

# Entwicklung eines Pflugstreichbleches mit einem analytischen Verfahren

University College Dublin

Der vorliegende Beitrag wurde von Dipl.-Ing. WOLFGANG VORNKAHL, Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim, aus dem Englischen übertragen und überarbeitet.

Die vorhandenen konventionellen Pflugkörper sind für eine bestimmte Arbeitsgeschwindigkeit entwickelt worden und bedürftigen hinsichtlich ihrer Arbeitsqualität nicht beim Übergang zu höheren Geschwindigkeiten. Bei der Anpassung der Pflugkörper an höhere Geschwindigkeiten ist der Konstrukteur bisher auf empirische Methoden angewiesen, die umfangreiche und kostspielige Versuche erfordern.

Hier soll ein Verfahren gezeigt werden, bei dem eine Streichblechform, die bei 6,5 km/h eine zufriedenstellende Pflugarbeit erzeugt, anhand der Meßergebnisse bei der genannten Geschwindigkeit auf mathematischem Wege für eine Geschwindigkeit von beispielsweise 13 km/h umkonstruiert wird. Dabei soll die Pflugarbeit auch bei der höheren Geschwindigkeit zufriedenstellend sein und die Zugkraft sich nicht wesentlich erhöhen.

Dieses Verfahren, das im University College Dublin [1] entwickelt wurde, erlaubt die Entwicklung neuer Streichblechformen in kürzerer Zeit als die bisherigen. Das Verfahren geht davon aus, daß die geometrische Form des Streichbleches die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen beeinflusst, die das Streichblech dem Boden bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit erteilt. Zwischen der Streichblechform, der Fahrgeschwindigkeit, den Kräften und Bewegungen des Bodens auf dem Streichblech wird zunächst eine mathematische Beziehung aufgestellt. Dann werden die unbekannt GröÙen in der Gleichung für ein bewährtes Streichblech durch Versuchsmessungen ermittelt. Mit Hilfe der aufgestellten Gleichung und der Versuchswerte können schließlich die Kräfte für eine zu entwickelnde Streichblechform berechnet werden.

## 1. Gleichung für die Bewegung und die Kräfte des Bodens auf dem Streichblech

Die Bahnkurve des Bodenprismas (*ABCDEFGH*) kann unter der Annahme, daß in *x*-Richtung keine Beschleunigungen auftreten, durch folgende Gleichungen angegeben werden (Bild 1):

$$x = v_x t, \quad (1)$$

$$y = B_1 + B_2 x + B_3 x^2 + B_4 x^3 + \dots, \quad (2)$$

$$z = C_1 + C_2 x + C_3 x^2 + C_4 x^3 + \dots. \quad (3)$$

Es sind:

$$v_x = \text{Fahrgeschwindigkeit,}$$

$$t = \text{Zeit.}$$

Die Geschwindigkeitskomponenten in *x*-, *y*- und *z*-Richtung sind:

$$v_x = v_x, \quad (4)$$

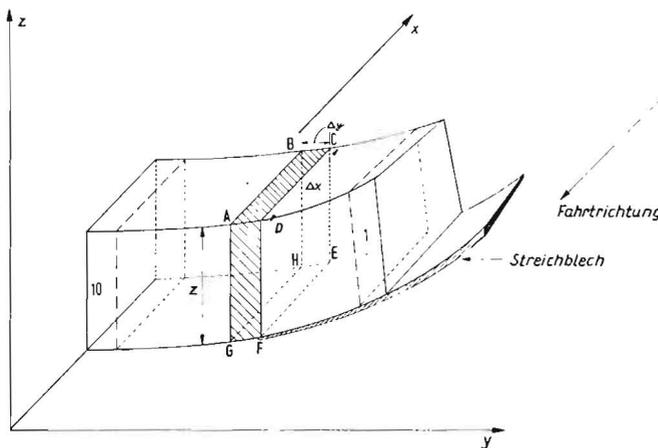


Bild 1: Teil des Furchenbalkens auf dem Streichblech

(Der Furchenbalken ist in der Breite in 10 Prismen aufgeteilt. Bodenprisma *ABCDEFGH* hat die Abmessungen *Ax*, *Ay*, *z*)

$$v_y = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = (B_2 + 2 B_3 x + 3 B_4 x^2 + \dots) v_x, \quad (5)$$

$$v_z = \frac{dz}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = (C_2 + 2 C_3 x + 3 C_4 x^2 + \dots) v_x. \quad (6)$$

Resultierende Geschwindigkeit:

$$v_R = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}. \quad (7)$$

Die Beschleunigungskomponenten sind:

$$b_x = 0, \quad (8)$$

$$b_y = \frac{dv_y}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = (2 B_3 + 6 B_4 x + \dots) v_x^2, \quad (9)$$

$$b_z = \frac{dv_z}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = (2 C_3 + 6 C_4 x + \dots) v_x^2. \quad (10)$$

Resultierende Beschleunigung:

$$b_R = \sqrt{b_y^2 + b_z^2}. \quad (11)$$

Zur Berechnung der Beschleunigungskraft wird die Masse des Bodenprismas benötigt:

$$\Delta m = \frac{\gamma}{g} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot z = \frac{\Delta G}{g}.$$

