

Anpassung der Pflugkörperform an höhere Fahrgeschwindigkeiten

Von W. Söhne, Braunschweig-Völkenrode

In der ersten Mitteilung über dieses Forschungsvorhaben sind bereits einige Gründe angeführt, weshalb ein schnelleres Pflügen zur Steigerung der Flächenleistung zu erwarten ist [1]. Es darf angenommen werden, daß sich die Tendenz zum Schlepper mit höherer Leistung in Zukunft in gleichem Maße fortsetzen wird, wie sie jetzt schon besteht. Sie wird weiterhin durch die zunehmende Verbreitung der Vollerntemaschinen, Stallmiststreuer, Feldhäcksler, Hochdruckpressen und dergleichen gefördert.

Zur Erhöhung der Flächenleistung beim Pflügen kann man

1. die Zahl der Pflugkörper bei gleichbleibender Pfluggeschwindigkeit erhöhen,
2. die Geschwindigkeit bei gleichbleibender Körperzahl erhöhen und
3. sowohl die Körperzahl als auch die Geschwindigkeit erhöhen.

Beispielsweise möchte ein Landwirt, der bisher zweischarig mit 4,7 km/h gepflügt hat, seine Flächenleistung um 50% steigern. Er kann dies dadurch erreichen, daß er bei gleicher Geschwindigkeit dreischarig pflügt. Dazu braucht er einen Schlepper mit 1½-fachem Gewicht, 1½-facher Motorleistung und rd. dem 1½-fachen Preis. Er kann aber auch wie bisher zweischarig mit einer 1½-fachen Pfluggeschwindigkeit pflügen. Dazu braucht er einen Schlepper mit rd. 1,6-facher Motorleistung, der nur 10% mehr wiegt und nur wenig mehr zu kosten braucht als der seitherige.

Wir glauben, daß in wenigen Jahren nach Entwicklung entsprechender Pflugkörper und Schlepper die Lösung 2 rationeller und billiger sein wird.

Als zweites Beispiel strebe ein Landwirt, der bisher dreischarig mit 4,7 km/h gepflügt hat, an, seine Flächenleistung zu verdoppeln. Dann hat er die in **Tafel 1** zusammengestellten theoretischen Möglichkeiten.

Tafel 1. Möglichkeiten zur Erhöhung der Flächenleistung von dreischarigen Pflügen auf das Doppelte bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von $v = 4,7$ km/h.

Pflugkörperzahl	Schleppergewicht	Schlepperleistung	Geschwindigkeit km/h
6	2 fach	2 fach	4,7
5	1,7 fach	2,05 fach	5,6
4	1,44 fach	2,15 fach	7,1
3	1,15 fach	2,3 fach	9,4

Es ist anzunehmen, daß in wenigen Jahren die Lösung mit vier, wenn nicht mit drei Pflugkörpern am rationellsten und billigsten sein wird. Um die Flächenleistung durch schnelleres Pflügen zu erhöhen, darf man nicht etwa einen Schlepper, der einen zwei- oder dreischarigen Pflug auf schwerem Boden ziehen kann, leichter machen und gar die Zahl der Pflugkörper verringern. Man muß vielmehr den für verschiedene Betriebsgrößen bestimmten Schlepper-(Gewichts-)klassen für Ein- bis Vierscharpflüge bei jeweils gleichbleibendem Gewicht eine höhere Motorleistung geben, um bei gleicher Pflugkörperzahl schneller pflügen zu können.

Privatdozent Dr.-Ing. Walter Söhne VDI ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

Untersuchungen von Lorenz im Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL sowie eine amerikanische Mitteilung lassen erkennen, daß die Pflugkosten je ha mit zunehmender Geschwindigkeit zu einem flachen Minimum absinken, dann aber wieder ansteigen. Bei leichtem Boden mag dieses Minimum bei 7 bis 9 km/h, auf schwerem Boden bei 6 bis 8 km/h liegen. Mit steigenden Löhnen kann sich das Minimum der spezifischen Pflugkosten noch mehr zu höheren Geschwindigkeiten verschieben.

Auf Grund unserer früheren Arbeiten [1] war es möglich, Zusammenhänge zwischen der Körperform, der Zugkraft und dem Furchenaufwurf zu finden und Forderungen aufzustellen, wie ein Pflugkörper für eine höhere Geschwindigkeit etwa beschaffen sein soll. Die damaligen Pflugversuche waren aber alle nur auf einem leichten Boden gemacht. Inzwischen wurden sie auf drei verschiedenen Böden wiederholt, so daß die folgenden Aussagen, die sich im Grundsätzlichen nicht von den früheren unterscheiden, mit größerer Sicherheit gemacht werden können¹⁾²⁾.

Die untersuchten Pflugkörperformen

Von der Pflugindustrie wurden uns für die Untersuchungen eine große Anzahl Pflugkörper zur Verfügung gestellt³⁾; außerdem wurden weitere, vorwiegend ausländische Pflugkörper dazu erworben. Im ganzen sind aber die Pflugkörper mehr oder weniger zufällig zusammengetroffen, insbesondere fehlen extreme Pflugkörperformen. Es wurden deshalb zwei Körperformen der

¹⁾ 2. Mitteilung über die laufenden Untersuchungen, die mit dankenswerter Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und des Kuratoriums für Technik in der Landwirtschaft durchgeführt werden.

²⁾ Die Pflugversuche wurden von den Herren Ing. R. Möller, Dr. H. Bernacki und R. Bruer durchgeführt und ausgewertet. Bei dem Entwurf der Pflugkörper für höhere Geschwindigkeit wirkte Ing. R. Möller mit.

³⁾ Hierfür sei auch an dieser Stelle den Firmen Gebr. Eberhardt, Ventzki, Printz und Överum sowie dem National Institute of Agricultural Engineering in Silsoe/England, gedankt.

Tafel 2. Die untersuchten Pflugkörperformen.

Kurzzeichen	Körperform	Hersteller	Körperbenennung	Bild	siehe Bild in [1]
A	Kulturform	DIN 11119	M 25	1	7
B	Kulturform	DIN 11119	L 25	—	9
C	Kulturform	Niedersachsenwerk	MAM	—	—
D	Universalform	Ventzki	Tordix	2	11
E	Universalform	IHC	AHP C 2 R 12"	3	13
F	Universalform	John Deere	HS 354 NC	—	12
G	Universalform	IHC	spitz 12"	7	—
H	Wendelform	Eberhardt	BW 7	5	15
I	Wendelform	Eberhardt	MBW 9	—	—
K	Wendelform	Massey-Ferguson	Semidigger	4	14
L	Wendelform	Printz	KG 2	9	—
M	Wendelform	Överum	SM	8	—
N	Wendelform	DIN 11119	W 22	—	10
P	Schraubenform	Massey-Ferguson	General Purpose	6	8
R	Schraubenform	Ransomes	RBBU 862 B	10	—

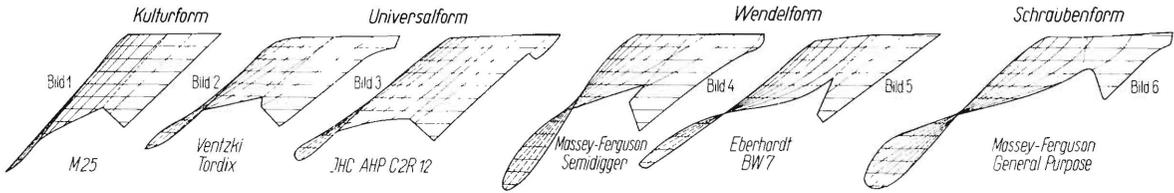


Bild 1 bis 6. Beispiele für die vier Gruppen von Pflugkörperformen.

Firmen Ransomes und International Harvester, die sich besonders dafür eignen, so abgeändert, daß sie als extreme Körperformen der Universal- und Schraubenformen gelten können.

Die Pflugkörperformen werden im Einvernehmen mit dem Institut für Bodenbearbeitung der FAL [2] in folgende vier Gruppen eingeteilt (s. a. **Tafel 2**):

- I. Kulturformen,
- II. Universalformen,
- III. Wendel- bzw. Halbschraubenformen und
- IV. Schraubenformen.

In den **Bildern 1 bis 6** sind einige Grundrisse dieser Gruppen dargestellt⁴⁾. Das Beispiel einer Kulturform ist der Normkörper M 25 in Bild 1. Er ist aus den früheren zylindrischen Formen hervorgegangen. In diese Gruppe gehören ferner der liegende Normkörper L und die steilen Normkörper S und SK [3]. Die Kulturformen haben gerade horizontale Formlinien und sind kaum verwunden.

Alle Beispiele der Universalformen, die aus der Kulturform für Schlepperpflüge weiter entwickelt worden sind, sind in Bild 2 und 3 der Körper Tordix der Firma Ventzki und der Highspeed-Körper AHP C2R 12 der Firma International Harvester Comp. dargestellt. Die Universalformen unterscheiden sich von der Kulturform durch konvex nach hinten gewölbte horizontale Formlinien und durch eine größere Verwindung ausschließlich am Streichblechende.

Als Beispiele der Wendelformen sind der Massey-Ferguson-Semidigger, Bild 4, und der Eberhardt BW 7, Bild 5, dargestellt. Die Wendelformen haben ebenfalls konvex oder auch konkav gewölbte Formlinien und sind über den ganzen Streichblechbereich hinweg verwunden. Sie bilden den Übergang zu den englischen Schraubenformen, von denen Bild 6 den Massey-Ferguson General-Purpose-Körper wiedergibt.

