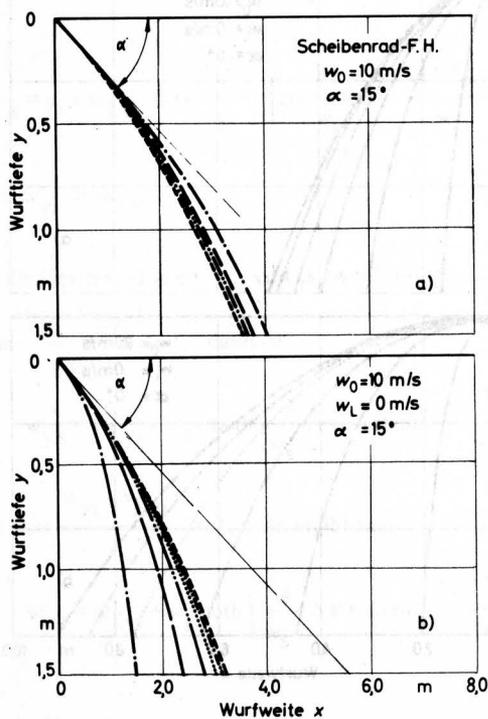


Bild 12. Vergleich der Wurfbahnen bei nach unten gerichtetem Abwurf

- a) im Geschwindigkeitsfeld eines Scheibenradfeldhäckslers,
- b) in ruhender Luft.

Um den Einfluß des Luftgeschwindigkeitsfeldes zu verdeutlichen, sind in **Bild 10** die Wurfbahnen von Teilchen verschiedener Schwebe- geschwindigkeit in ruhender Luft ($w_L = 0$) wiedergegeben. Die unterschiedlichen Wurfbahnen von Teilchen gleicher Schwebe- geschwindigkeit zeigen, daß zur Ermittlung der Wurfbahnen hinter Ausblas- krümmern von Feldhäckslern auf jeden Fall das Luftgeschwindigkeits- feld berücksichtigt werden muß. Der Einfluß wird noch deutlicher bei nach oben gerichtetem Abwurf, da in diesem Fall die Teilchen länger im Geschwindigkeitsfeld verbleiben, **Bild 11**, während er bei nach unten gerichtetem Abwurf wegen der geringen Verweilzeit der Teilchen im Geschwindigkeitsfeld geringer wird, **Bild 12**.

4. Experimentelle Überprüfung der Wurfbahnen

Für den Vergleich zwischen theoretisch ermittelten und experimen- tell gemessenen Teilchenbahnkurven wurde eine spezielle Versuchs- einrichtung geschaffen, die aus einem Gebläse mit Ausblaskrümm- er und darin eingebauter Abwurfvorrichtung bestand, **Bild 13**. Der Ansaugquerschnitt des Gebläses wurde so eingestellt, daß die Luft- geschwindigkeiten in dem Bereich hinter dem Ausblaskrümm- er etwa mit den für den Scheibenradfeldhäckslern gemessenen Werten übereinstimmen. **Bild 14** zeigt das Luftgeschwindigkeitsfeld dies- es Systems. Als Modellkörper wurden Kugeln aus Styropor mit unterschiedlichen Schwebe- geschwindigkeiten verwendet, die in der Versuchseinrichtung mit verschiedenen Anfangsgeschwindigkeiten horizontal abgeworfen wurden. Die Wurfbahnen der Kugeln wur- den durch Anblitzen mit einer Stroboskoplampe fotografisch fest- gehalten. Für Kugeln mit einer Schwebe- geschwindigkeit von $w_s = 7,5$ m/s sind die Wurfbahnen bei unterschiedlichen Abwurfgeschwin- digkeiten w_0 in **Bild 15** wiedergegeben. Die dünnen durchgehen- den Kurven sind die für das Geschwindigkeitsfeld theoretisch er- mittelten Bahnkurven bei verschiedenen Abwurfgeschwindig- keiten. Das Diagramm zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den theoretisch ermittelten und den gemessenen Bahnkurven. Abwei- chungen können u.a. durch den bei einer Eigenrotation der Teil- chen hervorgerufenen Magnusseffekt entstanden sein.