Die Komponenten der Beschleunigungskraft für ein Bodenprisma sind:

$$R_x = 0, \quad (12)$$

$$R_y = \Delta m \cdot b_y, \quad (13)$$

$$R_z = \Delta m \cdot b_z + \Delta G. \quad (14)$$

Resultierende Reibungskraft:

$$R_R = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}. \quad (15)$$

Zwischen dem Bodenprisma und der Streichblechoberfläche wirkt eine Reibungskraft. Ihr Betrag ist das Produkt der Komponente von  $R_R$  senkrecht zur Oberfläche des Streichbleches und der Reibungszahl  $\mu_s$  zwischen Boden und Metall. Die Richtung ist der Bewegung des Bodens entgegengesetzt. In einem bestimmten Punkt  $P_0$  sollen die Richtungskomponenten der Reibungskraft ( $v_x, v_y, v_z$ ) <sub>$P_0$</sub>  betrachtet werden. Aus den Gln. (2) und (3), die die Beziehungen zwischen  $y$ ,  $z$  und  $x$  für den Weg des Prismaschwerpunktes wiedergeben, kann für eine Streichblechform eine Gleichung von der Art  $K(x, y, z) = 0$  aufgestellt werden:

$$z(B_1 + B_2 x + B_3 x^2 + \dots) - y(C_1 + C_2 x + C_3 x^2 + \dots) = 0. \quad (16)$$

Zur Berechnung der Normalkomponenten von  $R_R$  ist es erforderlich, die Richtungskomponenten der Normalen auf die Oberfläche im Punkte  $P_0$  zu erhalten. Die Richtungskomponenten im Punkt  $P_0$  sind:

$$\frac{dK}{dx} = z \frac{dy}{dx} - y \frac{dz}{dx}, \quad (17)$$

$$\frac{dK}{dy} = -z, \quad (18)$$

$$\frac{dK}{dz} = y. \quad (19)$$

Die normal auf die Oberfläche des Streichbleches wirkende Komponente von  $R_R$  ist dann

$$R_N = \frac{R_x \frac{dK}{dx} + R_y \frac{dK}{dy} + R_z \frac{dK}{dz}}{\sqrt{\left(\frac{dK}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dK}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dK}{dz}\right)^2}} \left( \frac{dK}{dx}, \frac{dK}{dy}, \frac{dK}{dz} \right) \quad (20)$$

$$= R_{N_x} \cdot i + R_{N_y} \cdot j + R_{N_z} \cdot k \quad (21)$$

$$= \sqrt{(R_{N_x})^2 + (R_{N_y})^2 + (R_{N_z})^2}. \quad (22)$$

Die Komponenten der Reibungskraft werden somit:

$$F_x = \mu_s \cdot R_N \cdot \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}}, \quad (23)$$

$$F_y = \mu_s \cdot R_N \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}, \quad (24)$$

$$F_z = \mu_s \cdot R_N \frac{v_z}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}}. \quad (25)$$

Die Arbeit, die erforderlich ist, um das betrachtete Bodenprisma aus einer Lage ( $R-1$ ) in die Lage ( $R$ ) zu bewegen, setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

1. Anheben:  $\Delta G \cdot (z_R - z_{R-1})$  (26)

2. Beschleunigung:

Es wird angenommen, daß sich das Prisma um die  $x$ -Achse dreht und die Beschleunigung eine lineare und eine rotierende Komponente hat.

$$\frac{\Delta G}{2g} \{ [v_y^2(R) - v_y^2(R-1)] + [v_z^2(R) - v_z^2(R-1)] \} + \frac{\Delta I_p}{2} [\omega_{r(R)}^2 - \omega_{r(R-1)}^2]. \quad (27)$$

$I_p$  — polares Trägheitsmoment des Schwerpunktes  
 $\omega_r$  — Winkelgeschwindigkeit

3. Reibung:

$$\frac{1}{2} \{ [F_{x(R)} + F_{x(R-1)}] (x_R - x_{R-1}) + [F_{y(R)} + F_{y(R-1)}] (y_R - y_{R-1}) + [F_{z(R)} + F_{z(R-1)}] (z_R - z_{R-1}) \} \quad (28)$$

4. Adhäsion:

$$\frac{1}{2} \{ [Q_{x(R)} + Q_{x(R-1)}] (x_R - x_{R-1}) + [Q_{y(R)} + Q_{y(R-1)}] (y_R - y_{R-1}) + [Q_{z(R)} + Q_{z(R-1)}] (z_R - z_{R-1}) \} \quad (29)$$

Die gesamte Arbeit  $a$  für eine längliche Scheibe, in der das betrachtete Prisma mit der Länge  $\Delta x$  liegt und die auf einer bestimmten Bahnkurve um den Betrag  $x_R - x_{R-1}$  in Fahrtrichtung bewegt wird, ergibt sich:

$$a = \sum_{n=1}^{n=r} (26) + (27) + (28) + (29)$$

$r$  = Anzahl der Prismen von der Länge  $\Delta x$

Die Zeit für die Bewegung von  $x_{R-1}$  nach  $x_R$  ist:

$$t = \frac{x_R - x_{R-1}}{v_x}$$

Die Arbeit je Zeiteinheit für eine längliche Scheibe ist:

$$\frac{a}{t} = a \cdot \frac{v_x}{x_R - x_{R-1}}. \quad (1)$$

Damit wird die Arbeit  $A$  je Zeiteinheit für alle länglichen Scheiben des Furchenbalkens:

$$A = \frac{v_x}{x_R - x_{R-1}} \sum_{n=1}^{n=m} a.$$

$m$  = Anzahl der länglichen Scheiben, in die der Furchenbalken aufgeteilt ist (Bild 1).