Bild 7 zeigt die Universalform „IHC-spitz“ mit sehr kleinem Scharschneidewinkel. Sie ist aus dem 16" schneidenden IHC-Highspeed-Körper AHC C2R 16" entstanden, von dem der gestrichelte Teil abgeschnitten worden ist. Dadurch wird der Scharschneidewinkel von 40° auf 30° verringert, womit in der Reihe der untersuchten Universalkörper ein Körper mit ungewöhnlich kleinen Seitenrichtungswinkeln der horizontalen Formlinien für die Versuche zur Verfügung steht. Diese Änderung ist natürlich nur als Behelfslösung anzusehen.

Bild 8 und 9 zeigen den Överum SM und den Printz KG 2 als weitere Beispiele der Wendelformen in drei Ansichten. Beide Körper haben etwas konvex gewölbte horizontale Formlinien, sind flach, haben kleine Seitenrichtungswinkel am Streichblechende und sind über den ganzen Streichblechbereich verwunden. Sie sollten deswegen relativ gut für mittlere Geschwindigkeiten geeignet sein, doch ist die Streichblechoberkante hierfür nicht genug hochgezogen. Der Överum SM hat ungewöhnlich breite Meißelschare für steinige Böden.

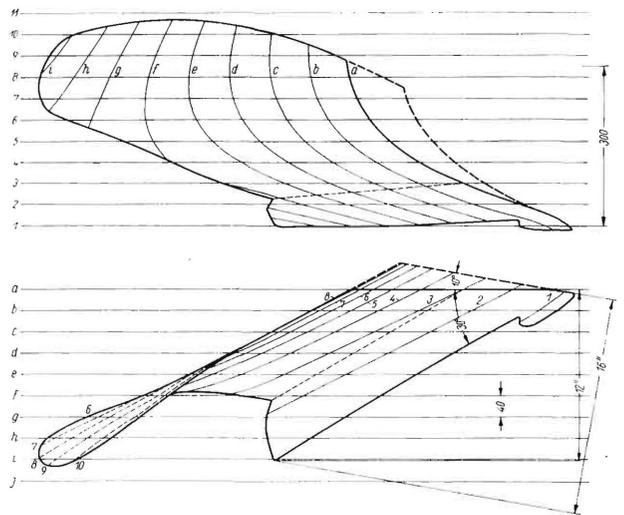


Bild 7. Aus einem IHC Highspeed-Körper AHP C2R 16" (Arbeitsbreite $b = 16''$) entstandener spitzer Universalkörper (IHC spitz) für 12" Arbeitsbreite.

Schnittbreite des Scharas	$b_s = 322 \text{ mm}$
Gesamtbreite des Körpers	$b_{ges} = 335 \text{ mm}$
Gesamtlänge des Körpers	$l_{ges} = 1010 \text{ mm}$
Gesamthöhe des Körpers	$h_{ges} = 390 \text{ mm}$
Scharschneidewinkel	$\varphi_{1a} = 30^\circ$
Seitenrichtungswinkel am Streichblechende	$\varphi_s = 16^\circ$
Schnittwinkel an der Scharspitze	$\delta_{a1} = 19^\circ$
Schnittwinkel am Scharende	$\delta_{f1} = 14^\circ$
Anstellwinkel in Punkt A	$\delta_A = 79^\circ$
Anstellwinkel in Punkt B	$\delta_B = 124^\circ$

(s. a. Bild 6 in [1])

⁴⁾ Weitere Darstellungen von Pflugkörpern sind in [1] enthalten.

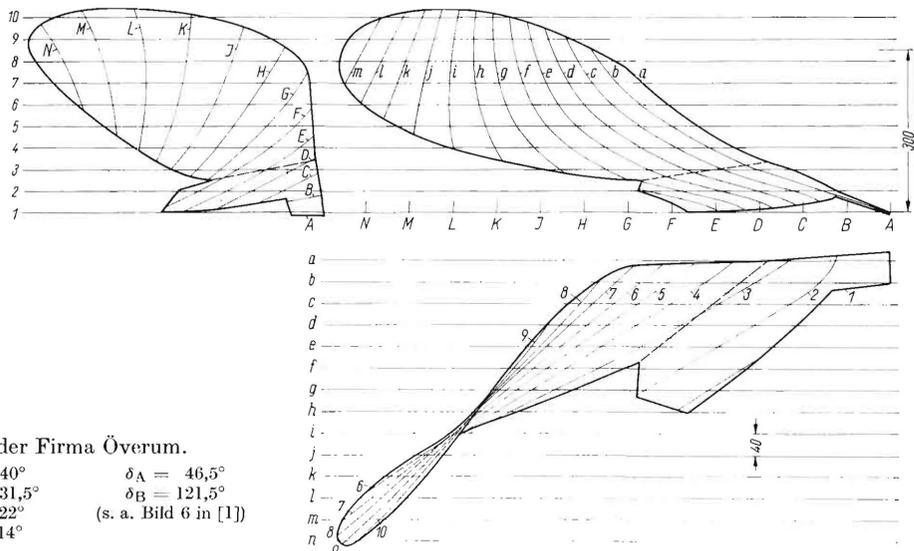


Bild 8. Wendelform SM der Firma Överum.

$b_s = 280 \text{ mm}$	$\varphi_{1a} = 40^\circ$	$\delta_A = 46,5^\circ$
$b_{ges} = 528 \text{ mm}$	$\varphi_s = 31,5^\circ$	$\delta_B = 121,5^\circ$
$l_{ges} = 1015 \text{ mm}$	$\delta_{a1} = 22^\circ$	(s. a. Bild 6 in [1])
$h_{ges} = 375 \text{ mm}$	$\delta_{f1} = 14^\circ$	

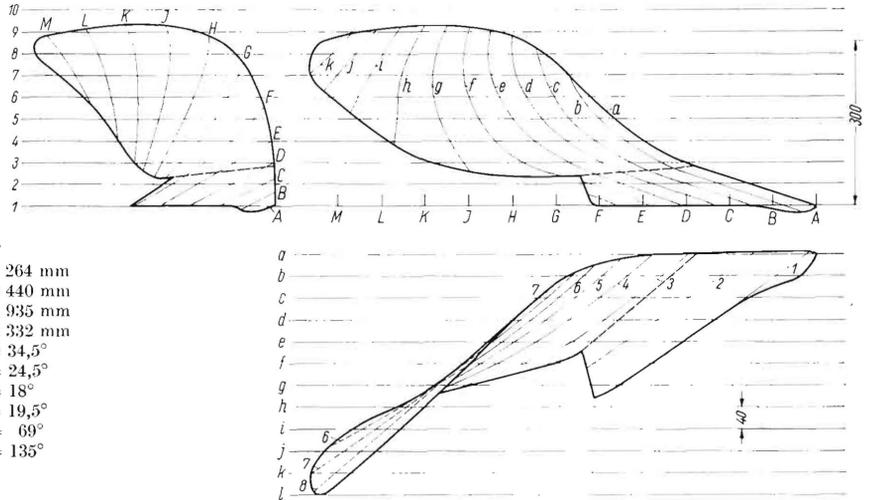


Bild 9. Wendelform KG2 der Firma Printz.

Schnittbreite des Schares $b_s = 264 \text{ mm}$
 Gesamtbreite des Körpers $b_{ges} = 440 \text{ mm}$
 Gesamtlänge des Körpers $l_{ges} = 935 \text{ mm}$
 Gesamthöhe des Körpers $h_{ges} = 332 \text{ mm}$
 Scharschneidewinkel $\varphi_{1a} = 34,5^\circ$
 Seitenrichtungswinkel am Streichblechende $\varphi_s = 24,5^\circ$
 Schnittwinkel an der Scharspitze $\delta_{a1} = 18^\circ$
 Schnittwinkel am Scharende $\delta_{f1} = 19,5^\circ$
 Anstellwinkel in Punkt A $\delta_A = 69^\circ$
 Anstellwinkel in Punkt B $\delta_B = 135^\circ$

(s. a. Bild 6 in [1])

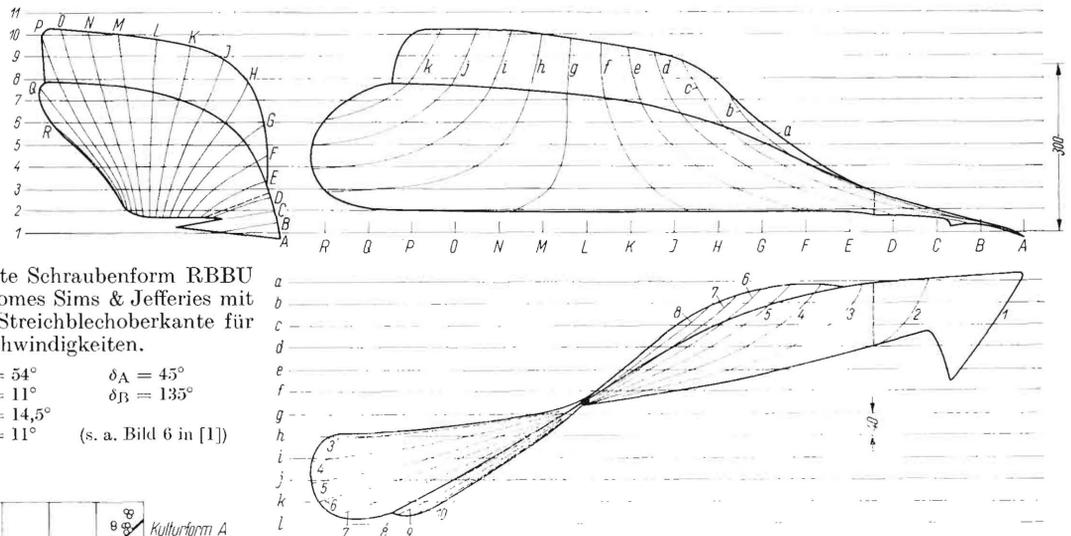


Bild 10. Langgestreckte Schraubenform RBBU 862 B der Firma Ransomes Sims & Jefferies mit Aufsatzblech an der Streichblechoberkante für höhere Geschwindigkeiten.