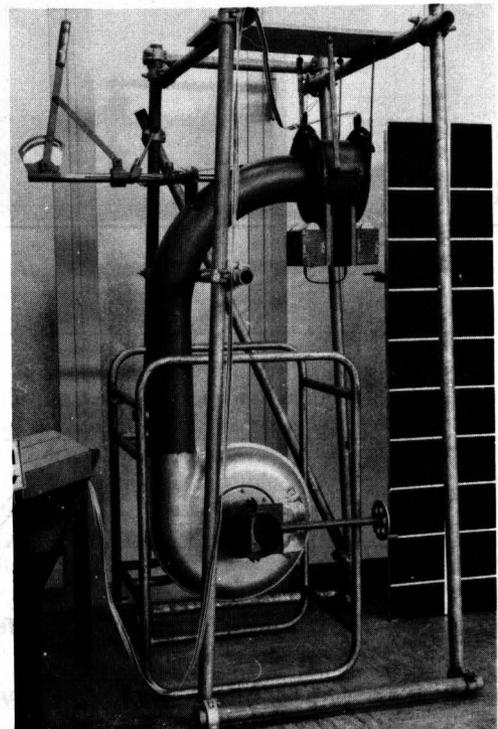


Bild 13. Gebläse mit Wurfvorrichtung zur experimentellen Er- mittlung der Wurfbahnen.

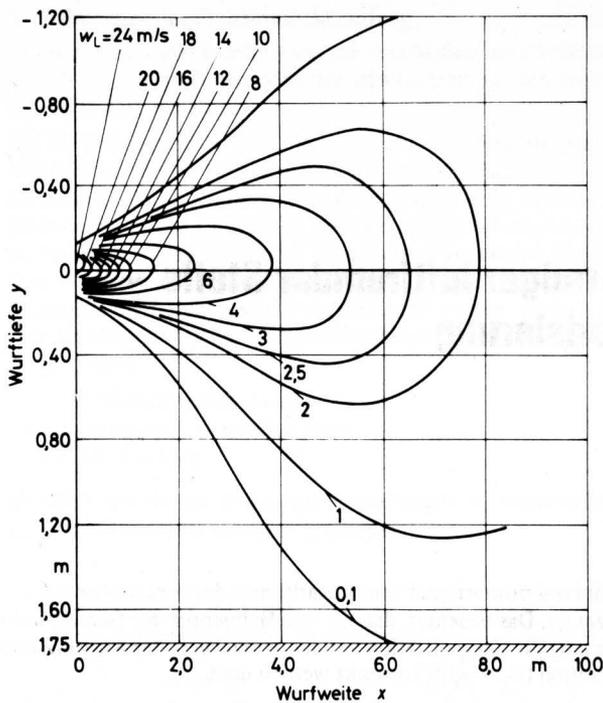


Bild 14. Luftgeschwindigkeitsfeld der Versuchseinrichtung.

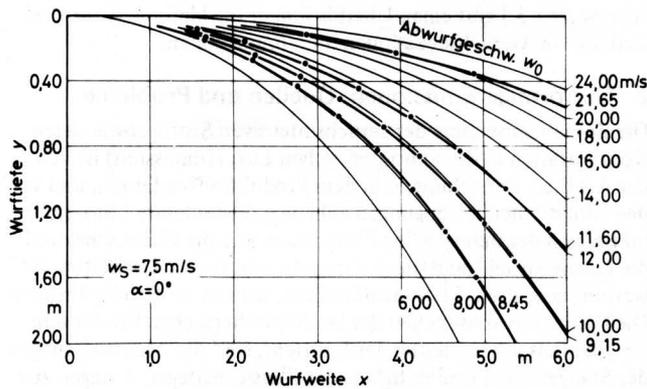


Bild 15. Vergleich von experimentell gewonnenen und theoretisch ermittelten Wurfbahnen für Einzelkörper mit einer Schwebe- geschwindigkeit $w_s = 7,5 \text{ m/s}$ bei verschiedenen Abwurfgeschwindigkeiten w_0 .

5. Zusammenfassung und Lehren für die Praxis

Für zwei verschiedene Feldhäcksler wurden die Wurfbahnen von Einzelkörpern unterschiedlicher Schwebe- geschwindigkeit bei verschiedenen Abwurfgeschwindigkeiten und Abwurfwinkeln bestimmt, wobei das Feld abnehmender Luftgeschwindigkeit hinter den Feldhäcksler berücksichtigt wurde. Eine geschlossene Lösung der Bewegungsgleichungen ist möglich, wenn man die Bahnkurve in Intervalle aufteilt und für diese Intervalle eine konstante Luft- geschwindigkeit annimmt. Es wurde hier jedoch der Weg über den Analogrechner gewählt. Das Geschwindigkeitsfeld wurde in einen zwei-parametrischen Funktionsgeber übertragen, so daß in jedem Bahn- punkt die dort herrschende Luftgeschwindigkeit in die Bewegungsgleichung einging.

