

Untersuchungen über das Pflügen mit Rautenkörpern

Von Heinrich J. Stubenböck, München*)

DK 631.312.4

Seit mehreren Jahren werden auch in der Bundesrepublik Deutschland Rautenpflüge angeboten. Über Vor- und Nachteile dieser Pflüge wird seither teilweise sehr kontrovers diskutiert, insbesondere hinsichtlich des Energiebedarfs und der konstruktiven Ausführung bestehender Geräte.

In dieser Arbeit wird über Untersuchungen über die Einsatzbereiche und den Energiebedarf beim Pflügen mit unterschiedlichen Furchenquerschnittsformen berichtet. Die Analyse des Einflusses dieser Querschnittsform auf die Gestaltung der Pflüge führt zu Vorschlägen für weitere Anwendungsmöglichkeiten von Rautenkörpern.

1. Einleitung

Derzeit werden in der Bundesrepublik Deutschland von drei Firmen Rautenpflüge mit einander ähnlichen bzw. identischen Körperformen angeboten. In mehreren Veröffentlichungen [1 bis 5] und in Firmenschriften [6] wurde über Vor- und Nachteile dieser neuen Pflüge berichtet.

Als vorteilhaft gelten der mögliche geringere Körperlängsabstand und damit eine geringere Gesamtlänge des Pfluges, der erweiterte Raum in der Furche für breitere Schlepperreifen infolge der schrägen Furchenwand und die Möglichkeit, den Rautenpflug bei größeren Tiefen/Breiten-Verhältnissen als bei konventionellen Pflügen einzusetzen. Als nachteilig werden Probleme bei der Seitenführung der Pflüge, der Umstand, daß keine Seche angebracht werden können, sowie der höhere Preis genannt.

Die Aussagen über Zugkraftbedarf und Arbeitsqualität sind teilweise widersprüchlich. In Firmenschriften werden zum Teil erhebliche Zugkraftverminderungen oder Flächenleistungserhöhungen angegeben. In den übrigen Veröffentlichungen wird ein teils geringerer, teils höherer Zugkraftbedarf angegeben, wobei als erhöhend das stärkere Anheben des Schwerpunkts des Bodenbalkens und die längere Schnittkante, als vermindern die geringere Streichblechbreite auf der Furchenseite genannt werden. Die Arbeitsqualität scheint dabei um so besser zu sein, je höher der Leistungsbedarf ist. Im folgenden wird über einige Zugkraftmessungen an Pflügen mit derzeit üblichen Rautenkörpern und mit konventionellen Pflugkörpern berichtet. Darüber hinaus werden die Einsatzmöglichkeiten von Rautenkörpern in allgemeiner Form betrachtet.

*) Dipl.-Ing. H.J. Stubenböck ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der Technischen Universität München.

2. Geometrie der Rautenpflugkörper

Rautenkörper sind dadurch gekennzeichnet, daß sie Bodenbalken abtrennen, deren Querschnittsfläche rautenförmig ist anstelle der rechteckigen Form bei konventionellen Pflugkörpern. Bild 1 zeigt die Vorderansicht eines üblichen Rautenkörpers, wie er für Arbeitsbreiten von meist 35–40 cm angeboten wird. Der Querschnitt des abgetrennten Bodenbalkens ist gestrichelt eingetragen.

Für die folgenden Betrachtungen wird ein von der tatsächlichen Form nur geringfügig abweichender, genau rautenförmiger Ersatzquerschnitt definiert, der durch den "Rautenwinkel" α gekennzeichnet ist. Der Rautenwinkel ist dabei in der Vorderansicht bestimmt als Winkel zwischen der Vertikalen und der Geraden durch die untere, landseitige Ecke des Pflugkörpers und den Schnittpunkt der Bodenoberfläche der Körperumrandung. Der Rautenwinkel der vorhandenen Körper ändert sich mit der Tiefe und liegt in den üblichen Arbeitsbereichen etwa zwischen 31° und 39° .

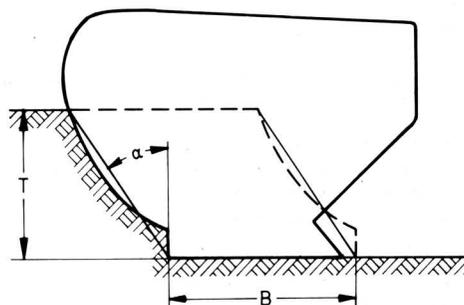


Bild 1. Vorderansicht eines Rautenpflugkörpers, Querschnitt des Bodenbalkens und Definition des Rautenwinkels α des Ersatzrautenquerschnitts.

3. Stabile Ablage des Bodenbalkens

Als Einsatzbereich eines Normalpfluges auf schwerem Boden wird in der Praxis ein Tiefen/Breiten-Verhältnis von etwa 0,65–0,85 angewandt, um zu vermeiden, daß der gewendete Bodenbalken in die Furche zurückfällt; bei leichteren Böden entfällt diese Begrenzung weitgehend.

Der Wendevorgang beim Streichblechpflug kann dabei auf folgende Weise angenähert werden, **Bild 2**: Der Bodenbalken wird vom Streichblech nach oben und zur Seite transportiert und dabei um die Längsachse gedreht. Durch Gleiten des Bodens auf dem Streichblech ergibt sich ein stärkeres Anheben (a), als es der Vorstellung des Drehens jeweils um die Eckpunkte entsprechen würde. Dieser Gleitvorgang ist dabei um so stärker, je höher die Fahrgeschwindigkeit ist. Im Verlauf dieses Vorgangs bricht der Boden vor dem Pflugkörper etwas auf, wird aber auf dem Streichblech wieder verdichtet; insgesamt kann angenommen werden, daß sich bis zum Ablegen des Bodenbalkens auf dem vorher gewendeten, abgelegten Bodenbalken keine wesentliche Volumen- oder Querschnittsflächenänderung ergibt.

Die zweite Phase des Vorgangs besteht in einer freien Gleit- und Fallbewegung des Bodens entlang der Oberfläche des vorherigen Bodenbalkens (b), bei der der Boden weiter aufbricht und zerfällt. Je nach der Arbeitstiefe kann dazu eine weitere Lockerung durch das auf dem Boden reibende Streichblech bzw. durch die Streichschiene kommen. Die Volumenvergrößerung des Bodens erfolgt im wesentlichen im Verlauf dieser zweiten Phase.

Als Vorteil des Rautenpflugs wurde bereits erwähnt, daß das erreichbare Tiefen/Breiten-Verhältnis gegenüber dem Normalpflug, insbesondere bei schweren kompakten Böden, ansteigt. Im folgenden wird näherungsweise angenommen, daß die Querschnittsfläche beim Wendevorgang beibehalten wird; das Gleiten des Bodens wird vernachlässigt.

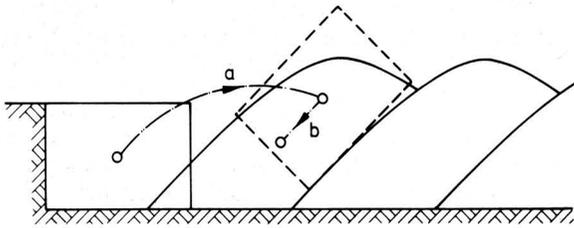


Bild 2. Modell des Wendevorgangs beim Streichblechpflug.