$b_s = 180 \text{ mm}$ $\varphi_{1a} = 54^\circ$ $\delta_A = 45^\circ$
 $b_{ges} = 430 \text{ mm}$ $\varphi_s = 11^\circ$ $\delta_B = 135^\circ$
 $l_{ges} = 1310 \text{ mm}$ $\delta_{a1} = 14,5^\circ$
 $h_{ges} = 368 \text{ mm}$ $\delta_{f1} = 11^\circ$

(s. a. Bild 6 in [1])

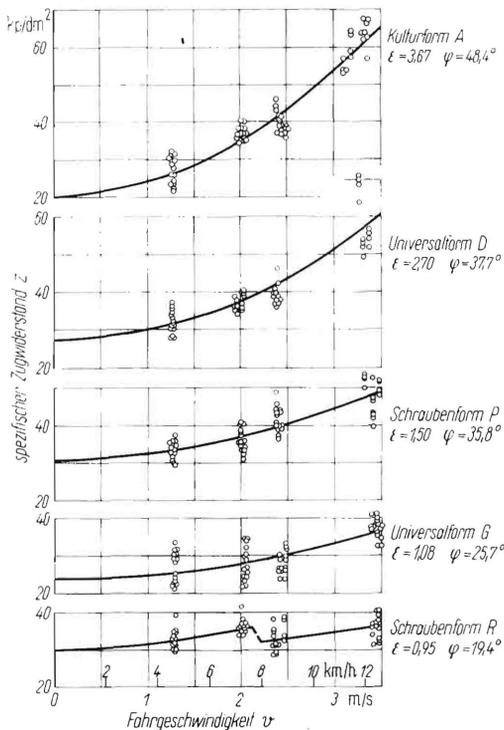


Bild 11. Spezifischer Zugwiderstand verschiedener Pflugkörper auf einem flachgeschälten Lößboden in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Porenanteil im ungeschälten Boden 42 bis 45%
 Feuchtigkeit an der Oberfläche 15%; Feuchtigkeit an der Pflugsohle 10%

In **Bild 10** ist eine ganz extrem langgestreckte Schraubenform, der Körper RBBU 862 B der Firma Ransomes Sims & Jefferies dargestellt. Um zu verhindern, daß der Boden bei höherer Geschwindigkeit über die Streichblechoberkante hinwegsprüht, ist ein Blech an der Streichblechoberkante aufgesetzt worden; dieser Aufsatz reicht aber für höhere Geschwindigkeiten noch nicht aus. Der Körper ist ungewöhnlich flach und spitz und in seiner extremen Form für unsere Versuche besonders interessant. Er ist als Wettbewerbspflug zum Umpflügen von Grasland entwickelt worden.

In Tafel 2 sind sämtliche untersuchten Pflugkörperformen unter dem Kurzzeichen aufgeführt, unter dem sie in den folgenden Darstellungen erscheinen.

Der spezifische Zugwiderstand

Bei den Pflugversuchen im Sommer und Herbst 1959 wurden auf drei verschiedenen mittleren und schweren Böden, **Tafel 3**, die Zugkraft, der Furchenaufwurf, der Bodenseitentransport und die Krümelung gemessen. **Bild 11** zeigt den spezifischen Zugwiderstand verschiedener Pflugformen auf einem flachgeschälten Lößboden in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Das Bild zeigt gleichzeitig die Streuungen, die sich auf diesem Boden ergaben. Die Messungen wurden nach der Pflugwiderstandsformel von *Gorjatschkin* [4]

$$z = z_0 + \epsilon v^2$$

ausgewertet. Danach setzt sich der Widerstand z aus einem statischen, von der Geschwindigkeit unabhängigen Anteil z_0 und einem dynamischen, mit dem Quadrat der Geschwindigkeit steigenden Anteil $\epsilon \cdot v^2$ zusammen. Die Parabeln in **Bild 11**

Tafel 3. Kornfraktionen und Zustand der untersuchten Böden.

Versuchsort	Grobsand %	Feinsand %	Schluff %	Ton %	Bodenbezeichnung und Zustand	Feuchtigkeit %
Völkensrode	43	39	13	5	Sandiger Lehm — (Stoppel)	13
Bodenstedt	2	58	30	10	trockener harter Lehm (Löß) — (Stoppel)	7
Liedingen	1,5	60	25,4	13,1	geschälter Lehm (Löß)	{ Oberfläche 15 Pflugschleife 10
Salzdahlum	9,9	49,4	21,4	19,3	geschälter humoser, toniger Lehm	{ trocken: 15 feucht: 21

sind nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate berechnet worden. Dabei zeigt sich, daß sich die Ergebnisse im allgemeinen gut durch Parabeln darstellen lassen. Auf Grund der Gesetze der Mechanik ist das auch zu erwarten. Der Faktor ϵ , der den Anstieg der Parabel über der Geschwindigkeit bestimmt, hängt im wesentlichen von dem Seitenrichtungswinkel φ am Streichblechende ab. Bei der Kulturform M 25 beträgt $\varphi = 48^\circ$ und für den untersuchten Lößboden der entsprechende Faktor $\epsilon = 3,67$. Die Seitenrichtungswinkel und entsprechend auch die ϵ -Werte nehmen in der Reihenfolge der Pflugkörper in Bild 11 ab.

Die Bilder 12 bis 15 zeigen spezifische Pflugwiderstände auf drei verschiedenen Böden bei vier verschiedenen Zuständen. Von allen Pflugformen und auf allen Böden nimmt der spezifische Zugwiderstand der Kulturform A (M 25) oder der Kulturform C am meisten mit der Geschwindigkeit zu. Auf zwei Böden, auf denen die Schraubenform R (Ransomes) und die Universalform G (IHC spitz) eingesetzt wurden, haben diese den schwächsten Anstieg des Zugwiderstandes mit der Geschwindigkeit. Die Reihenfolge, in der der Zugwiderstand mit der Körperform zunimmt, entspricht also im großen ganzen der Erwartung. Je kleiner der Seitenrichtungswinkel am Streichblechende ist, um so kleiner ist im allgemeinen der Anstieg des Zugwiderstandes mit der Geschwindigkeit.

Während sich aber eine solche Gesetzmäßigkeit für den Anstieg der Widerstände mit der Pflugkörperform feststellen läßt, war dies leider mit dem statischen Wert z_0 , also dem theoretischen spezifischen Zugwiderstand bei der Geschwindigkeit Null (bzw. bei sehr kleiner Geschwindigkeit), nicht der Fall. Der Grund hierfür liegt vermutlich darin, daß bei diesen Messungen der Zugwiderstand des Pflugkörpers mit Sohle und Anlage, jedoch ohne ein vorlaufendes Scheibensech gemessen wurde. Außerdem war die Stellung des nicht mitgemessenen Stützrades bei den einzelnen Körpern am Einkomponentenpflug verschieden. Das alles kann einen Einfluß auf den statischen Zug-

widerstand z_0 haben. Diese Umstände haben jedoch vermutlich keinen Einfluß auf den dynamischen Anstieg des Zugwiderstandes mit der Geschwindigkeit, also auf den Wert ϵv^2 . In der Reihenfolge der einzelnen Körper hinsichtlich des Zugwiderstandes können bei verschiedenen Böden Unterschiede auftreten. So hat die Wendelform L auf dem harten, trockenen Lößboden den niedrigsten Widerstand, während sie auf dem tonigen Lehm bei höherer Geschwindigkeit an dritthöchster Stelle liegt. Diese Streuungen wirken sich vor allem bei den z_0 -Werten aus.

Wie bereits erwähnt, steigt der dynamische Anteil des Pflugwiderstandes ϵv^2 mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit, mit der Größe der seitlichen Ablenkung und der Verdrehung, die der Bodenbalken erfährt. Die entscheidende Größe dabei ist die seitliche Ablenkung. In Bild 16 ist der Wert ϵ über dem Seitenrichtungswinkel am Scharende aufgetragen. Die Streuung der Werte ist deswegen so hoch, weil die ϵ -Werte von vier verschiede-