Die Wurfbahnen zeigen, daß das Luftgeschwindigkeitsfeld von erheblichem Einfluß auf den Verlauf der Wurfbahnen ist; das wird besonders auffällig bei nach oben gerichtetem Abwurf, da dann die Teilchen länger im Geschwindigkeitsfeld verweilen. Außerdem nimmt die Streuung der Teilchen unterschiedlicher Schwebe- geschwindigkeit bei gleicher Abwurfgeschwindigkeit mit abnehmen- der Luftgeschwindigkeit zu, so daß bei zu geringer Luftgeschwin-

digkeit nicht mehr gewährleistet ist, daß besonders die leichten und nährstoffreichen Teilchen beim Häckseln den angehängten Wagen erreichen. Außerdem wird durch die Gutförderung der An- saugquerschnitt für die Luftförderung vermindert, so daß hierdurch auch eine Luftgeschwindigkeitsverminderung eintreten kann. Im Interesse einer gleichmäßigen und verlustlosen Füllung des ange- hängten Wagens bzw. des Silos sollte also darauf geachtet werden, daß eine ausreichende Luftförderung vorhanden ist.

Es kann dabei als ausreichend angesehen werden, wenn - wie es et- wa bei dem untersuchten Scheibenradfeldhäcksler der Fall ist - das Geschwindigkeitsfeld im Ausblas Luftgeschwindigkeiten von 20 m/s aufweist. Die Schwebe- geschwindigkeiten von Häckselgut liegen in der Regel zwischen 2,5 und 10, maximal bei 15 m/s. Aufgrund der Versuchsergebnisse sollten Partikel-Anfangsgeschwindigkeiten von 10 bis 20 m/s angestrebt werden. Aus Bild 8a erkennt man, daß bei den angegebenen Schwebe- geschwindigkeiten, bei einer Luftgeschwin- digkeit von 20 m/s und einer Partikel-Anfangsgeschwindigkeit von 10 m/s im Ausblas kaum Streuungen in der Wurfweite auftreten.

Die Luftförderung läßt sich außerdem z.B. beim Scheibenrad-Wurf- gebläse durch ein zusätzliches Strömungsgebläse Gluth [10] und beim Trommelfeldhäcksler durch eine günstige Form der Messer und zusätzliche Ansaugöffnungen für die Luftförderung verbessern, worauf bereits Orth [11] hingewiesen hat.

Einschränkend muß gesagt werden, daß die ermittelten Wurfbahnen nur für Einzelkörper gelten. Bei der Bewegung von Gutwolken und Gutströmen treten geringere Streuungen auf, da dann die Teilchen durch Reibungs- und Kohäsionskräfte zum Teil zusammengehalten werden. Da aber über die Bewegung von Gutwolken noch zu wenig bekannt ist, müssen genauere Aussagen späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Schrifttum

- [1] Grabenhorst, D.: Theoretische und experimentelle Unter- suchungen an Halmgut-Wurfbändern. Landtechn.Forsch. Bd. 13 (1963) H. 4, S. 94/99.
- [2] Krombholz, K.: Beitrag zur Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung der Teilchen beim kontinuierlichen Wurf von Schüttgut. Diss. TU Dresden 1968.
- [3] Krombholz, K.: Näherungslösungen für die Berechnung der Wurfbahn mit Luftwiderstand. Dt. Agrartechnik Bd. 18 (1968) H. 12, S. 555/557.
- [4] Menzel, R.M. u. A.R. Reece : The theory of the centrifugal distributor. III: Particle trajectories. J. of agric. Engng. Res. Bd. 8 (1963) Nr. 1, S. 78/84.
- [5] Keppler, K.: Das Verhalten von Schüttgütern bei intermit- tierend arbeitenden Wurfmaschinen. Diss. TU Dresden 1966.
- [6] Patrin, V.A.: Bewegungsbahn eines Körpers im Luftstrom. Mechanizacija i elektrifikacija Bd. 29 (1971) Nr. 10, S.44/46.
- [7] Müller, K. u. J. Wessel: Berechnung von Teilchenbahnen im Windsichter mit dem elektronischen Analogrechner. Aufbe- reitungs-Technik Bd. 4 (1963) Nr. 6, S. 235/242.
- [8] Zabeltitz, Chr.v.: Gleichungen für Widerstandsbeiwerte zur Berechnung der Strömungswiderstände von Kugeln und Schüttschichten. Grundl.Landtechnik Bd. 17 (1967) Nr. 4, S. 148/154.
- [9] Bieß, G. u. H. Viehweg: Berechnung der Bewegung kugel- förmiger Teilchen in gas- oder flüssigkeitsdurchströmten Apparaten. Chem.Technik Bd. 12 (1960) H. 3, S. 116/121.
- [10] Gluth, M.: Untersuchungen zur Wurfgebläseförderung. VDI-Forschungsheft 544 (1971).
- [11] Orth, H.W.: Untersuchungen über die Erzeugung von Luft- strömungen in Messertrommeln zur Unterstützung der Mate- rialförderung. Landtechn. Forsch. Bd. 18 (1970) H. 6, S. 175/178.