- a Hoch- und Seitentransport sowie Drehung des Bodenbalkens durch Einwirkung des Pflugkörpers; keine Volumenänderung
- b freie Gleit- und Fallbewegung des Bodenbalkens, verbunden mit Volumenvergrößerung

Bild 3 zeigt drei Arten, auf die der Bodenbalken abgelegt werden kann. Im Fall a wird der Boden nacheinander um zwei Eckpunkte gedreht und bleibt in einer stabilen Lage liegen, sofern der Schwerpunkt S wenigstens minimal über den zweiten Drehpunkt hinweg bewegt wird. In Abhängigkeit vom Rautenwinkel α muß der Boden nach der ersten Drehung nochmals mehr oder weniger hoch angehoben werden oder fällt von selbst in die Endlage.

Im Fall b erreicht der Bodenbalken eine stabile Endlage bereits bei der ersten Drehung. Eine Ablage dieser Art ist beim Normalpflug nur bei einem Tiefen/Breiten-Verhältnis von Eins möglich. Kommt bei Drehung um zwei Drehpunkte der Schwerpunkt des Bodenbalkens nicht über den zweiten Drehpunkt hinweg, so fällt der Boden in die Furche zurück, Fall c.

In **Bild 4** sind die Bereiche der stabilen Ablage der Fälle a und b in Abhängigkeit vom Tiefen/Breiten-Verhältnis und dem Rautenwinkel eingetragen. Auf den Fall a wurde bereits bei *Anisch und Richter* [7] hingewiesen. Die Bedingung für den Fall a lautet:

$$\alpha \leq \arctan \left[\frac{1}{T/B} - \frac{T/B}{\sqrt{1 - (T/B)^2}} \right] \quad (1)$$

Für den Fall b ergibt sich:

$$\alpha \geq \arccos (T/B) \quad (2)$$

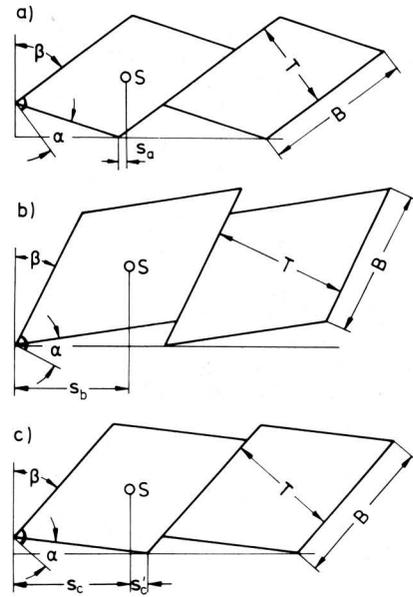


Bild 3. Stabile (a und b) und "instabile" (c) Lagen der gewendeten Bodenbalken.

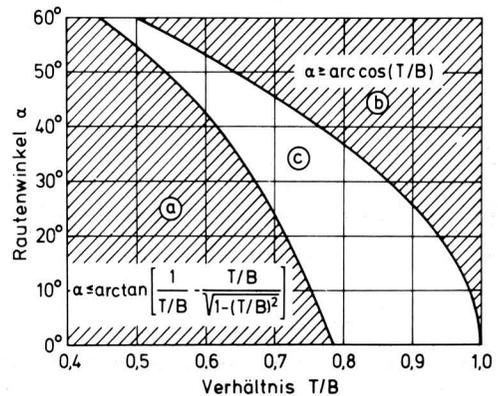


Bild 4. Bereiche für die stabilen (a und b) bzw. "instabilen" Lagen der gewendeten Bodenbalken in Abhängigkeit von der breitenbezogenen Arbeitstiefe T/B und vom Rautenwinkel α .

Als Maß für die Stabilität kann der horizontale Abstand s des Schwerpunkts vom Dreh- bzw. Auflagepunkt betrachtet werden. Bei leichteren Böden, die beim Wenden aufbrechen, wird sich im Fall c statt des theoretisch zu erwartenden Abstandes s_c der Abstand s_b ergeben, **Bild 3**.

In **Bild 5** sind, ausgedrückt als bezogene Größe s/B , die Abstände s_a und s_b als geschlossene Kurven eingetragen, für den Fall c ist der Abstand s_c gestrichelt angegeben. Man sieht, daß sich beim Normalpflug ($\alpha = 0$) eine theoretische Einsatzgrenze von $T/B = 0,78$ ergibt. Mit steigendem Rautenwinkel sinkt diese Grenze des Bereichs a ab, jedoch ergibt sich dann in stärkerem Maß eine stabile Ablage im Bereich b. Für die derzeit üblichen Rautenkörper ($\alpha \approx 35^\circ$) ist hier eine stabile Ablage ab einem Tiefen/Breiten-Verhältnis von 0,8 möglich, d.h. bei einer Arbeitsbreite von 35 cm oder 40 cm ergeben sich Arbeitstiefen ab 28 cm bzw. 32 cm.

Für das tiefere Pflügen bei schweren, kompakten Böden können sich damit für Rautenkörper Vorteile ergeben, sofern nicht auf noch breitere Normalkörper ausgewichen werden kann. Mit steigendem Rautenwinkel kann der Bereich b der stabilen Ablage zu geringeren Tiefen hin erweitert werden, z.B. läge bei einem Rautenwinkel von 45° die untere Grenze des Tiefen/Breiten-Verhältnisses bei 0,7.

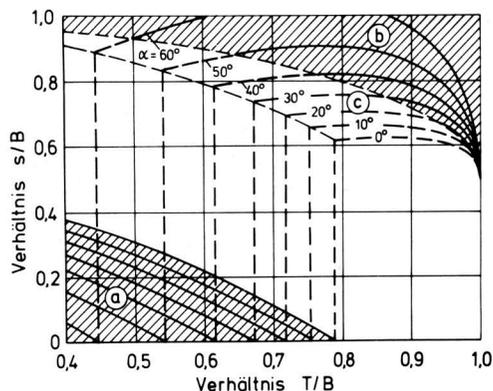


Bild 5. Breitenbezogener horizontaler Abstand des Schwerpunkts der abgelegten Bodenbalken vom Drehpunkt in Abhängigkeit von der breitenbezogenen Arbeitstiefe bei unterschiedlichen Rautenwinkeln, Bereiche a, b, c entsprechend der Definition in Bild 3.

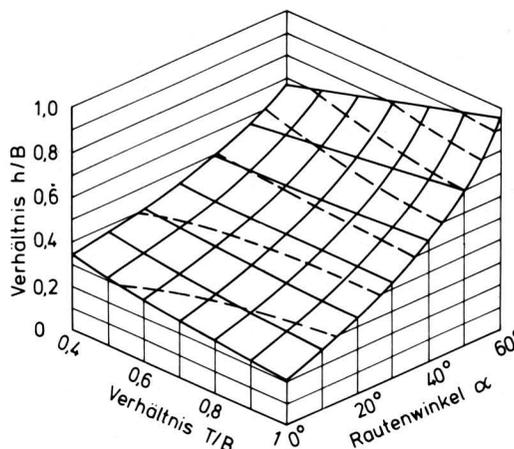


Bild 7. Breitenbezogene Hubhöhe des Schwerpunkts in Abhängigkeit vom Rautenwinkel und von der breitenbezogenen Arbeitstiefe.

4. Leistungsbedarf

Im folgenden wird der Einfluß der Querschnittsform des abgetrennten Bodenbalkens auf den Zugleistungsbedarf näher untersucht.