## 2. Versuchsmessungen zur Bestimmung der einzelnen Kräfte

Die Durchführung der Versuche geht so vor sich, daß zuerst die Bahnkurven des Bodens auf dem Streichblech bei niedriger Geschwindigkeit mit Hilfe des Lackschichtverfahrens ermittelt werden, das bereits EGGEMÜLLER und SÖHNE beschrieben haben [2]. Aus den Einritzungen im Lack werden die Kurven entlang des Streichbleches bestimmt (Bild 2). Dann werden die  $x$ -,  $y$ -,  $z$ -Koordinaten der Kurven ausgemessen. Mit Hilfe eines digitalen Rechners wird diesen Koordinaten eine Gleichung zugeordnet. Sie wird zweimal differenziert, um die Beschleunigungswerte zu erhalten.

Das analytische Verfahren zur Entwicklung neuer Streichblechformen wurde in Dublin für mehrere Streichbleche durchgeführt. Hier soll das Beispiel eines „General-Purpose“-Streichbleches gezeigt werden. Bild 3 zeigt die aus den Bahnkurven nach den angegebenen Gleichungen berechneten Kräfte für dieses bewährte Streichblech in sandigem Lehm bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Bei den Untersuchungen ergaben sich hinsichtlich der

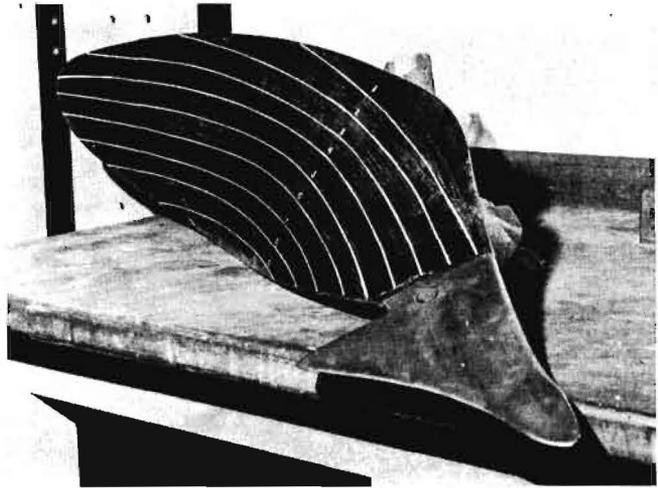


Bild 2: Ritzkurven des Bodens und Bahnkurven der Bodenprismen auf dem Streichblech

Abhängigkeit der einzelnen Kräfte von der Geschwindigkeit einige Gesichtspunkte, die für die Entwicklung des Verfahrens wichtig sind.

Die zum Anheben des Erdbalkens erforderliche Kraft (Hubkraft) bleibt etwa mit der Fahrgeschwindigkeit konstant. Ein geringer Anstieg entsteht dadurch, daß der Boden bei den verschiedenen Geschwindigkeiten nicht den gleichen Bahnkurven folgt, sondern daß diese mit wachsender Geschwindigkeit etwas höher liegen. Die Beschleunigungskraft wird aus der Veränderung des Erdbalkens zwischen den beiden Lagen bestimmt (Gl. (27)). Der Beschleunigungsanteil ist für den Konstrukteur wichtig, da er ihn beeinflussen kann. Die Größe der Beschleunigung, die auf den Erdbalken in einem bestimmten Punkt des Streichbleches wirkt, hängt von der Gestaltung des Streichbleches und der Bahnkurve des Bodens ab.

Versuchsmessungen mit verschiedenen Streichblechformen haben bestätigt, daß das Streichblech mit den niedrigsten Beschleunigungswerten auch die geringste Zugkraft hat. Relativ geringe Unterschiede in der Beschleunigung bei zwei verschiedenen Streichblechformen und bei geringer Fahrgeschwindigkeit machen sich bei höheren Geschwindigkeiten stärker bemerkbar, weil die Beschleunigung mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst. Inwieweit jedoch die Beschleunigungswerte durch andere Streichblechformen niedrig gehalten werden können, hängt weitgehend von der Arbeitsqualität und der erforderlichen Krümmung des Bodens ab. Bild 4 zeigt die Beschleunigungswerte in  $z$ -Richtung (Querbeschleunigung) und in  $y$ -Richtung (Vertikalbeschleunigung) in Abhängigkeit von der Weglänge auf den Ritzkurven für vier

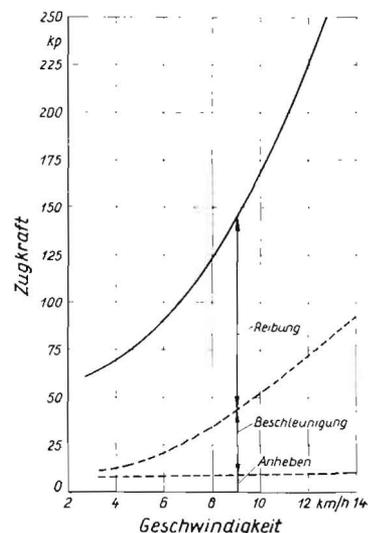


Bild 3: Hub-, Beschleunigungs- und Reibkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für ein „General-Purpose“-Streichblech