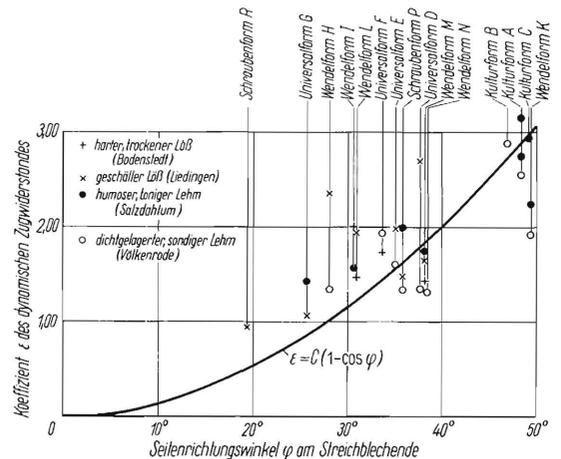
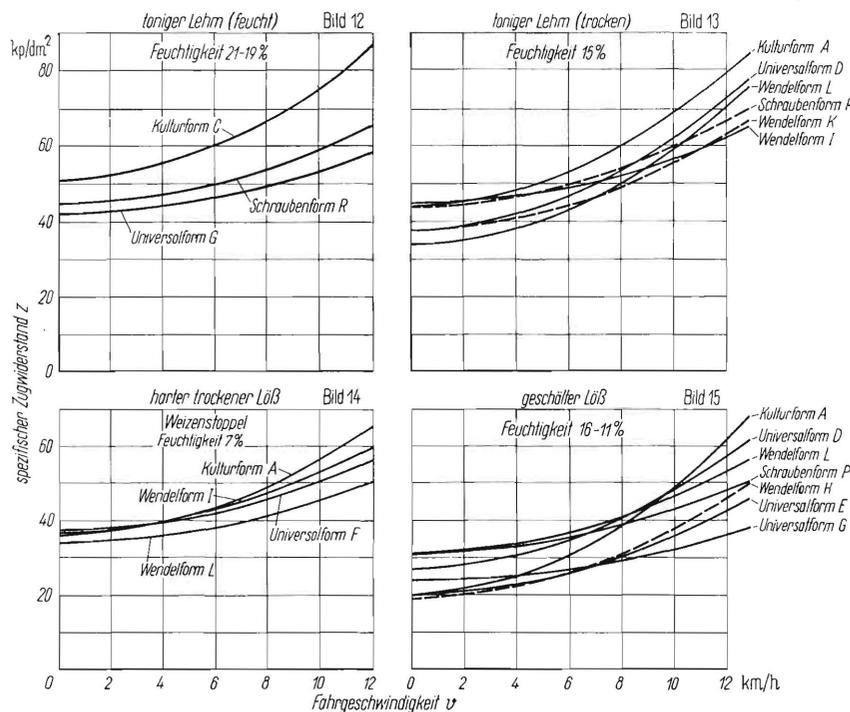


Bild 16. Koeffizient ϵ des dynamischen Zugwiderstandes in Abhängigkeit vom Seitenrichtungswinkel φ der verschiedenen Pflugkörper am Streichblechende.

$$\text{Zugwiderstand } z = \begin{matrix} z_0 & + & \epsilon v^2 \\ \text{statischer} & & \text{dynamischer} \\ \text{Anteil} & & \text{Anteil} \end{matrix}$$

Bild 12 bis 15. Spezifischer Zugwiderstand verschiedener Körper in Abhängigkeit von der Pflugeschwindigkeit auf verschiedenen Böden.

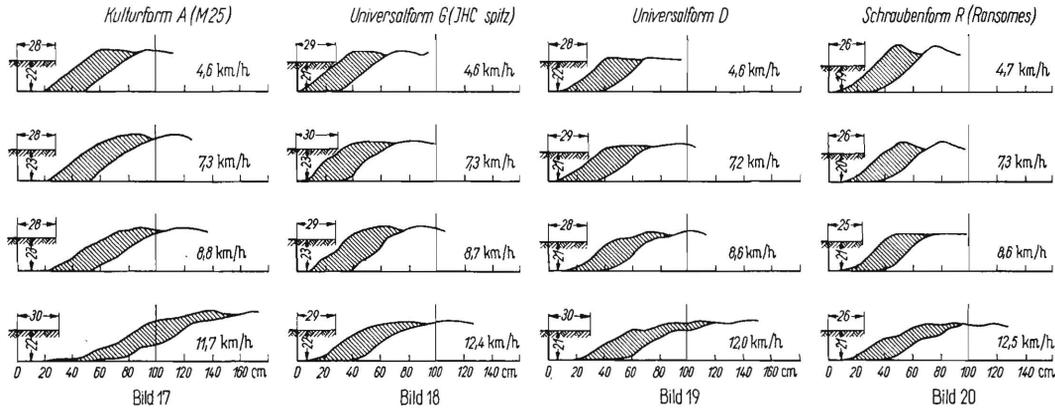


Bild 17 und 18. Furchenquerschnitte einer Kulturform und einer spitzen Universalform auf einem feuchten, tonigen Lehm bei je vier Geschwindigkeiten.

Bild 19 und 20. Furchenquerschnitte einer Universalform und einer langgestreckten Schraubenform auf geschältem Löß bei je vier Geschwindigkeiten.

nen Böden aufgetragen sind, wobei sich der schwere tonige Lehm auch noch in zwei verschiedenen Feuchtigkeitszuständen befand. Trotzdem bestätigt das Diagramm eindeutig den großen Einfluß des Seitenrichtungswinkels am Streichblechende auf den Faktor ϵ und damit auf den dynamischen Anteil des Pflugwiderstandes. Wenn man schnell pflügen will, muß also der Seitenrichtungswinkel φ am Streichblechende reduziert werden. Selbstverständlich muß das gesamte Streichblech daraufhin ausgerichtet werden.

Damit konnten auch zwischen der Pflugkörperform und dem Anstieg des Seitentransports mit zunehmender Geschwindigkeit zahlenmäßig eindeutige Beziehungen ermittelt werden.

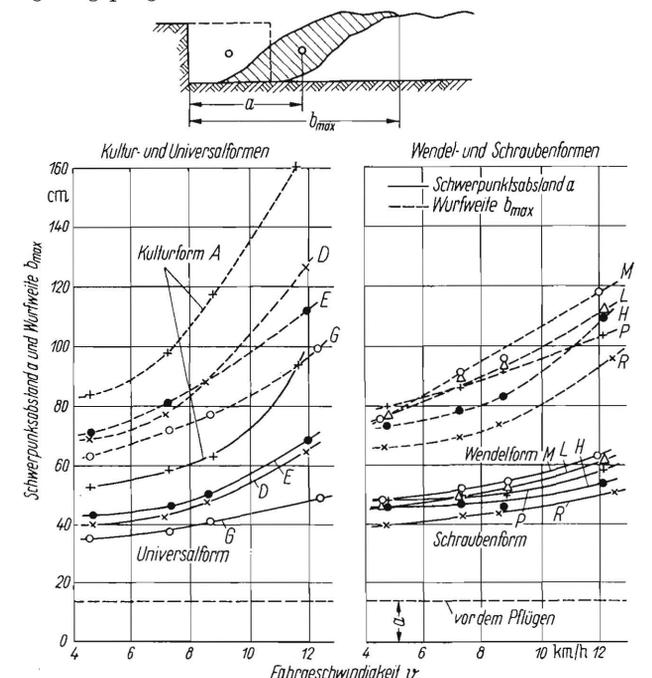
Furchenquerschnitt und seitliche Wurfweite

Die Krümelung des Bodens

Beim Pflügen mit höherer Geschwindigkeit sollen also die Zugkräfte mit steigender Geschwindigkeit nicht allzu stark anwachsen. Eine weitere Forderung ist die: die Furchenform soll sich nicht allzusehr von der bisherigen unterscheiden. Die Furche soll nicht allzuweit geräumt sein; der Boden soll nicht zu weit zur Seite transportiert und über den bereits gepflügten Boden hinweggesprüht werden. Wie bereits früher ausgeführt wurde [1], wirken beide Forderungen aber in demselben Sinne: je größer der Seitentransport des Bodens ist, um so größer ist der Energieaufwand. Ebenso wie der Anstieg des Pflugwiderstandes ϵv^2 vom Seitenrichtungswinkel φ am Streichblechende abhängt, hängen auch die Furchenform, die Größe des seitlichen Bodentransportes und des Bodentransportes in Fahrtrichtung von diesem Seitenrichtungswinkel φ ab. Die **Bilder 17 bis 20** zeigen eine Gegenüberstellung der Furchenquerschnitte der Kulturform A (M 25), der Universalformen G und D und der langgestreckten Schraubenform R auf zwei verschiedenen Böden.

Die Pfluggeschwindigkeit hat aber auch einen Einfluß auf die Krümelung und andere Vorgänge. In **Bild 24** sind Aufnahmen der Oberfläche des mit der Kulturform A gepflügten tonigen Lehm Bodens bei vier Geschwindigkeiten wiedergegeben. Bei 4,7 km/h ist dieser Boden infolge großer Trockenheit in Krümel und kleine Schöllchen aufgebrochen. Es fehlen grobe Schollen und sehr feine Krümel. Mit zunehmender Geschwindigkeit ändert sich das Bild dahingehend, daß der Anteil von groben Brocken und der Anteil von sehr feinen Krümeln, die über die Oberfläche hinweggesprüht sind, zunehmen. Gleichzeitig ist das Stroh sehr viel weniger untergebracht als bei kleiner Geschwindigkeit. Bei der Wendelform M (Överum) sind diese Erscheinungen vielleicht noch ausgeprägter, **Bild 25**: man erhält Schöllchen und Krümelstruktur bei niedriger Geschwindigkeit, grobe Schollen, übersprüht von sehr feinen Krümeln und zunehmende Strohbedeckung bei hoher Geschwindigkeit. Bei starkem Regen würde also das mit kleiner Geschwindigkeit gepflügte Feld eher seine Oberflächenstruktur behalten als das mit großer Geschwindigkeit gepflügte.

Der maximale Seitentransport beträgt bei der Kulturform A bei 4,6 km/h 82 cm, Bild 17. Er steigt bei 11,7 km/h auf 160 cm. Beim Universalkörper D in Bild 19 ist der maximale Seitentransport bei 12,0 km/h 120 cm. Bei der Universalform G in Bild 18 und der Schraubenform R in Bild 20 sind die entsprechenden Werte 95 und 97 cm. Die beiden letztgenannten Körper räumen aber bei 4,7 km/h die Furche nur ungenügend.