4.1 Anheben des Schwerpunkts

Unter der vereinfachenden Annahme, daß der Bodenbalken um das furchenseitige untere Ende gedreht wird, Bild 6, läßt sich die Höhe h bestimmen, um die der Schwerpunkt angehoben werden muß:

$$h/B = \frac{1}{2} (T/B) \left[\frac{1}{\sin \delta} - 1 \right] \quad (3)$$

wobei δ der Winkel zwischen der Horizontalen und der langen Rautendiagonale ist:

$$\delta = \arctan \left[\frac{T/B}{1 + (T/B) \tan \alpha} \right] \quad (4)$$

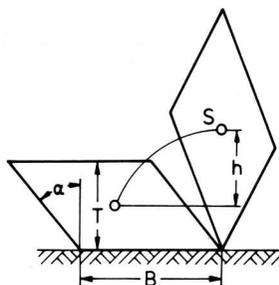


Bild 6. Definition der Größe "Hubhöhe des Schwerpunkts" h .

Bild 7 zeigt die breitenbezogene Schwerpunkthubhöhe in Abhängigkeit vom Rautenwinkel und von der breitenbezogenen Arbeitstiefe. Mit zunehmendem Rautenwinkel muß der Schwerpunkt höher angehoben werden. Diese Zunahme der Schwerpunkthubhöhe ist umso stärker, je tiefer gepflügt wird.

Hiermit ergibt sich für die reine Hubleistung P_h :

$$P_h/B = \rho g T h v_F \quad (5)$$

Die Zunahme des Leistungsbedarfs mit wachsendem Rautenwinkel führt jedoch nicht zu bedeutenden Werten, z.B. beträgt für einen üblichen, vierscharigen Rautenflug ($\alpha \approx 35^\circ$) bei einem Tiefen/Breiten-Verhältnis von 0,8 nach Bild 8 die Mehrleistung gegenüber einem Normalpflug ($\alpha = 0^\circ$) etwa 1,2 kW. Berücksichtigt man einen Schlepperwirkungsgrad von $\eta_S = 0,6$, so sind hierfür ca. 2 kW mehr an Schlepperleistung erforderlich. Nicht berücksichtigt sind hierbei die Reaktionskräfte an Sohle und Anlage, die für beide Fälle gleich angenommen sind.

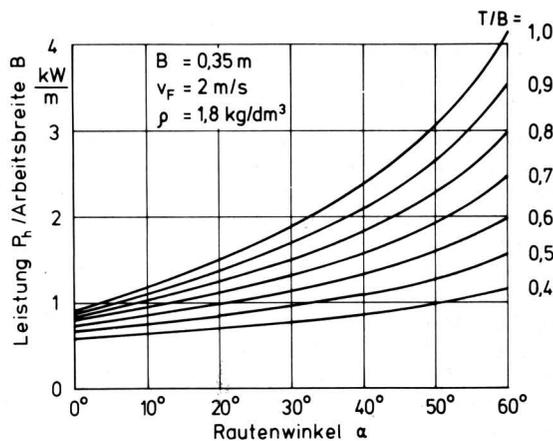


Bild 8. Auf die Arbeitsbreite bezogene Leistung für das Anheben des Schwerpunkts in Abhängigkeit vom Rautenwinkel bei unterschiedlichen breitenbezogenen Arbeitstiefen.

4.2 Beschleunigung und Seitentransport

Die Leistung für die vertikale Beschleunigung des Bodens ist ebenfalls direkt proportional zur Hubhöhe, da die Zeit für das Anheben gleich bleibt. Ein weiterer Leistungsmehrbedarf von Rautenkörpern wird durch den wachsenden Seitentransport und die damit steigende Seitenbeschleunigung bewirkt. Dazu sind hier Reaktionskräfte (Reibung Boden/Streichblech und Sohle/Furche) zu berücksichtigen. Da die gesamte Beschleunigungsleistung jedoch schon relativ gering ist, kann die Differenz zwischen Normal- und Rautenkörper weitgehend vernachlässigt werden.

4.3 Schnittkantenlänge

Die Länge l_s der Schnittkante bei der exakten Raute ist proportional zur Arbeitstiefe und nimmt mit wachsendem Rautenwinkel zu, **Bild 9**. Der übliche Rautenkörper ist zum Vergleich gestrichelt eingetragen. Legt man näherungsweise einen Trennwiderstand von 1 kN/m zugrunde [8], so ergibt sich aus der größeren Schnittkantenlänge, wieder für einen Vierscharpflug bei einem Tiefen/Breiten-Verhältnis von 0,8, ein Anstieg des Leistungsbedarfs zwischen Normal- und Rautenpflug von ca. 0,7 kW bzw. eine Schlepermehrleistung von 1,2 kW.

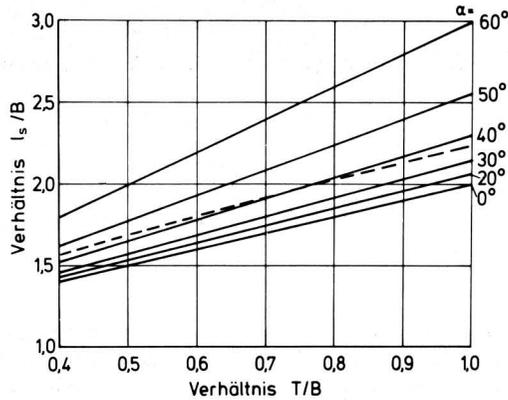


Bild 9. Auf die Breite bezogene Länge der Schnittkanten in Abhängigkeit von der bezogenen Arbeitstiefe bei unterschiedlichen Rautenwinkeln; gestrichelt: derzeit angebotene Rautenpflugkörper.

4.4 Reibung am abgelegten Bodenbalken

Eine Erhöhung des Zugkraftbedarfs tritt, insbesondere beim tiefen Pflügen, durch den Reibungswiderstand des Streichblechs bzw. der Streichschiene am abgelegten Bodenbalken auf. Daraus resultiert ebenfalls eine Erhöhung der Seitenkraft, deren Reaktionskraft in der Anlage zu einer weiteren Zugkrafterhöhung führt.

Da mit zunehmendem Rautenwinkel die seitliche Ausdehnung des Streichblechs auf der Furchenseite abnimmt, tritt die Berührung zwischen Streichblech und gewendetem Boden bei immer größeren Arbeitstiefen ein. **Bild 10** zeigt als breitenbezogene Größe die minimale Arbeitstiefe, bei der das Streichblech den abgelegten Bodenbalken berührt, in Abhängigkeit vom Rautenwinkel. Die eingezeichneten Punkte entsprechen üblichen Universal- bzw. Rautenpflugkörpern, die Zwischenwerte wurden nach einfachen Streichblechentwürfen abgeschätzt. Mit zunehmendem Rautenwinkel wird somit der Bereich, in dem keine Berührung erfolgt, zu größeren Tiefen hin erweitert.

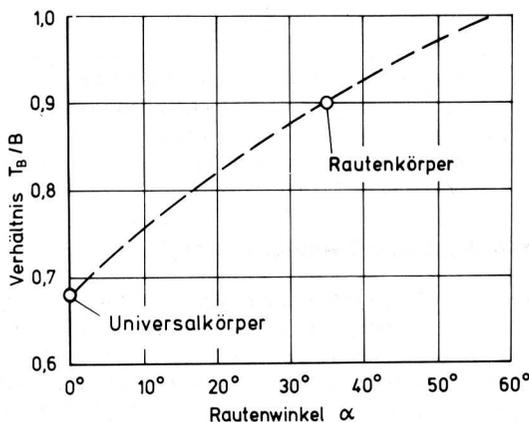


Bild 10. Breitenbezogene minimale Arbeitstiefe, bei der das Streichblech am abgelegten Bodenbalken reibt, in Abhängigkeit vom Rautenwinkel; Arbeitsbreite $B = 35$ cm.