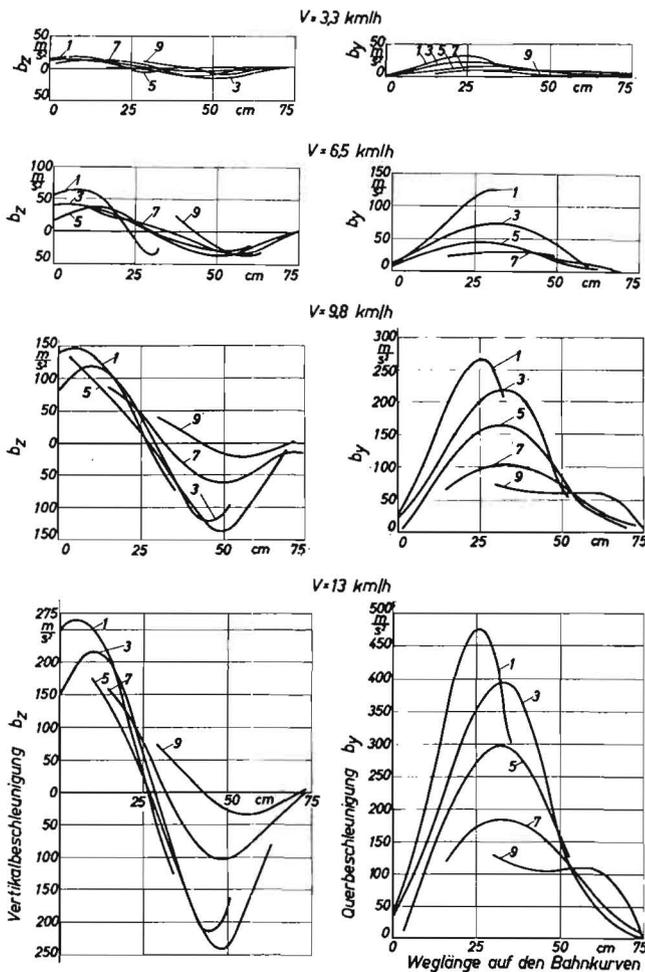


Bild 4: Vertikalbeschleunigung  $b_z$  und Querbeschleunigung  $b_y$  des Bodens in Abhängigkeit von der Weglänge auf den einzelnen Bahnkurven bei vier Arbeitsgeschwindigkeiten  $v$  für ein „General-Purpose“-Streichblech

verschiedene Geschwindigkeiten. Die Beschleunigungskurven lassen den Einfluß der Geschwindigkeitssteigerung erkennen.

Für die Entwicklung einer Streichblechform, die bei verschiedenen Geschwindigkeiten zufriedenstellend arbeiten soll, ist es wichtig, wie hoch die Beschleunigungswerte sein sollen. Die Beschleunigungswerte werden von der Streichblechform und der Fahrgeschwindigkeit beeinflusst. Sie wirken sich in der Ablage des Erdbalkens und der Krümelungsintensität aus. Mit Hilfe des Lackschichtverfahrens können günstige Beschleunigungswerte ermittelt werden, indem die Werte für eine Geschwindigkeit als geeignet angenommen werden, bei der das Streichblech eine gute Arbeitsqualität leistet. Für das untersuchte Streichblech wäre das also bei einer Geschwindigkeit von etwa 6,5 km/h der Fall. Wie Bild 4 zeigt, variieren die Beschleunigungswerte entlang der Bahnkurven in weiten Bereichen. Ein Durchschnittswert bei 6,5 km/h ist etwa 6 m/s<sup>2</sup>.

Daneben hat die Größe der Beschleunigung einen sekundären Einfluß auf die Reibungskräfte, die auf dem Streichblech, an der Furchenwand und -sohle wirken. Hierbei können geringe Unterschiede in den Beschleunigungswerten auf dem Streichblech relativ große Unterschiede der Zugkraft hervorrufen.

Die Reibungskraft zwischen der Streichblechfläche und dem darüber gleitenden Boden hängt direkt von dem Wert der Beschleunigung und der Reibungszahl Boden/Metall ab. Klebt der Boden am Streichblech, so liegt die Reibungszahl Boden/Metall in der Größenordnung der Reibungszahl Boden/Boden. Aus der Analyse der Beschleunigungskurven ergeben sich Aufschlüsse über die Druckverteilung auf dem Streichblech. Es können Gebiete starker Reibung eliminiert und der Bodenfluß auf dem Streichblech verbessert werden.