Der Anschaulichkeit wegen sind in **Bild 21 und 22** Aufnahmen der Pflugfurchen der Kulturform A (M 25) und der Wendelform L auf einem tonigen Lehm Boden einander gegenübergestellt. Der maximale Furchenaufwurf bis zu dem eingelegten Plastiktuch vergrößert sich beim Körper A von 80 cm bei 4,7 km/h bis auf 170 cm bei 12,2 km/h. Man erkennt die zu breit geräumten Furchen bei mittlerer und hoher Geschwindigkeit. Bei der Wendelform L sind die entsprechenden Werte 80 cm und 115 cm.

Bild 23. Maximale Wurfweite und Seitentransport der gepflügten Furche bei verschiedenen Pflugkörperformen auf geschältem Löß.

In **Bild 23** sind die maximalen Wurfweiten b_{max} und der Abstand a des Schwerpunktes der gepflügten Furche von der Furchenkante für verschiedene Pflugkörperformen auf Lößboden dargestellt. Die höchsten Werte hat wieder die Kulturform A (M 25). Im ganzen gesehen ist die Schwerpunktverlagerung und die maximale Wurfweite bei den Wendel- und Schraubenformen kleiner als bei den Universalformen. Die kleinsten Werte haben die abgeänderte Universalform G (IHC spitz) und die langgestreckte Schraubenform R (Ransomes).

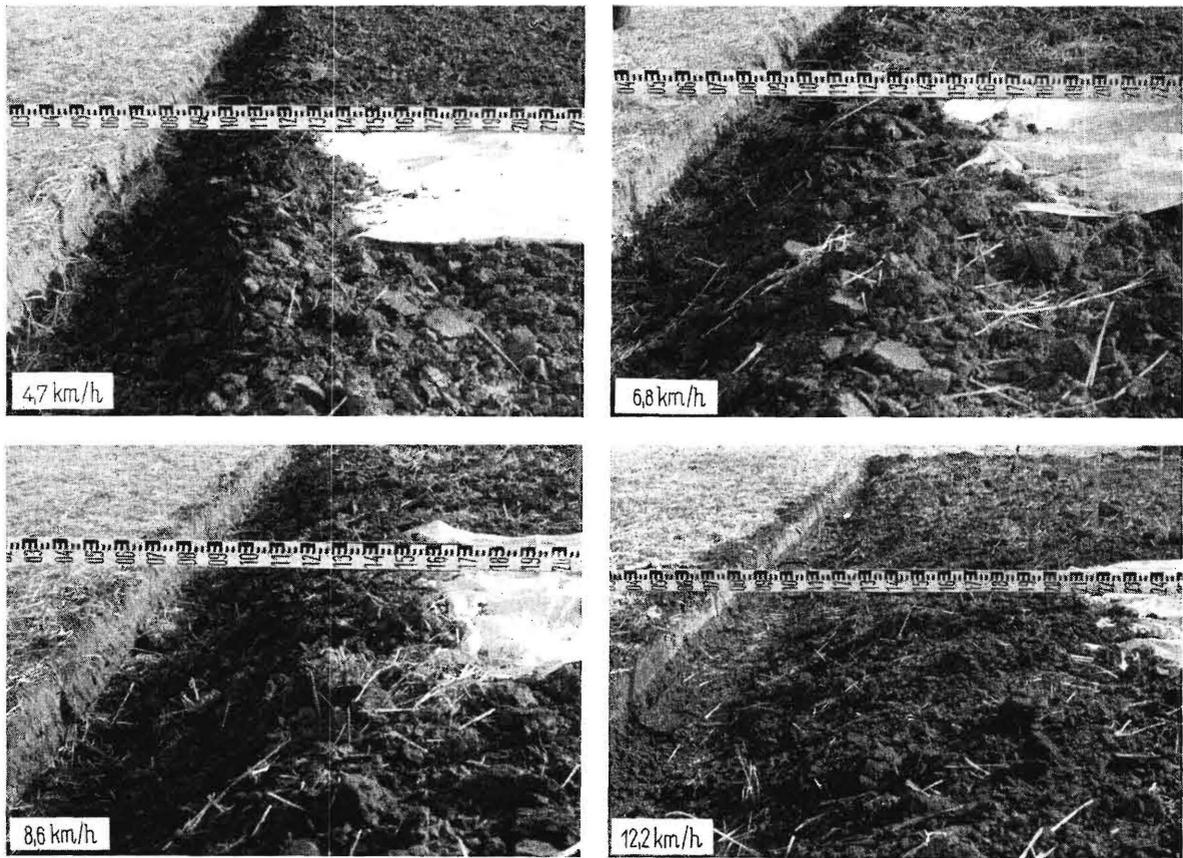


Bild 21. Furchenaufnahmen des Normpflugkörpers M 25 (Kulturform A) auf trockenem, tonigem Lehmboden bei vier Geschwindigkeiten.

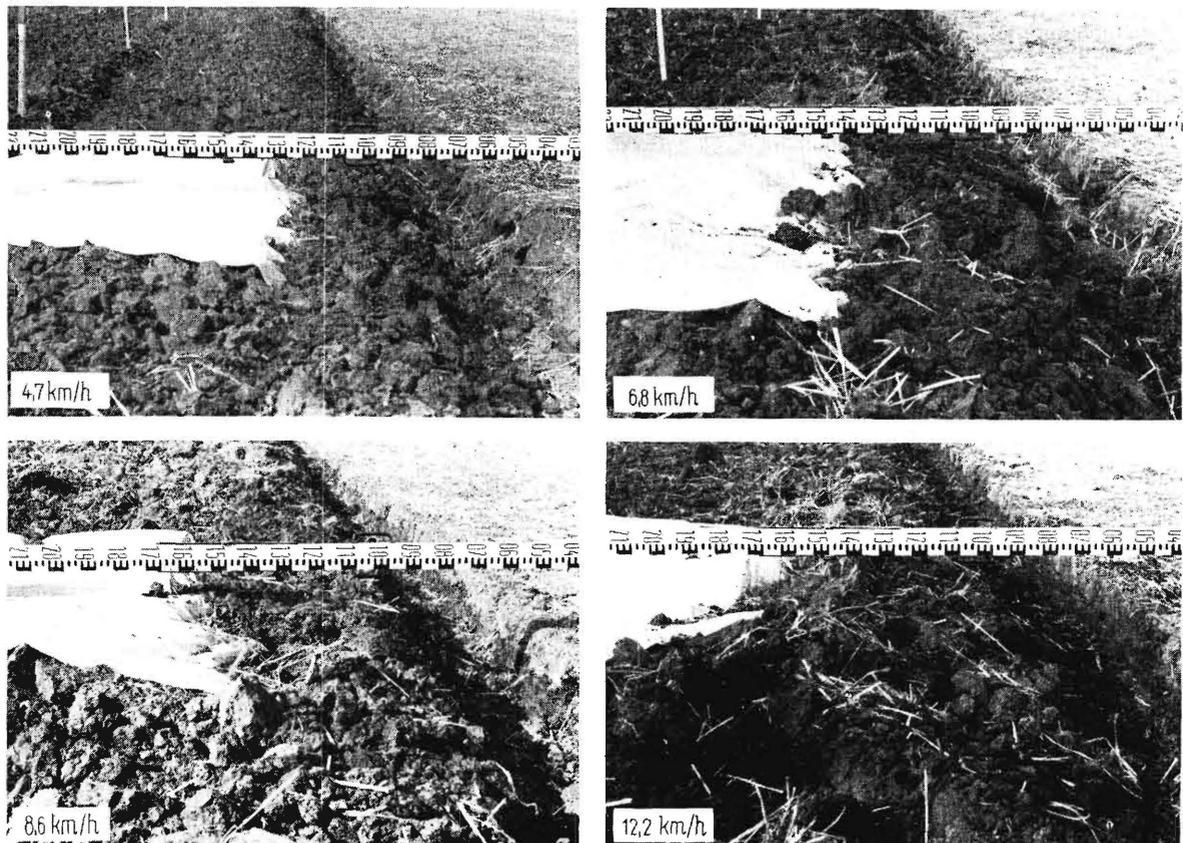


Bild 22. Furchenaufnahmen der Wendelform L auf trockenem, tonigem Lehmboden.