4.5 Zugkraftmessungen

4.5.1 Meßeinrichtung, Versuchsdurchführung

Die auf einen Pflugkörper wirkenden Kräfte lassen sich in Längs-, Seiten- und Vertikalkraftanteile aufteilen. Die resultierenden Kraftkomponenten schneiden sich im allgemeinen nicht in einem Punkt und lassen sich daher auch nicht zu einer resultierenden Kraft allein zusammenfassen. Diese Belastung kann dargestellt werden als Kraftkreuz, als resultierende Kraft mit einem Restmoment oder als Kraftschraube, d.h. als resultierende Kraft R und ein in derselben Richtung wirkendes Moment MR , das kleinste mögliche Restmoment, **Bild 11**. Die Richtung von R und MR wird als Zentralachse bezeichnet.

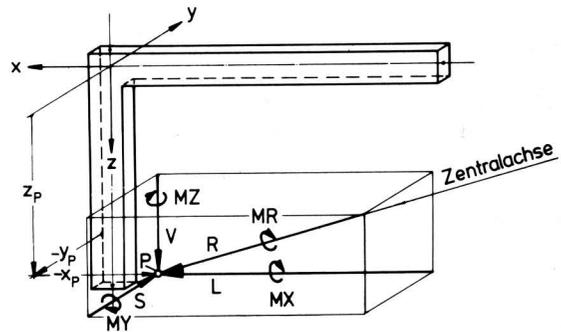


Bild 11. Kräfte und Momente, die auf ein Streichblech bzw. auf einen Grindel wirken.

Zur Erfassung dieser Belastung sind die sechs Komponenten L , S und V der Resultierenden R und MX , MY und MZ des Restmomentes MR zu bestimmen. Hierfür wird ein ähnlicher Meßgrindel verwendet, wie ihn *Queitsch* [9] beschrieben hat. Der Meßgrindel ist mit Dehnmeßstreifen beklebt, wodurch eine problemlose Messung der Belastungsanteile ermöglicht wird. Die Anordnung der Dehnmeßstreifen, **Bild 12**, wurde dabei so abgeändert, daß die drei Kraftkomponenten sowie an drei Stellen die auftretenden Biegemomente M_x , M_y und M_z direkt ermittelt werden können. In **Tafel 1** ist die Beeinflussung der Dehnmeßstreifen durch die Belastungskomponenten dargestellt; die für die Messungen gewählten Zuordnungen sind gekennzeichnet. Die Komponenten des Restmomentes MX , MY und MZ sowie die Gleichung der Zentralachse sind damit errechenbar. Der Koordinatenursprung wird am Grindel körperfest gewählt, da bei Verwendung unterschiedlicher Pflugkörper eine Anpassung mehrerer Abmessungen in den Gleichungen nötig wäre, wenn ein pflugkörperfester Bezugspunkt gewählt würde.

Der Meßgrindel ist aus zwei hochfesten, vergüteten Rechteckstahlstangen (Werkstoff Nr. 1.6580) gefertigt, die durch Platten verbunden sind. Die mechanische Überlastsicherung (Scherschraube) ist auf eine maximale Längskraft von 15 kN ausgelegt. An den Meßstellen ist der Querschnitt verringert, um ausreichende Dehnungen der Dehnmeßstreifen zu erhalten; die größeren Abmessungen der restlichen Querschnitte halten die gesamte Grindeldurchbiegung ausreichend gering.

Bei der Verteilung der Dehnmeßstreifen wurde gefordert, daß die auftretenden Belastungen direkt gemessen werden können. Die lageunabhängige Ermittlung der Kräfte erfolgt durch jeweils 4 Meßaufnehmer (Wheatstonesche Brücke), die Biegemomente werden lagebestimmt durch zwei Meßaufnehmer (Halbbrücke) ermittelt. Im Hinblick auf eine möglichst hohe Meßgenauigkeit war eine umfangreiche Kalibrierung nötig, bei der auch die gegenseitigen Beeinflussungen der Dehnmeßstreifen ermittelt wurden, mit denen bei einer derartigen Anordnung der Meßaufnehmer und mehrachsigen Beanspruchungen zu rechnen ist.

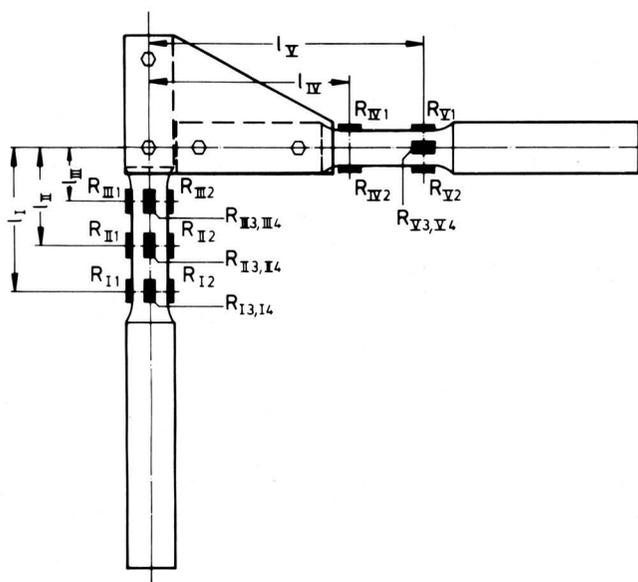


Bild 12. Meßgrindel und Lage der Dehnmeßstreifen.

	L	S	V	MX bzw. M _x	MY bzw. M _y	MZ bzw. M _z
R _{I1, I2}	(X)		X		X	
R _{I3, I4}		(X)	X	X		
R _{II1, II2}	X		X		(X)	
R _{II3, II4}		X	X	(X)		
R _{III1, III2}	(X)		X		X	
R _{III3, III4}		(X)	X	X		
R _{IV1, IV2}	X		(X)		X	
R _{V1, V2}	X		(X)		X	
R _{V3, V4}	X	X				(X)

Tafel 1. Beeinflussung der Dehnmeßstreifen durch die Belastungskomponenten; die für die Messung gewählten Zuordnungen sind durch Kreise gekennzeichnet.

Für die Messungen wurde ein Zweischar-Beetpflug verwendet, der nach dem Baukastenprinzip noch auf drei Körper erweiterbar ist, Bild 13. Die Schnittbreite je Körper ist, in Stufen von je 5 cm, bis 45 cm verstellbar. Der Meßgrindel wird als zweiter Grindel angebaut, um durch den vorauslaufenden Körper eine konstante Schnittbreite zu erhalten. Die Meßpflugkörper werden ohne Anlage und Sohle eingesetzt, damit Seiten- und Vertikalkräfte nicht dadurch abgestützt werden, sondern im Grindel gemessen werden können. Wird ohne dritten Körper gepflügt, so läßt sich eine geringe Abstützung dieser Kräfte jedoch nicht vollständig vermeiden. Vorschäler und Seche werden nicht verwendet.



Bild 13. Zweischar-Meßpflug mit Rautenpflugkörpern; Meßgrindel mit Kunststoffolie abgedeckt.

Für die Versuche standen sowohl neue als auch bereits benutzte Universal- und Rautenpflugkörper zur Verfügung¹⁾; die Universalkörper waren mit Spitzscharen, die Rautenkörper wurden sowohl mit Spitz- als auch mit Schnabelscharen ausgerüstet. Die Arbeitsbreite war auf 35 cm eingestellt. Die Arbeitstiefe wurde im Bereich von 20 cm bis über 30 cm gewählt und wurde mit Hilfe eines Stützrades begrenzt; am Kraftheber war Schwimmstellung eingestellt. Die Versuche wurden im Sommer und Herbst 1979 auf zwei Feldern in der Nähe Münchens durchgeführt, und zwar auf einem steinhaltigen, sandigen Lehm ("Münchener Schotterebene") und auf steinfreiem Lehm.