Die Kräfte, die vom Streichblech auf den Boden wirken, ergeben Reaktionen in Quer- und Vertikalrichtung. Die Kräfte in Querrichtung werden an der Furchenwand und die in Vertikalrichtung

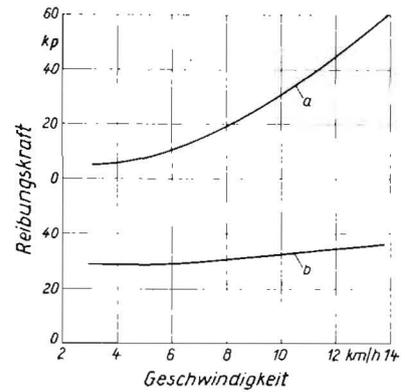


Bild 5: Reibungskraft an der Furchenwand (a) und an der Furchensohle (b) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für ein „General-Purpose“-Streichblech

an der Furchensohle abgestützt. Kurve a in Bild 5 zeigt in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit die Reibungskraft zwischen Furchenwand und Anlage. Die Kurve hat etwa den gleichen Verlauf wie die Kurve für die Beschleunigungskraft auf dem Streichblech. Kurve b in Bild 5 stellt die Reibungskraft an der Furchensohle in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit dar. Diese Kraft scheint von der Beschleunigungskraft auf dem Streichblech nicht direkt abhängig zu sein.

Der Anteil der Adhäsionskraft ist im Verhältnis zur gesamten Zugkraft sehr gering und kann vernachlässigt werden. Die Adhäsionskraft ändert sich mit wachsender Fahrgeschwindigkeit nicht.

### 3. Entwicklung einer neuen Streichblechform für eine höhere Geschwindigkeit

Die Aufgabe bestand darin, anhand der mathematischen Gleichungen und der Versuchsergebnisse für das bewährte Streichblech A eine geeignete Form B für eine angenommene Geschwindigkeit von 13 km/h zu entwickeln. Es wurde davon ausgegangen, daß das Streichblech A bei einer Geschwindigkeit von 6,5 km/h zufriedenstellende Arbeit leistet, die Furchen richtig ablegt und die Zugkraft nicht zu hoch ist.

Werden die gleichen Forderungen auch für die Form des Streichbleches B bei einer Geschwindigkeit von 13 km/h gestellt, so müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

1. Das Streichblech B soll möglichst die gleichen Beschleunigungswerte wie das Streichblech A haben. Die Gleichungen  $b_y = \frac{d^2 y}{dx^2} v_z^2$  (9) und  $b_z = \frac{d^2 z}{dx^2} v_x^2$  (10) ergeben, daß dann die Ausdrücke  $\frac{d^2 y}{dx^2}$  und  $\frac{d^2 z}{dx^2}$  bei 13 km/h nur ein Viertel so groß sein dürfen wie bei 6,5 km/h.
2. Das Streichblech B sollte gleich lang wie das Streichblech A sein.
3. Die Anfangspunkte der Bahnkurven auf dem Streichblech B sollten die gleichen bleiben, da das gleiche Schar benutzt werden soll.
4. Die Endpunkte der Bahnkurven auf dem Streichblech B sollten die gleichen bleiben, da der Furchenbalken in der gleichen Art abgelegt werden soll.

Beim ersten Ansatz für die neue Streichblechform B wurde nur für die Bedingung 1 eine Vereinfachung gemacht: Die Beschleunigungswerte wurden als konstant in Abhängigkeit von der Weglänge angenommen, was sie nach Bild 4 in Wirklichkeit nicht sind. Für die Streichblechform A wurde ein Durchschnittswert für die Ausdrücke  $\frac{d^2 y}{dx^2}$  und  $\frac{d^2 z}{dx^2}$  zugrunde gelegt.

Unter Beachtung dieser Bedingungen wurde beim ersten Ansatz eine lineare Beziehung zwischen den z- und x-Koordinaten angenommen. Auf mathematischem Wege wurden für jede einzelne längliche Scheibe (Bild 1) die Bahnkurven aus den Beziehungen zwischen y und z mit x ermittelt. Die Streichblechoberfläche, die sich hieraus ergab, war in Querrichtung sehr konvex. Es war unwahrscheinlich, daß der Boden bei dieser konvexen Form entlang des Streichbleches gleiten würde.

In einem weiteren Ansatz wurde die Funktion zwischen  $z$  und  $x$  parabolisch angenommen. Die sich ergebende Oberfläche veränderte sich gegenüber dem ersten Ansatz jedoch nur unbedeutend.

Auch die Verlängerung des Streichbleches von 71 cm auf 91,5 cm unter Außerachtlassung der Bedingung 2 führte zwar zu geringeren Beschleunigungswerten auf dem Streichblech, die Form des Streichbleches blieb jedoch für praktische Zwecke auch dann zu konvex. Da scheinbar alle vier gestellten Bedingungen gleichzeitig nicht erfüllt werden können, wurde im nächsten Ansatz ein Kompromiß eingegangen. Der Abschnitt der Streichblechform, auf der die länglichen Scheiben 4 bis 9 (Bild 1) gleiten, wurde als brauchbar aus den vorigen Ansätzen angenommen, aber für die länglichen Scheiben 1 bis 3 wurden neue Kurven festgelegt, die eine weniger konvexe Form ergeben. Dafür wurden Polynome von der Form

$$y = E_1 + E_2 x + E_3 x^2 + E_4 x^3 + E_5 x^4$$

angenommen. Die sich ergebenden Beschleunigungswerte entlang des Streichbleches waren nun allerdings nicht mehr konstant. Sie waren größer als die angenommenen Durchschnittswerte, mit denen im ersten Ansatz gerechnet wurde. Die Beziehung zwischen  $z$  und  $x$  wurde in diesem Ansatz parabolisch angenommen. Das Streichblech wurde auf 91,5 cm verlängert. Bild 6 zeigt die berechneten Bahnkurven der Furchenscheiben für das Streichblech B in der  $z, x$ - und  $y, x$ -Ebene. Die Streichblechform B, die sich aus dem obigen Kompromißansatz ergibt, zeigt Bild 7. Aus den ermittelten Bahnkurven können die einzelnen auftretenden Kräfte für den Pflugkörper B mit Hilfe eines digitalen Rechners anhand der im Text angegebenen Gleichungen und Meßwerte berechnet werden.