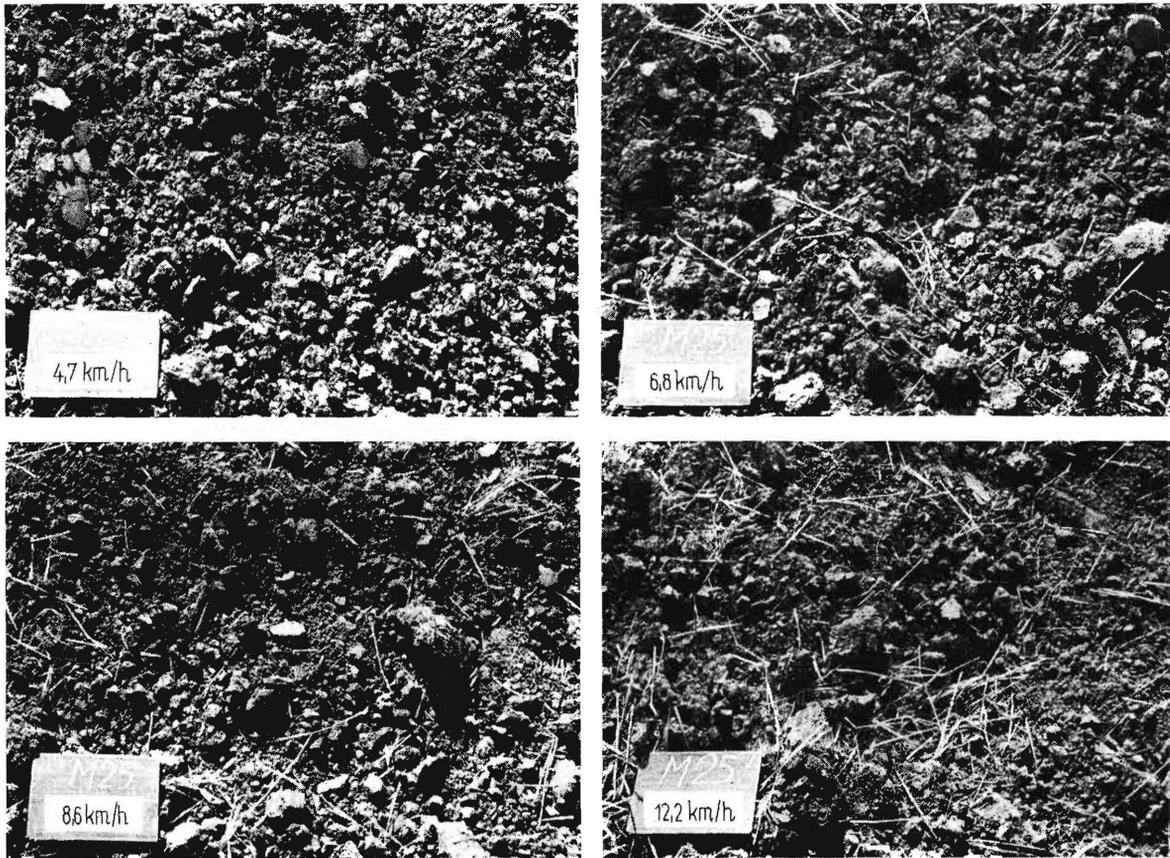


Bild 24. Aufnahmen der Oberflächen eines trockenen, tonigen Lehmbodens, der mit der Kulturform A (M 25) bei vier verschiedenen Geschwindigkeiten gepflügt wurde.

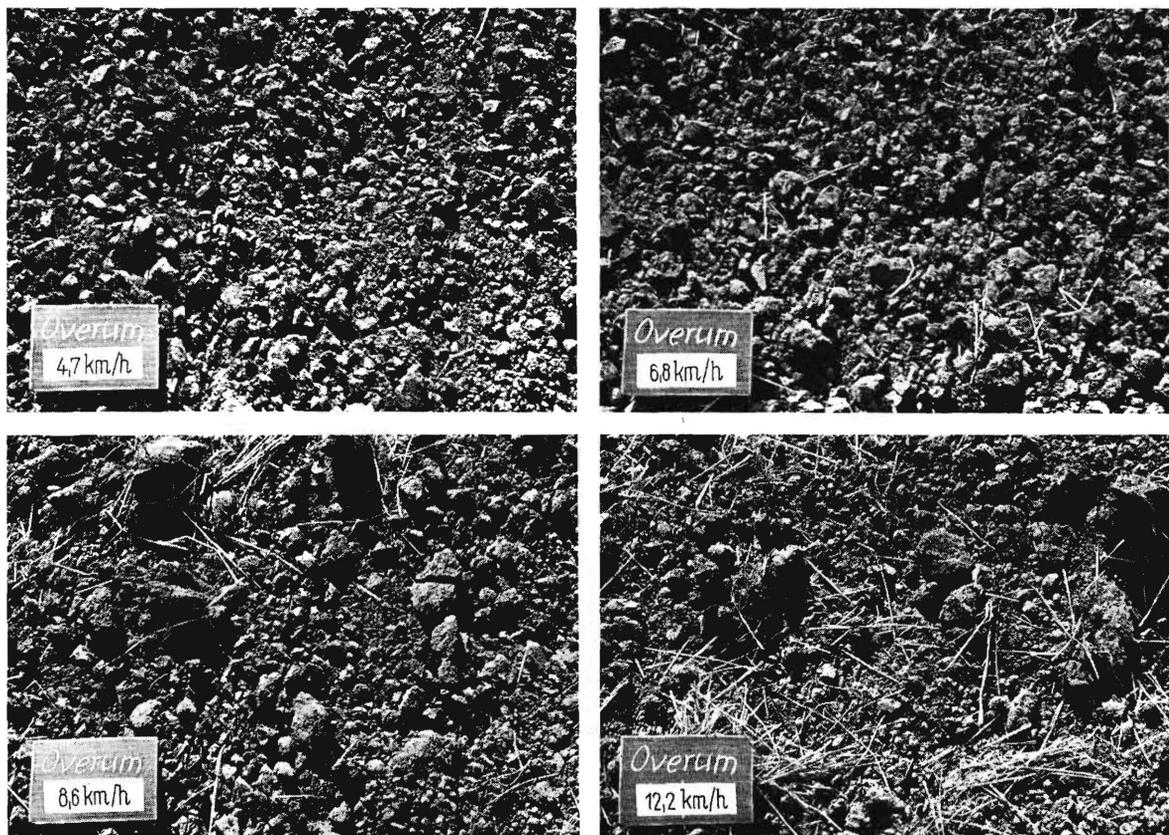


Bild 25. Aufnahmen der Oberflächen eines trockenen, tonigen Lehmbodens, der mit der Wendelform M (Överum) bei vier verschiedenen Geschwindigkeiten gepflügt wurde.

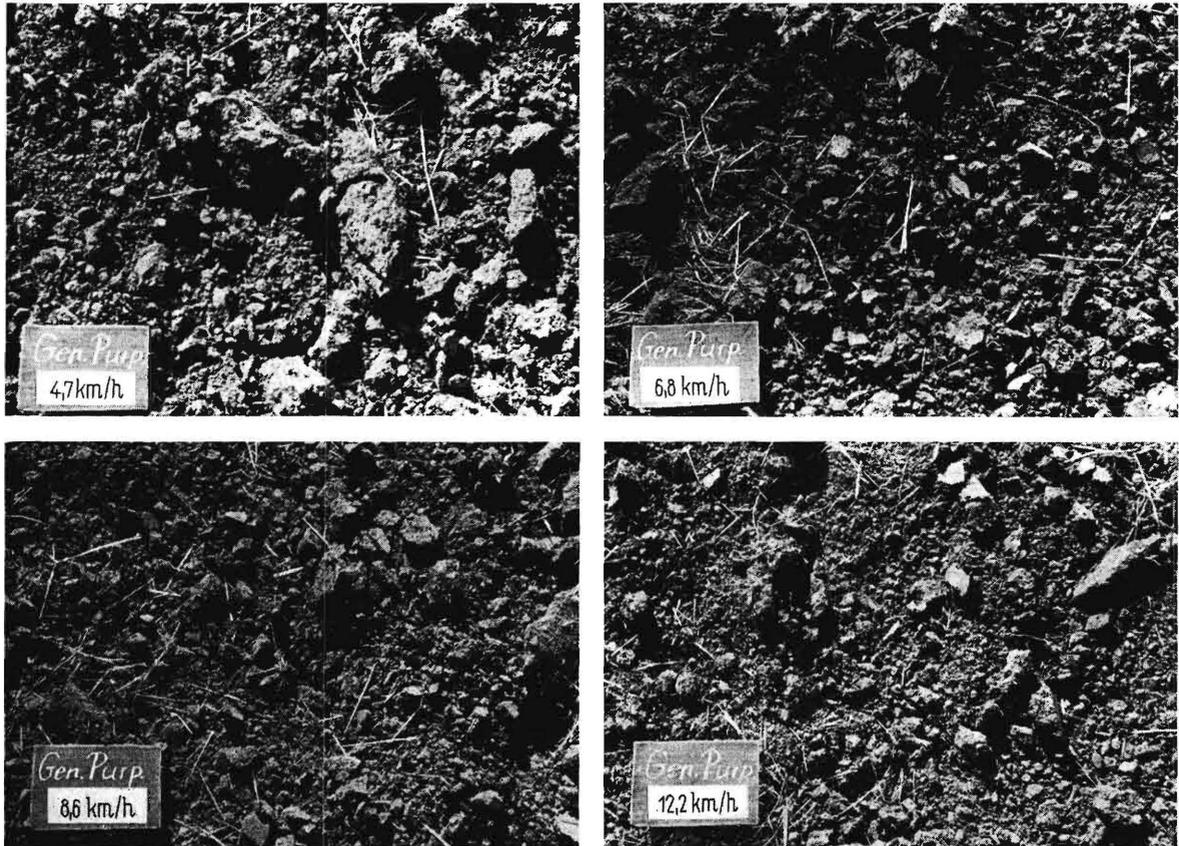


Bild 26. Aufnahmen der Oberflächen eines trockenen, tonigen Lehmbo­dens, der mit der Schraubenform P (General Purpose) bei vier verschiedenen Geschwindigkeiten gepflügt wurde.