Bei jeweils konstanter Tiefe wurden die Messungen bei vier bis sechs Geschwindigkeitsstufen jeweils drei- bis fünfmal wiederholt. Alle Meßsignale wurden auf Magnetband, die Längskraftsignale zur Kontrolle zusätzlich auf einem UV-Galvanometerschreiber aufgezeichnet. Zur Messung der Geschwindigkeit wurde ein Peiselerad verwendet.

4.5.2 Meßergebnisse

Im folgenden werden die Meßergebnisse dargestellt, die auf steinfreiem Lehm mit bereits gebrauchten Pflugkörpern gewonnen wurden; die Rautenkörper waren dabei mit Schnabelscharen ausgerüstet. Ein Austausch der etwas abgenutzten Schare gegen neue brachte keine Änderung des Zugkraftbedarfs, Vergleichsmessungen mit neuen Körpern ergaben dagegen einen höheren Pflugwiderstand.

Bild 14 zeigt die spezifischen Pflugwiderstände beider Körper in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei den drei untersuchten Tiefen 22, 26 und etwa 30 cm. Die gezeichneten Verläufe stellen Regressionskurven durch die Meßpunkte dar, wobei ein parabolischer Kurvenverlauf zugrunde gelegt wurde. Der spezifische Pflugwiderstand nimmt hier beim Rautenkörper im allgemeinen stärker mit der Geschwindigkeit zu als beim Universalkörper. Der Grund hierfür könnte darin liegen, daß der Rautenkörper eine etwas "steilere" Streichblechform als der untersuchte Universalkörper hat.

¹⁾ Den Firmen Joh. Gassner KG, Göggenhofen, Rabewerk, Bad Essen-Linne, und Gebr. Eicher GmbH, Forstern, sowie den Herren Festl, Auhofen, und Stockmayr, Baldham, sei auch an dieser Stelle für die Unterstützung bei diesen Untersuchungen gedankt.

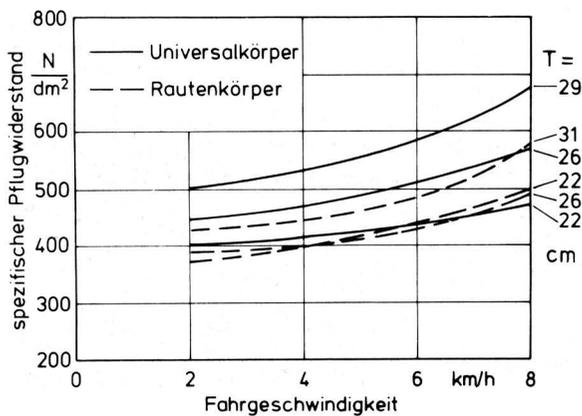


Bild 14. Spezifischer Pflugwiderstand in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. (Standort: Auhofen, Bodenart: Lehm, Dichte: $1,72 \text{ g/cm}^3$, Feuchte: 26 %, Arbeitsbreite je Körper: 35 cm).

In Bild 15 sind die spezifischen Pflugwiderstände beider Körper in Abhängigkeit von der Tiefe dargestellt, wofür bei den untersuchten Tiefen jeweils die Punkte der Regressionskurven aus Bild 14 bei 4, 6 und 8 km/h verwendet wurden. Beim Rautenkörper ist der spezifische Pflugwiderstand bei 22 und 26 cm nahezu gleich groß, d.h. in diesem Bereich unabhängig von der Arbeitstiefe und steigt erst bei größeren Tiefen an. Beim Universalkörper wächst der spezifische Pflugwiderstand auch schon bei geringeren Arbeitstiefen progressiv mit der Tiefe.

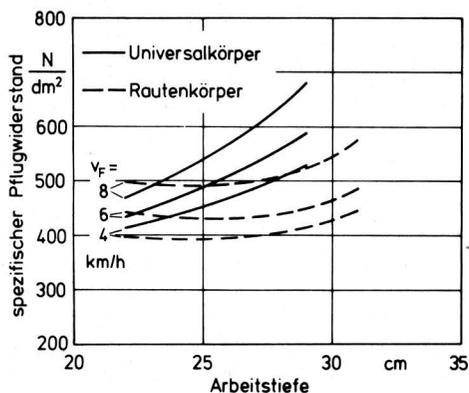


Bild 15. Spezifischer Pflugwiderstand in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe.

Vergleicht man beide Körperarten, so sieht man bei der geringen Arbeitstiefe von 22 cm etwa gleiche Widerstände, im wesentlichen Geschwindigkeitsbereich von 6 bis 8 km/h zeigt sich dabei ein etwas höherer Widerstand des Rautenkörpers. Bei Arbeitstiefen von 26 und ca. 30 cm sind deutlich geringere Pflugwiderstände beim Rautenkörper ersichtlich. In Bild 16 ist das Verhältnis der spezifischen Pflugwiderstände des Rauten- und Universalkörpers aufgetragen. Bei Arbeitstiefen von, je nach Fahrgeschwindigkeit, ca. 21 bis 23 cm sind, wie erwähnt, die spezifischen Pflugwiderstände beider Körper gleich; mit zunehmender Tiefe wird das Verhältnis zugunsten des Rautenkörpers kleiner. Für eine Arbeitstiefe von 26 cm ergibt sich hiernach bereits eine Zugkraftverminderung von rund 15 %, bei ca. 30 cm von rund 25 %.

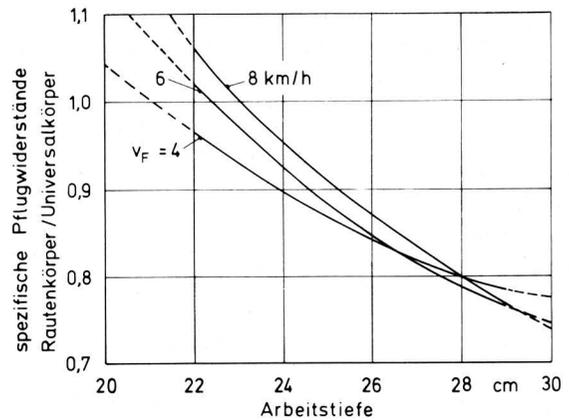


Bild 16. Verhältnis des spezifischen Pflugwiderstands des Rautenkörpers zu jenem des Universalkörpers in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe.

Bei den Messungen auf steinhaltigem, sandigem Lehm ergab sich bei 24,5 cm Arbeitstiefe, daß beide Körper denselben Leistungsbedarf haben, während bei 20 cm der Rautenkörper ca. 20 % höhere Werte aufwies. Auch hierbei war der spezifische Pflugwiderstand beim Rautenkörper bei beiden Tiefen nahezu gleich.

Diese Ergebnisse lassen vermuten, daß bei geringen Tiefen – und hier insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten – beim Rautenkörper die widerstandserhöhenden Einflüsse der größeren Schwerpunktshöhe, der stärkeren Beschleunigung und der längeren Schnittkante die größte Rolle spielen. Bei weiter steigender Tiefe dürfte die eher einsetzende Reibung des Universalkörperstreichblechs am abgelegten Boden den beherrschenden Einfluß auf den unterschiedlichen Pflugwiderstand ausüben. Das wird auch durch Messungen gestützt, die bei geringeren Arbeitstiefen beim Rautenkörper einen geringeren Anstieg der Seitenkraft mit der Tiefe als beim Universalkörper ergaben. Je nach Boden und Geschwindigkeit ergibt sich eine bestimmte Tiefe, in der sich diese Einflüsse ausgleichen und die spezifischen Widerstände beider Körper gleich sind. Bei den hier durchgeführten Messungen liegt diese Tiefe in einem Bereich von ca. 22 bis 25 cm bzw. einem Tiefen/Breiten-Verhältnis von 0,63 bis 0,71.