Für den entwickelten Pflugkörper B berechnet sich die gesamte Zugkraft bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 13 km/h zu 123,7 kp (Tafel 1). Zwar ist dieser Wert höher infolge der Nichteinhaltung

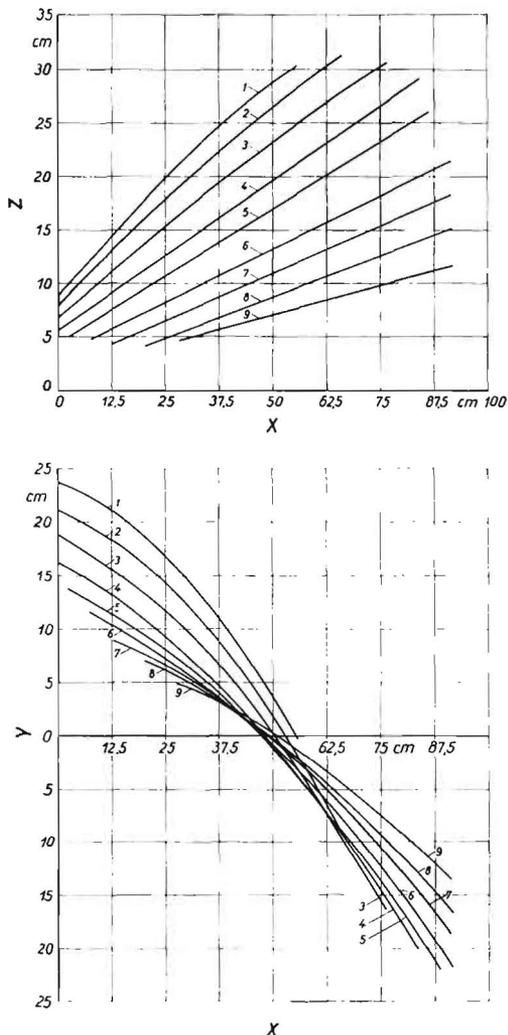


Bild 6: Berechnete Bahnkurven in der  $z, x$ - und  $y, x$ -Ebene für das Streichblech B

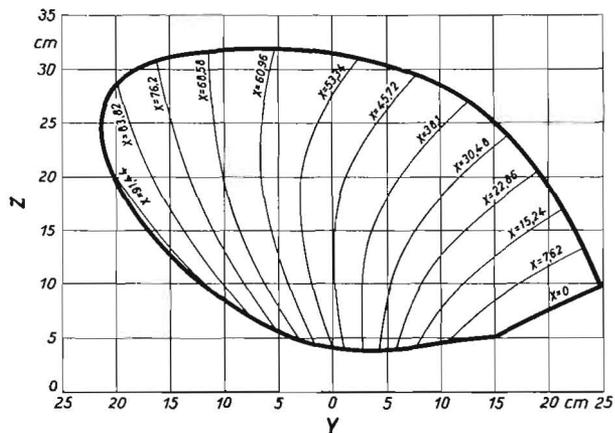


Bild 7: Entwickelte Streichblechform B für eine angenehme Geschwindigkeit von 13 km/h

Tafel 1: Berechnete Zugkraftwerte für den Pflugkörper B bei 13 km/h

Anteile	Zugkraft [kp]
Reibung auf dem Streichblech . . . . .	40,6
Adhäsion auf dem Streichblech . . . . .	2,5
Beschleunigung des Furchenbalkens . . . . .	14,8
Anheben des Furchenbalkens . . . . .	9,2
Reibung an der Furchenwand . . . . .	22,6
Reibung an der Furchensohle . . . . .	34,0
<b>Gesamte Zugkraft . . . . .</b>	<b>123,7</b>
Vergleich:	
Berechneter Wert des Pflugkörpers A bei 6,5 km/h . . . . .	95 kp
Berechneter Wert des Pflugkörpers A bei 13 km/h . . . . .	255 kp

der gestellten vier Bedingungen als beim Pflugkörper A („General-Purpose“) bei der Geschwindigkeit von 6,5 km/h. Er ist aber nicht einmal halb so groß wie die Zugkraft, die sich bei dem Pflugkörper A bei der Arbeitsgeschwindigkeit von 13 km/h ergeben hätte.