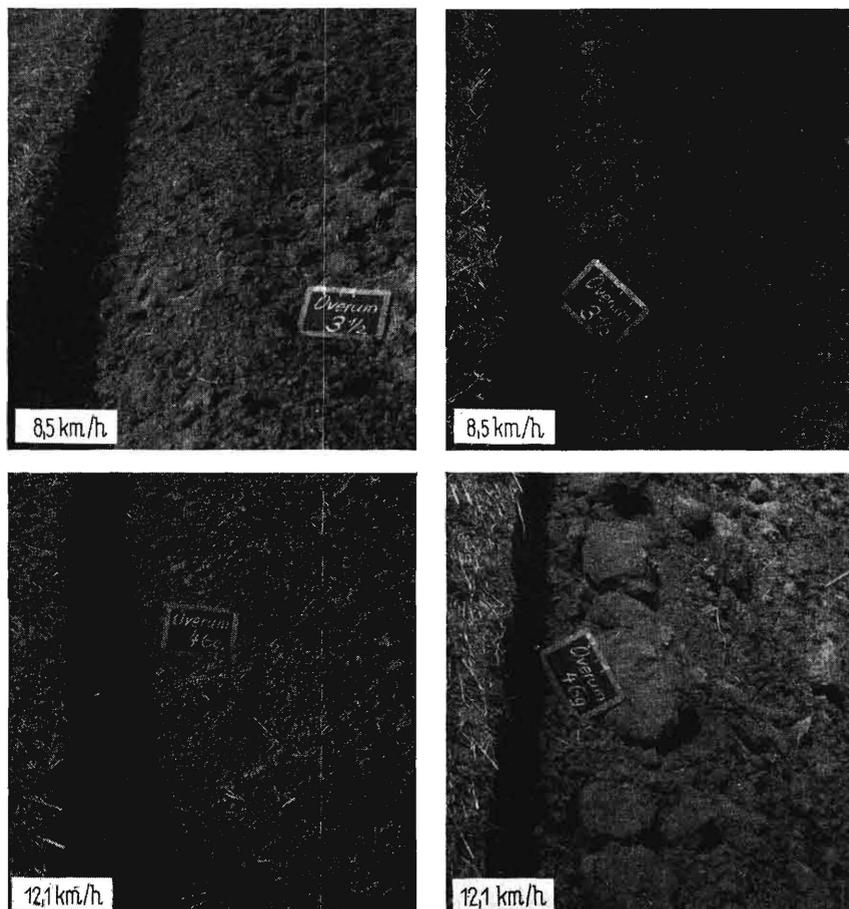


Bild 27. Aufnahmen der Oberflächen eines Bodens bei zwei verschiedenen Geschwindigkeiten beim Pflügen im unbefahrenen Stoppfeld (linke Bilder) und in einer Mährescher­spur (rechte Bilder).

Bei der Schraubenform P (General Purpose) ergeben sich dagegen relativ viele grobe Schollen an der Oberfläche bei niedriger Geschwindigkeit, **Bild 26**. Bei mittlerer Geschwindigkeit von 6,8 bis 8,6 km/h ist die Krümelgröße relativ gleichmäßig. Bei hoher Geschwindigkeit sind wieder mehr grobe Schollen, übersprägt von Feinkrümel, an der Oberfläche.

Bei diesen Untersuchungen ist auch wieder die außerordentliche Verschlechterung der Arbeitsgüte infolge Vorverdichtungen durch Schlepper- oder Mährescherspuren beobachtet worden. **Bild 27** zeigt die Furchendämme der Wendelform M bei 8,5 und bei 12 km/h im unverdichteten Boden und in einer Mährescherspur. Auch bei der Kulturform A (M 25), die besser krümelte sollte als die Wendelform M, sind die Unterschiede ähnlich groß.

Bei den Pflugversuchen wurde auch die Schollen- und Krümelverteilung gemessen. Auf dem tonigen Lehm Boden war das nur bei den Versuchen herrschenden großen Trockenheit möglich (Feuchtigkeit 15,5%). Dieser für den tonigen Lehm Boden ungewöhnlich niedrige Wassergehalt wird aber nur selten erreicht. Mit Hilfe des neuen Krümel- und Schollensiebapparates in **Bild 28** ist es möglich, in relativ kurzer Zeit größere Bodenmengen zu sieben. Es wurde dabei jeweils ein Damm von 2 m Länge auf eine in die Furche gelegte Plane gepflügt, und der gesamte Furchenquerschnitt nach Ablesen grober Schollen (> 160 und 320 mm) gesiebt. Danach wurden die groben Schollen und die Siebfractionen gewogen.

Bild 29 und 30 zeigen die Gewichtsverteilung der Fraktionen von Schollen- und Krümelanalysen für verschiedene Körperformen. Der Anteil der Krümel und Schollen zwischen 10 und 40 mm ist auf dem trockenen tonigen Lehm, **Bild 29**, besonders groß. Bemerkenswerterweise ist auf diesem Boden kein wesentlicher Unterschied der Krümelung bei den Geschwindigkeiten 4,4 km/h und 12,3 km/h zwischen den verschiedenen Körperformen festzustellen.

Nach den Schollen- und Krümelanalysen in **Bild 30** auf dem trockenen, harten Lössboden (wobei allerdings angestrebt wurde, vorverdichtete Zonen aus Schlepper- und Mährescherspuren möglichst auszuspüren) weist die Kulturform A (M 25) bei niedriger Geschwindigkeit eine etwas bessere Krümelung auf als die anderen Körperformen. Die Wendelformen I und L und die Universalform F (John Deere) unterschieden sich nicht wesentlich. Bei hoher Geschwindigkeit wird aber der Vorteil der Form A von den anderen Körpern eingeholt, wobei die Universalform F am günstigsten abschnitt; der Unterschied ist jedoch nicht übermäßig groß und kann zufälliger Natur sein. Jedenfalls zeigen diese Versuche, daß die häufig geäußerte Ansicht, daß der Boden

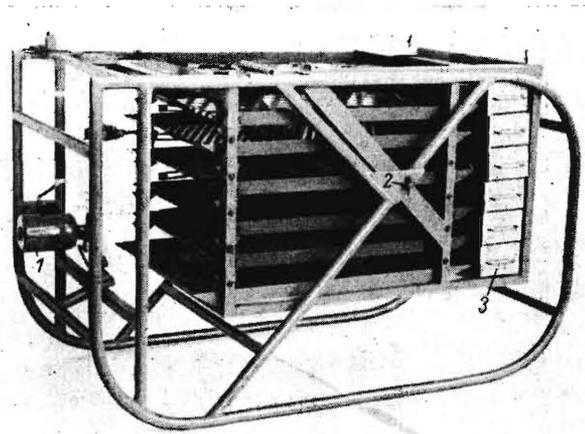


Bild 28. Schollen- und Krümelsiebapparat.

- 1 Antriebsmotor 6 V
- 2 Drehachse des Siebsatzes
- 3 Aufnahmebehälter der Fraktionen

um so besser gekrümelt wird, je schneller man pflügt, bei den vorliegenden Bodenzuständen nicht unbedingt zutrifft. Es tritt vielmehr bei hoher Geschwindigkeit eine Entmischung ein, durch die vor allem grobe Schollen aber auch sehr feine Krümel an die Oberfläche gelangen, während die mittleren Krümel- und Schollengrößen dagegen zurücktreten. Dies geht auch aus **Bild 31** hervor, in dem dargestellt ist, wieviel Prozent der Bodenoberfläche in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit von groben Schollen bedeckt sind⁵⁾. Dabei fällt besonders das abweichende Verhalten der Schraubenform P (General Purpose) auf.

Der Vollständigkeit halber ist in **Bild 32** auch die Bedeckung des vorgeschälten tonigen Lehms mit Stoppelresten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit wiedergegeben. Diese Zunahme der Strohbedeckung bei allen Körpern ist durch eine Art Windsichtung der leichteren Stoppelreste gegenüber den Bodenteilchen bei höherer Pfluggeschwindigkeit zu erklären. Auf die Güte der Pflugarbeit hat diese Erscheinung bei der Winterfurche wohl keinen Einfluß.

⁵⁾ Diese Kurven wurden in der Weise gewonnen, daß drei Tester unabhängig voneinander auf jeweils 16 Feldstücken (4 Parallelversuche mit je 4 Geschwindigkeiten) insgesamt 96 Einzelschätzungen machten, aus denen ein mittlerer Kurvenverlauf gebildet wurde.

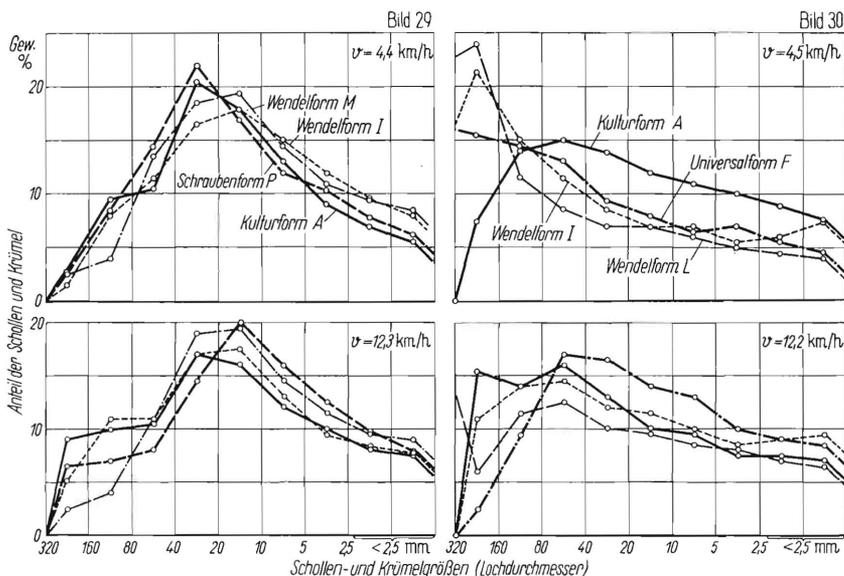


Bild 29 und 30. Gewichtsverteilung der Fraktionen von Schollen- und Krümelanalysen mit 7 verschiedenen Pflugformen, auf zwei Bodenarten und bei langsamer und schneller Pfluggeschwindigkeit.