5. Anordnung der Pflugkörper

Die heute angebotenen Rautenpflüge können gegenüber vergleichbaren Normalpflügen kürzer gebaut werden, wobei von den Herstellern eine mögliche Verkürzung von etwa 15–25 cm je Körper genannt wird [6]; *Stroppel* gibt hierfür 10–15 cm an [5]. *Anisch* und *Richter* [7] zeigen allgemein die Grundlagen für eine Verringerung des Körperlängsabstandes auf.

5.1 Berührungsfreies Wenden, Körperlängsabstand

Der Längsabstand der Pflugkörper folgt aus der Bedingung, daß ein verstopfungsfreies Wenden des Bodenbalkens gewährleistet sein muß. Der minimale Abstand wird dabei von der Querschnittsform des Bodenbalkens, der Verwendung von Vorschälern, der Grindelform und -größe, der Größe der Anlage, dem Bewuchs und der Bodenart bestimmt. Im folgenden soll in Abhängigkeit von der Furchenform das Extrem einer Abstandsverkürzung untersucht werden, bei dem zwei Körper nebeneinander angeordnet sind. Voraussetzung hierfür ist, daß keine Vorschäler verwendet werden und möglichst wenig Bewuchs vorhanden ist.

Das berührungsfreie Wenden zweier nebeneinander liegender Bodenbalken ist nur möglich, wenn sich die Querschnittsflächen in keiner Phase der Drehung überschneiden. Das Kriterium hierfür ist, **Bild 17**, der horizontale Abstand d zweier Querschnitte in jener Lage, in der die kleinen Diagonalen der Querschnittsfläche auf einer Linie liegen. Etwa in dieser Stellung steht, insbesondere durch die Anordnung des Grindels, der geringste Raum für den Bodenbalken zur Verfügung. Der Fall, daß sich die Bodenquerschnitte hier überdecken, d.h. der Abstand d negativ ist, braucht dabei nicht weiter behandelt zu werden. Diese Vorstellung gilt bis zu einem Tiefen/Breiten-Verhältnis von ca. 0,5; bei geringeren Tiefen wird die betrachtete Lage bei zu kleinen Wendewinkeln erreicht und ist für das untersuchte Problem nicht mehr aussagefähig.

Der Abstand d ergibt sich in Abhängigkeit vom Rautenwinkel und der Arbeitstiefe zu:

$$d/B = 1 - \sqrt{(T/B)^2 + [1 - (T/B) \tan \alpha]^2} \quad (6)$$

Je größer der Abstand d ist, um so sicherer kann verstopfungsfrei gepflügt werden. Ein Abstand $d = 0$ genügt nicht, da noch Raum für das Streichblech, den Grindel bzw. einen günstigeren Körperträger und die Anlage berücksichtigt werden muß. **Bild 18** zeigt, daß für eine konstante breitenbezogene Tiefe mit steigendem Rautenwinkel der Abstand d bis zu einem Höchstwert ansteigt und darüber wieder fällt. Das Maximum wird, je nach der Arbeitstiefe, bei einem Rautenwinkel

$$\alpha_{\max} = \operatorname{arccot}(T/B) \quad (7)$$

erreicht. Die maximale Arbeitstiefe wird in Abhängigkeit vom erforderlichen Abstand d bestimmt zu:

$$T_{\max}/B = 1 - d/B \quad (8)$$

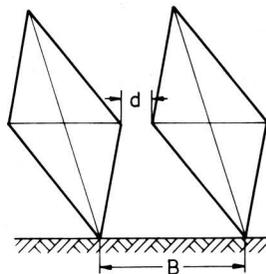


Bild 17. Definition der Größe "horizontaler Abstand der Bodenbalken" d .

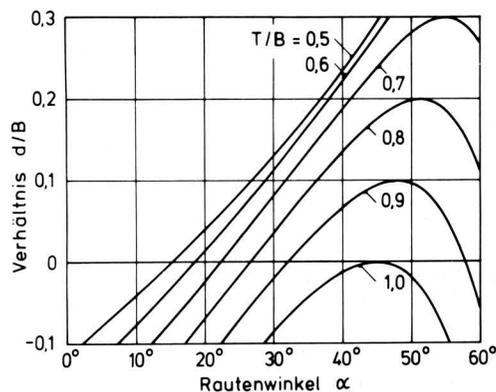


Bild 18. Auf die Breite bezogener horizontaler Abstand zweier nebeneinander liegender Bodenbalken beim Wenden in Abhängigkeit vom Rautenwinkel.

Bild 19 gibt ein anschauliches Bild der Abhängigkeit zwischen horizontalem Abstand, Tiefe und Rautenwinkel und macht deutlich, daß für einen konstanten Rautenwinkel mit zunehmender Tiefe der breitenbezogene horizontale Abstand stark abnimmt. Je flacher demnach gepflügt wird, umso größer wird bei sonst gleichen Verhältnissen der horizontale Abstand d und umso stärker kann der Körperlängsabstand reduziert werden.

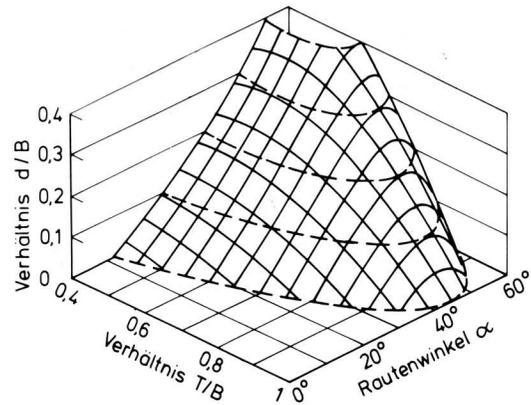


Bild 19. Breitenbezogener horizontaler Abstand zweier nebeneinander liegender Bodenbalken beim Wenden in Abhängigkeit von der breitenbezogenen Arbeitstiefe und vom Rautenwinkel.

Die bisherigen Überlegungen berücksichtigen nicht, daß sich die Querschnittsfläche des Bodenbalkens senkrecht zur Fahrtrichtung während des Pflügens ändert. Auf dem Streichblech bilden sich im Boden Scherebenen aus, wobei jedoch die Dichte des Bodens im wesentlichen unverändert bleibt; die eigentliche Auflockerung tritt erst beim Verlassen des Streichblechs ein. Nach *Söhne* [10] kann der Wendevorgang auf dem Streichblech schematisch in der Weise dargestellt werden, wie er sich einem mit dem Pflug mitfahrenden Beobachter darbieten würde, d.h. als bewegter Boden auf einem feststehenden Streichblech, **Bild 20**.