### Zusammenfassung

Es wird über ein analytisches Verfahren berichtet, das die Berechnung eines Pflugstreichbleches für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 13 km/h ermöglicht. Zwischen der Streichblechform, der Geschwindigkeit, den Kräften und Bewegungen des Bodens auf dem Streichblech wird zunächst eine mathematische Beziehung aufgestellt. Versuchsmessungen liefern die unbekanntenen Werte für ein Streichblech, das bei einer Geschwindigkeit von 6,5 km/h zufriedenstellende Arbeit leistet. Mit Hilfe der mathematischen Beziehungen und der Versuchswerte wird unter bestimmten Annahmen eine geeignete Streichblechform für die höhere Arbeitsgeschwindigkeit ermittelt.

### Schrifttum

- [1] O'CALLAGHAN, J. R. und J. G. MCCOY: The Handling of Soil by Mouldboard Ploughs. Journal of Agric. Engng. Research 10 (1965), S. 23-25
- [2] SÖHNE, W.: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Geschwindigkeit. Grundlagen der Landtechnik, Heft 11, Düsseldorf 1959, S. 22-39

### Résumé

James R. O'Callaghan: „Development of a Plough Mouldboard by means of an Analytical Method“.

A method is reported which enables the analytical calculation of a plough mouldboard for a speed of 13 km/h. At first a mathematical relation is established between the form of the mouldboard, the speed, and the forces and motions of the soil acting on the mouldboard. The unknown values for a mouldboard working satisfactorily at a speed of 6,5 km/h are obtained by experimental measurements. With the aid of the mathematical relations and the experimental values as well as certain assumptions a suitable mouldboard form is determined for the higher speed.

James R. O'Callaghan: «Développement d'un versoir de charrue à l'aide d'un procédé analytique.»

L'auteur décrit un procédé analytique qui permet le calcul d'un versoir de charrue pour une vitesse de travail de 13 km/h. Il établit d'abord des rapports mathématiques entre la forme du versoir, la vitesse, les forces en action et les déplacements de la terre sur le versoir. Des mesures d'essai ont fourni les valeurs inconnues pour un versoir dont le travail est satisfaisant à une vitesse de 6,5 km/h. L'auteur détermine ensuite à l'aide des rapports mathématiques et en admettant certaines hypothèses une forme de versoir convenant aux vitesses de travail plus élevées.

James R. O'Callaghan: «Construcción de una regla para arados por un procedimiento analítico.»

Se trata de un procedimiento analítico que permite el cálculo de una regla de arado para una velocidad de trabajo de 13 km/h. Se empieza con establecer una ecuación entre la forma de la regla y la velocidad, así como los esfuerzos y los movimientos que ejerce la tierra sobre la regla. Mediciones de ensayo suministran los valores desconocidos para una regla que da rendimientos satisfactorios a la velocidad de 6,5 km/h. Se encuentra entonces la forma de una regla para velocidades más elevadas con la ayuda de relaciones matemáticas y de los valores medidos, así como de algunos valores supuestos.

Werner Kiene:

## Entwicklung einer Ersatzfahrbahn zur Prüfung des Sitzkomforts auf Ackerschleppern

Schlepper-Prüffeld des KTL, Darmstadt

Das vorliegende Thema wurde beim Schlepper-Prüffeld als Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten bearbeitet, dem auch an dieser Stelle für die Finanzierung gedankt sei. Ferner gebührt unser Dank Herrn Prof. Dipl.-Ing. H. MEYER und seinen Mitarbeitern am Institut für Schlepperforschung der FAL für Rat und tatkräftige Hilfe dadurch, daß uns die dort im Rahmen ähnlicher Vorhaben gleichzeitig erarbeiteten Ergebnisse zur Verfügung gestellt, die Erfahrungen ausgetauscht und am Computer der mathematisch-statistischen Auswertestelle der FAL die erforderlichen Rechnungen durchgeführt wurden.

Prof. Dr.-Ing. R. FRANKE, TH Darmstadt

Seit Jahren besteht der Wunsch, die Prüfung des Fahrersitzes in die Technische Prüfung von Ackerschleppern einzubeziehen. Außer dem deutschen Schlepper-Prüffeld [1] bemühen sich auch Prüfstationen anderer Länder seit langem um die Erfüllung dieses Wunsches. Auch auf Expertentagungen der OECD, den Annual Meetings of Representatives of National Tractor Testing Authorities, wurde mehrfach darüber gesprochen, daß es wünschenswert sei, den OECD-Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractors dahingehend zu erweitern. Leider konnten aber solche Prüfungen bislang nicht durchgeführt werden, weil es noch keine allgemein anerkannte Methode dafür gab.