Vor und hinter dem Streichblech ist hierbei die Geschwindigkeit des Bodens gleich der Fahrgeschwindigkeit v_F ; auf dem Streichblech wird der Boden zur Seite bewegt, wobei sich die Schwerpunktgeschwindigkeit zu v_S ergibt, die geringer als v_F sein kann, d.h. der Boden wird dann vom Pflug in Längsrichtung mitgenommen. Je lockerer ein Boden ist, je steiler das Streichblech ist und je schneller gepflügt wird, umso größer kann diese Längsverlagerung sein. Nach der Kontinuitätsbedingung bleibt bei konstanter Dichte das Produkt aus der Schwerpunktgeschwindigkeit und der Querschnittsfläche senkrecht zur Bewegungsrichtung konstant. Ausgehend von der Querschnittsfläche A_0 des Bodenbalkens vor dem Streichblech, wird sich damit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsverminderung die Querschnittsfläche vergrößern zu:

$$A_S = \frac{A_0}{v_S/v_F} \quad (9)$$

Für den horizontalen Abstand beim Wenden nebeneinanderliegender Bodenbalken ist jedoch die Querschnittsfläche A_d senkrecht zur Fahrtrichtung ausschlaggebend, wofür noch der Seitenrichtungswinkel φ des Streichblechs zu berücksichtigen ist. Die maximale Ablenkung wird dann erreicht, wenn die Schwerpunktgeschwindigkeit parallel zur Streichblechseitenrichtung verläuft. Für diesen Bereich ergibt sich die Flächenvergrößerung zu:

$$\frac{A_d}{A_0} = \frac{1}{v_S/v_F} \frac{1}{\cos \varphi} \quad (10)$$

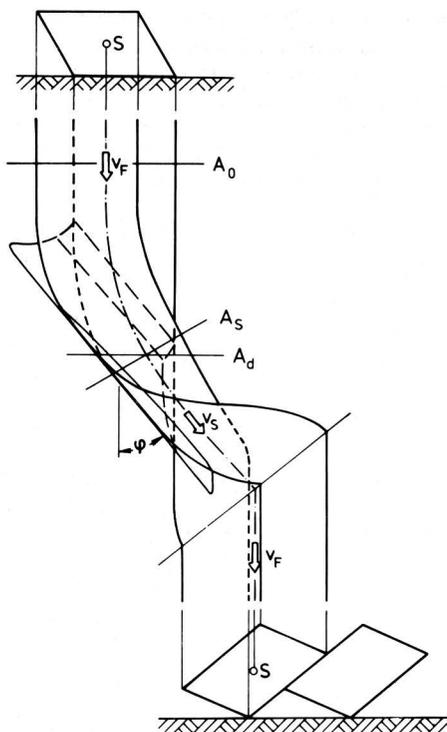


Bild 20. Schematische Darstellung der Bewegung des Bodenbalkens auf dem Streichblech.

In **Bild 21** ist zu sehen, wie dieses Flächenverhältnis umso höhere Werte annimmt, je geringer die Geschwindigkeit auf dem Streichblech ist und je stärker das Streichblech angestellt ist. Stellt man sich vor, daß die Querschnittsvergrößerung senkrecht zur Fahr- richtung dadurch bewirkt wird, daß Bodenelemente entlang der Scherebenen aneinander gleiten, so bleibt die Ausgangsbreite B der Querschnittsfläche erhalten und nur die "Tiefe T " vergrößert sich. Zur Ermittlung des horizontalen Abstands d nach Gl. (6) bzw. Bild 19 ist damit die Arbeitstiefe T noch mit dem Faktor A_d/A_0 aus Gl. (10) bzw. Bild 21 zu multiplizieren:

$$d/B = 1 - \sqrt{\left[\frac{T/B}{(v_S/v_F) \cos \varphi} \right]^2 + \left[1 - \frac{(T/B) \tan \alpha}{(v_S/v_F) \cos \varphi} \right]^2} \quad (11).$$

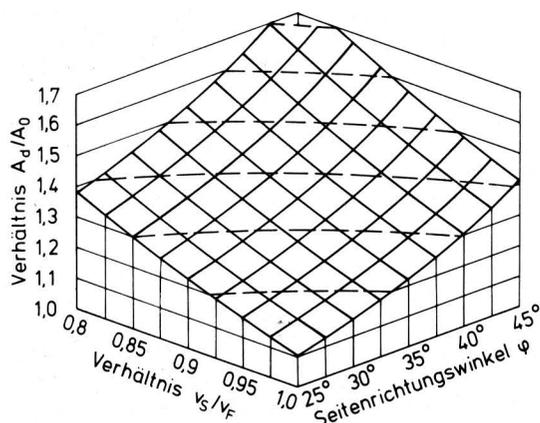


Bild 21. Querschnittsfläche A_d des Bodenbalkens auf dem Streichblech senkrecht zur Fahr- richtung, bezogen auf die Querschnitts- fläche A_0 vor dem Streichblech, in Abhängigkeit vom Verhältnis der Schwerpunktgeschwindigkeit auf dem Streichblech zur Fahr- geschwindigkeit und vom Seitenrichtungswinkel des Streichblechs.

Legt man einen kleinstmöglichen breitenbezogenen horizontalen Abstand $d/B = 0,15$ zugrunde, so könnte ohne Berücksichtigung der Querschnittsflächenänderung mit quer angeordneten handels- üblichen Rautenkörpern mit einem Rautenwinkel von etwa 35° ein Tiefen/Breiten-Verhältnis von $0,65$ erreicht werden. Berücksichtigt man noch die Vorgänge auf dem Streichblech, so erhält man bei einem Seitenrichtungswinkel von etwa 35° und einer Verringerung der Geschwindigkeit um 5% ein Querschnittsflä- chenverhältnis von ca. $1,28$. Damit ergibt sich ein maximales Tie- fen/Breiten-Verhältnis von $0,5$, d.h. eine Arbeitstiefe von 17 bis 20 cm bei Arbeitsbreiten von 35 bis 40 cm. Steigert man den Rautenwinkel auf 45° , so wäre bei gleichen Bedingungen wie zuvor ein Tiefen/Breiten-Verhältnis von $0,65$ erreichbar, was bei gleich- bleibenden Arbeitsbreiten eine Arbeitstiefe von 23 bis 26 cm er- gäbe.

5.2 Einsatzmöglichkeiten von Rautenkörpern in Geräten geringerer Baulänge

Die Verwirklichung eines Pfluges für große Arbeitstiefen mit ne- beneinander angeordneten Körpern erscheint unwahrscheinlich, jedoch könnte es möglich sein, hier den Körperlängsabstand noch weiter zu reduzieren als bisher, indem man Körper mit größeren Rautenwinkeln, z.B. 45° , verwendet. Problematisch wäre jedoch bei starker Abstandsverkürzung die Anbringung von Vorarbeits- werkzeugen, während der Anstieg im Leistungsbedarf gering bliebe.

Für flacheres Pflügen wäre eine Anordnung als Querpflug dagegen schon denkbar, evtl. auch mit gesteigertem Rautenwinkel der Körper. Infolge der geringen Baulänge wäre eine Kombination mit Nachfolgegeräten möglich. Diese Anordnung könnte ein Er- satz für den herkömmlichen Schälplflug oder eine Alternative zum Grubber in jenen Bereichen sein, wo man dessen Nachteile, wie insbesondere die unsaubere Ackeroberfläche, vermeiden möchte. Vom Leistungsbedarf her liegt dieses Gerät jedoch in einem un- günstigeren Bereich.