Heute scheinen nun die grundsätzlichen Voraussetzungen weitgehend geklärt zu sein, so daß einer Aufnahme der Sitzkomfortprüfung in die Schlepperprüfregeln, seien diese nun national oder auch international, nichts mehr im Wege zu stehen scheint. Vorher muß man sich aber darüber klar werden, ob es sinnvoll ist, einen Sitz für sich allein zu prüfen oder ob er aufgebaut auf einen Schlepper behandelt werden muß. Schlepper, Sitz und Fahrer sind zusammen ein sehr kompliziertes gekoppeltes Schwingungssystem. Schon HAACK hat hierauf hingewiesen [2], ein Schwingungersatzschema für Schlepper, Sitz und Fahrer angegeben und die Bewegungsgleichungen dafür aufgestellt. HAACK ist dabei allerdings von sehr stark vereinfachten Voraussetzungen ausgegangen. So mußte er beispielsweise Fahrersitz und Fahrer als starres einheitliches Gebilde in seine Formeln einführen, weil sonst der für Berechnungen erforderliche Gleichungsumfang ohne elektronische Rechenmaschinen, die damals noch nicht zur Verfügung standen, nicht zu bewältigen war. Die von ihm angegebenen Formeln enthalten den Massenfaktor als Quotienten der beiden gegeneinander schwingenden Massen des Schleppers einerseits und des Fahrers mit dem Sitz andererseits. Außerdem enthalten sie noch das Verhältnis der entsprechenden Eigenkreisfrequenzen, in welchem die Federhärten und noch einmal die Massen vorkommen. Mögen diese HAACKSchen Formeln auch nicht alle Erfordernisse mathematisch korrekt erfüllen, sie gestatten es aber doch, den für diese Ausgangsüberlegung erforderlichen Schluß zu ziehen, nämlich, daß bei der Prüfung eines bestimmten Sitzes auf verschiedenen Schleppern und mit verschiedenen Fahrern unterschiedliche Ergebnisse herauskommen müssen. Wenn also im Rahmen einer Schlepperprüfung der Sitzkomfort geprüft werden soll, dann muß das Schwingungssystem Schlepper gegen Mensch plus Sitz immer als Ganzes behandelt werden; der Sitz darf bei einer solchen Prüfung nicht aus diesem Zusammenhang herausgelöst und für sich allein geprüft werden.

Im folgenden soll nun versucht werden, einen zusammenfassenden Überblick über den gegenwärtigen Stand des Wissens auf dem

Gebiet der Einwirkung von Fahrzeugschwingungen auf den Schlepperfahrer zu geben. Weiter soll gezeigt werden, welche Versuchsmethoden zur Untersuchung von Fahrersitzen bisher von den verschiedenen Autoren benutzt wurden. Schließlich soll dargelegt werden, wie nach dem heutigen Stand der Technik eine Prüfung des Sitzkomforts zur objektiven Beurteilung der Schwingungen von Fahrersitzen auf Ackerschleppern durchgeführt werden kann.

### 1. Der Einfluß der Schwingungen auf den Fahrer

#### 1.1. Frühere Forschungen

Schon seit Anfang der dreißiger Jahre ist an dem Problem des Einflusses mechanischer Schwingungen auf den Menschen an vielen Stellen in den USA und in Deutschland gearbeitet worden, um daraus Folgerungen für die bessere Gestaltung von Fahrer- und Mitfahrersitzen in aller Art Fahrzeugen, besonders aber in und auf Kraftfahrzeugen ableiten zu können [3 . . . 11]. Nach Unterbrechung durch den Krieg wurden diese Forschungen wieder aufgenommen und besonders in Deutschland wesentliche Fortschritte erzielt. Es würde zu weit führen, alle Veröffentlichungen, die auf diesem und den verwandten Gebieten bekannt geworden sind, hier aufzuführen, doch soll auf eine Anzahl der wichtigsten hingewiesen werden [2; 12 . . . 51]. In Deutschland arbeiteten an diesem Fragenkomplex insbesondere die Institute und Lehrstühle für Kraftfahrwesen der Technischen Hochschulen, die Max-Planck-Institute für Arbeitsphysiologie in Dortmund und für Landarbeit und Landtechnik in Bad Kreuznach, Institute der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig, medizinische Fakultäten, die Fachgruppe Schwingungstechnik des VDI und nicht zuletzt auch Forschungs- und Entwicklungsabteilungen großer Schlepper- und Automobilproduzenten. Die Forschungsergebnisse dieser Stellen wurden in Fachzeitschriften veröffentlicht; auch auf einer Anzahl von wissenschaftlichen Vortrags tagungen wurde dieses Thema behandelt, so beispielsweise auf der Tagung der Fachgruppe Fahrzeugtechnik (ATG) des VDI im März 1957 in Nürnberg [52 . . . 54] und auf der Tagung der gleichen Gesellschaft im Oktober 1962 in Braunschweig [55 . . . 59]. Eingehend befaßte sich auch die 22. Tagung der Landmaschinenkonstruktoren der FAL in Braunschweig im April 1964 mit diesen Problemen [60 . . . 62] sowie die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft auf ihrer Wintertagung 1962 in Wiesbaden [63] und der 11. Kongreß der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft im März 1964 in Darmstadt [64].

#### 1.2. Die VDI-Richtlinie 2057 und ihre Anwendbarkeit auf Schlepperschwingungen

Obwohl besonders in Deutschland, aber auch in den USA, auf diesem Gebiet schon viel Arbeit geleistet worden ist, bleibt noch viel zur Erforschung der Wirkung von Fahrzeugschwingungen auf den Menschen zu tun. Lediglich auf dem Gebiet der Einwirkung von sinusförmigen translatorischen Schwingungen vertikaler oder horizontaler Richtung im Bereich von 0,5 bis 80 Hz, wenn diese über die Sitzfläche oder die Füße auf den stehenden oder sitzenden Menschen übertragen werden, sind dank intensiver Forschungsarbeiten Erkenntnisse vorhanden. Es fehlt aber vorläufig immer noch ein international allgemein und vorbehaltlos