Eine Verwendung quer angeordneter Rautenkörper wäre auch bei tieferer Bodenbearbeitung möglich, dann jedoch in Verbindung mit anderen Werkzeugen. **Bild 22** zeigt schematisch ein kombinier- tes Bodenbearbeitungswerkzeug, das aus einem oberflächennah wirkenden Rautenkörper und einem tiefer reichenden Lockerungsschar in Form einer angestellten Platte besteht. Ein solches Werkzeug wendet nur die obere Bodenschicht, Bewuchsreste wer-

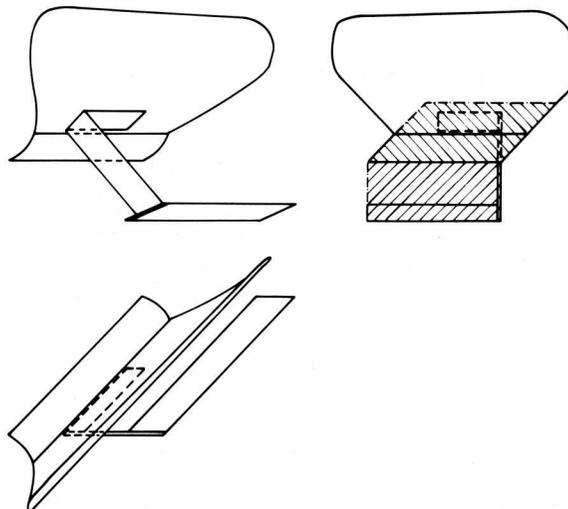


Bild 22. Schematische Darstellung eines kombinierten Bodenbear- beitungswerkzeugs aus Rautenkörper und Lockerungsschar; Ar- beitstiefe ca. 30 cm, Arbeitsbreite ca. 35 cm. Der Bearbeitungs- querschnitt ist schraffiert dargestellt.

den in diese Schicht eingemischt und nicht tief vergraben. Der zum Teil immer noch geforderte "reine Tisch" für nachfolgende Sägeräte wäre gegeben. Die Anordnung der Lockerungsschare erfolgt dabei so, daß einerseits genügend Raum für das Aufbrechen des Bodens nach vorne vorhanden ist, andererseits die Halterung das Wenden des benachbarten Bodenbalkens nicht behindert. Diese Halterung würde zugleich als Anlage der Pflugkörper dienen. Falls nicht neben der Furche gefahren werden könnte, wäre am innersten Werkzeug das Lockerungsschar zu entfernen und dafür nach außen zu setzen. Zum Anpflügen wäre dieses Schar evtl. herauszunehmen. Vorteilhaft erscheint dabei noch die flachere Schleppeperradsole, die zudem sofort wieder gelockert wird. Eine Verbindung mit Nachfolgegeräten wäre möglich. Für das Gerät ist ein geringerer Leistungsbedarf zu erwarten als für einen vergleichbaren Pflug derselben Arbeitstiefe und -breite.

6. Zusammenfassung

Ausgehend von der Geometrie des Bodenbalkenquerschnitts und einer vereinfachten Vorstellung des Wendens, werden theoretische Überlegungen zur stabilen Ablage der Bodenbalken, zum Leistungsbedarf und zur Anordnung von Pflugkörpern mit rautenförmigem Bearbeitungsquerschnitt dargelegt. Über Zugkraftvergleichsmessungen an Rauten- und Universalpflugkörpern wird berichtet, wobei auf den untersuchten Böden für die Rautenkörper bei geringer Arbeitstiefe ein höherer, bei größerer Tiefe ein kleinerer spezifischer Pflugwiderstand als bei den Universalkörpern festgestellt wurde. Kurz betrachtet werden auch Möglichkeiten für den Einsatz von Rautenkörpern bei Pflügen mit geringerem Körperlängsabstand, wobei an die Verwendung größerer Rautenwinkel und die Verbindung mit weiteren Werkzeugen zu denken ist.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Nowotny, M.*: Hat der Rautenpflug Zukunft? Agrartechnik international Bd. 56 (1977) Nr. 8, S. 8/9.
- [2] *Clausing, F.*: Der Rautenpflug – pro und kontra. DLG-Mitteilungen Bd. 92 (1977) Nr. 24, S. 1319/21.
- [3] *Blackstein, R.*: Der Rautenpflug. Agrartechnik international Bd. 57 (1978) Nr. 1, S. 8/9.
- [4] *Stroppel, A. u. R. Reisch*: Vergleichende Untersuchungen an Rauten- und Normalpflugkörpern. Grundl. Landtechnik Bd. 29 (1979) Nr. 3, S. 73/78.
- [5] *Stroppel, A.*: Vergleichende Untersuchungen an Streichelehpflügen mit rautenförmigen und rechteckigen Bearbeitungsquerschnitten. Vortrag Internation. Tagung Landtechnik, Braunschweig, 7.–9.11.1979.
- [6] Unterlagen der Firmen Huard, Gassner und Rabewerk.
- [7] *Anisch, S. u. R. Richter*: Zum Arbeitsprinzip eines Kurzfluges auf der Grundlage des Wendens von Bodenbalken mit parallelogrammförmigem Querschnitt. Agrartechnik 27. Jg. (1977) H. 7, S. 323/25.
- [8] • *Pietsch, H.*: Zur Berechnung von Kräften an Bodenbearbeitungswerkzeugen mit besonderer Berücksichtigung von Drängeräten. Diss. TU München 1977.
- [9] *Queitsch, K.*: Eine elektrische 6-Komponenten-Meßeinrichtung zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte an einem Bodenbearbeitungswerkzeug. Agrartechnik 18. Jg. (1968) H. 3, S. 109/11.
- [10] *Söhne, W.*: Einige Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. Grundl. Landtechnik Heft 7 (1956) S. 11/27.

Einfluß der geometrischen Parameter auf die Dosiergenauigkeit von Schneckendosierern für Kraftfuttermittel

Von Bernd J. Scholtysik, München*)

Aus den Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 141 "Produktionstechniken der Rinderhaltung"

DK 636.084:621.86.08:621.867.4

Bei den in der Rinderhaltung für eine mechanisierte Kraftfutterzuteilung eingesetzten Geräten werden oft Schnecken als Dosierorgane verwendet. Im vorliegenden Beitrag werden Untersuchungen über den Einfluß der Schneckengeometrie (Durchmesser, Steigung, Gangzahl) auf die Genauigkeit der dosierten Rationen beschrieben. Die Ergebnisse lassen sich mit Hilfe der Schwankungen der geförderten Masse erklären.

1. Einleitung

Aus arbeitswirtschaftlichen und ernährungsphysiologischen Gründen wird versucht, in der Rinderhaltung die Kraftfutterzuteilung stärker zu mechanisieren. Mit einer täglich mehrmaligen, der individuellen Leistung des Tieres angepaßten Kraftfutterzuteilung sollen die Bedingungen einer "biologischen Fütterung" verwirklicht

werden [1]. Dadurch soll das "genetische Leistungspotential der Tiere optimal ausgenutzt" werden, ohne daß wegen der notwendigen hohen Kraftfuttermengen Verdauungsstörungen auftreten.

Für eine leistungsbezogene Fütterung muß man nicht nur die individuellen Tierleistungen und die Nährstoffgehalte der Futtermittel kennen, sondern man braucht auch geeignete Dosiereinrichtungen. Aus der Sicht der Tierernährung sollen mit diesen Geräten die gewünschten Rationen mit Abweichungen vom Sollwert kleiner als 5 % zuteilt werden.

In der Praxis haben sich für die mechanisierte Kraftfutterzuteilung sogenannte Melkstandautomaten und transpondergesteuerte Abrufautomaten eingeführt. Bei diesen Geräten wird das Kraftfutter nach dem Volumen dosiert, wobei wegen schwankender Stoffeigenschaften (z.B. der Struktur, Dichte und des Feuchtegrads) prinzipiell eine Kalibrierung der Geräte notwendig ist. Eine Laboruntersuchung von in der Praxis üblichen Kraftfutterdosierern zeigte z.T. erhebliche Unterschiede in der Dosiergenauigkeit bei verschiedenen Gerätebauformen [2]. Bei den in der Praxis eingesetzten Kraftfutterdosierern werden oft Schnecken als Dosierorgane verwendet. Um festzustellen, wie die geometrischen Parameter der Schnecke die Dosiergenauigkeit beeinflussen, wurden Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse im folgenden beschrieben werden.

*) Dipl.-Ing. B.J. Scholtysik ist wiss. Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der Technischen Universität München.