Bild 29: geschälter, toniger Lehm (trocken); Feuchtigkeit 15%

Bild 30: trockener, harter Lössboden (Stoppel); Feuchtigkeit 7,1%

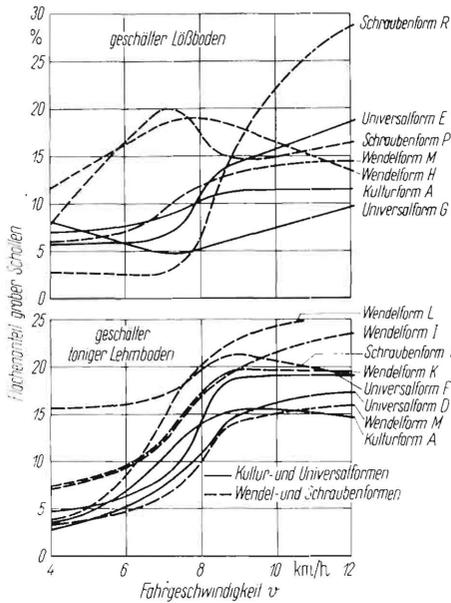


Bild 31. Flächenanteil grober Schollen an der Gesamtoberfläche in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Körperform.

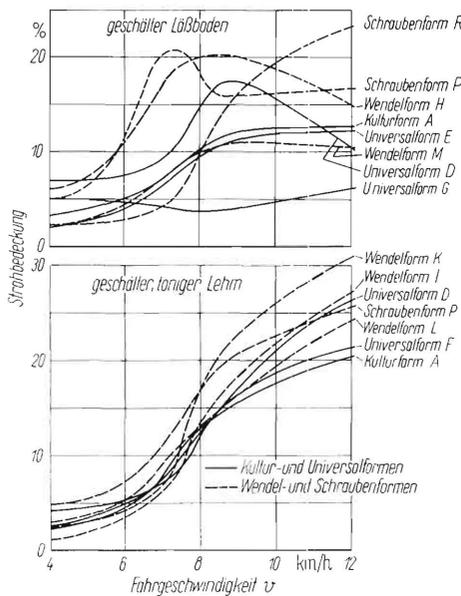


Bild 32. Stoppelbedeckung der Oberfläche nach dem Pflügen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Körperform.

Neuentwickelte Pflugkörperformen für Versuche

Bei Pflugkörpern für höhere Geschwindigkeit soll der Pflugwiderstand gegenüber den seitherigen Körperformen möglichst wenig ansteigen. Die Furchenform soll sich möglichst wenig ändern, und es soll eine etwa gleiche Zerkleinerung und eine gute Wendung gewährleistet werden. Kulturformen sind infolge ihrer geraden, horizontalen Formlinien für die Entwicklung zu Hochgeschwindigkeitskörpern ungeeignet.

Um eine genügende Krümelung bei befriedigender Wendung zu erzielen, darf der Scharschneidenwinkel φ_{1a} und der Schnittwinkel δ_{01} (s. [1] Bild 6) sowie der Seitenrichtungswinkel φ_{0a} auf der Landseite nicht zu klein werden. Andererseits soll der Seitenrichtungswinkel am Streichblechende klein sein.

Wenn nur die Forderung nach nicht zu starkem Anstieg des Pflugwiderstandes gestellt würde, dann wäre eine Lösung nach **Bild 33** denkbar. Es würde genügen, wenn man einen an sich bewährten Pflugkörper, wie die Kulturform A (M 25) in der Weise verändert, daß man die Längs- oder x-Koordinaten der Arbeitsfläche vergrößert und die Seitenkoordinaten y und die Vertikalkoordinaten z unverändert läßt. Es ließe sich voraussagen, daß der Wert des dynamischen Pflugwiderstandes ϵv^2 sich von $3,0 v^2$ auf etwa $1,2 v^2$ verringern würde. Der Pflugwiderstand würde bei einer Geschwindigkeitssteigerung von 4,7 auf 12 km/h bei der Kulturform A (links im Bild) um 65%, beim veränderten Körper im Bild rechts dagegen nur um 25% ansteigen. Diese Lösung hat aber einen entscheidenden Nachteil, da die zweite Forderung nicht berücksichtigt ist, daß die Qualität der Arbeit, insbesondere die Zerkleinerung und Wendung des Bodens gegenüber dem Ausgangskörper nicht verschlechtert werden darf.

In **Bild 34** wurde daher der Versuch gemacht, beide Forderungen zu erfüllen: hierbei wurde der Seitenrichtungswinkel am Streichblechende so bemessen, daß jeweils die seitliche Geschwindigkeitskomponente $v_y = 1$ m/s bei der Fahrgeschwindigkeit $v_0 = 4,7$ km/h bis 10 km/h nicht überschritten wurde. Als Ausgangskörper ist rechts wieder die Kulturform A. Für eine mittlere Geschwindigkeit $v_0 = 7$ km/h ist eine Universalform geeignet. Für 10 km/h ist hier eine flache, gestreckte, relativ spitze Wendelform gewählt, bei der das Streichblechende stark zurückgezogen und die horizontalen Formlinien stark konvex gewölbt sind. Bei diesen beiden älteren Entwürfen in **Bild 34** müßte allerdings die Streichblechoberkante noch erhöht werden, um zu verhindern, daß der Boden darüber hinaus sprüht.

Die Zusammenstellung der uns bisher zur Verfügung gestellten Pflugkörperformen ist mehr oder weniger zufälliger Art. Diese Körperformen sind ja auch nicht für hohe Geschwindigkeiten entwickelt worden, wenn man von den amerikanischen Highspeed-Körpern absieht. Diese sind aber auch nicht für größere Geschwindigkeiten (> 8 km/h auf leichtem und > 6 km/h auf schwerem Boden) geeignet. Es ist daher nicht leicht, aus diesen Körper-

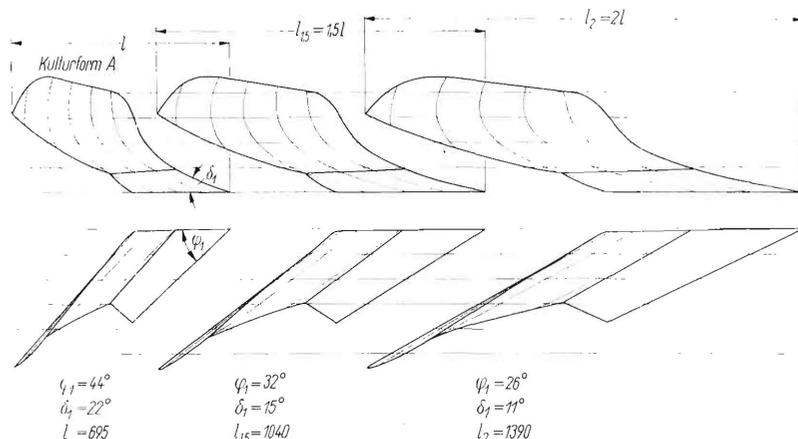


Bild 33. Versuch, aus der Kulturform A durch Vergrößern der Längsordinaten eine Körperform für höhere Geschwindigkeit zu entwickeln.

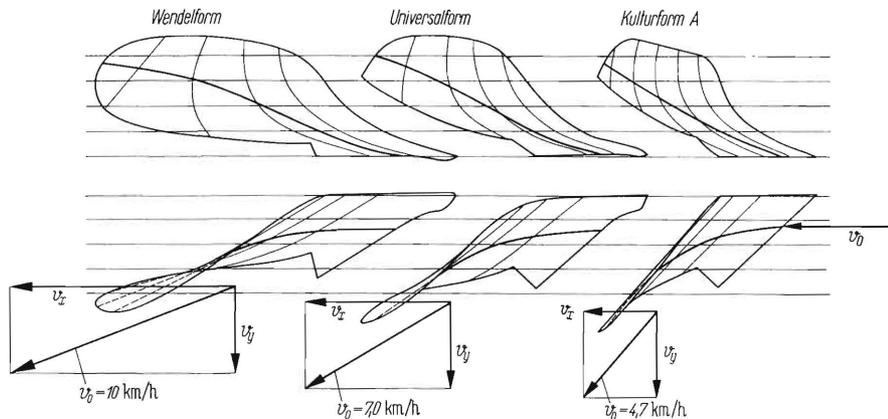


Bild 34. Pflugkörperformen für drei verschiedene Fahrgeschwindigkeiten mit der gleichen seitlichen Geschwindigkeitskomponente v_y des das Streichblech verlassenden Bodens.

formen eine systematische Reihe von Pflugkörpern aufzustellen, bei denen die Formen nach einem bestimmten Prinzip variiert sind. Eine systematisch entwickelte Reihe von Pflugkörperformen ist jedoch für die Fortsetzung unserer Untersuchungen wichtig, weil sich daraus der Einfluß bestimmter Winkel besser erkennen läßt. Infolgedessen sind auf Grund der bisherigen Erfahrungen zunächst zwei systematische Reihen von vier Versuchspflugkörpern aus der Universalform und aus der Wendelform heraus für Geschwindigkeiten von 4 bis 11 km/h entworfen worden. Um den Aufwand für den Bau dieser Versuchsmuster möglichst niedrig zu halten, haben wir in die Universalformreihe die bereits vorhandene Kulturform A (M 25) und die Universalform E (IHC 12") und in die Wendelformreihe die vorhandene Wendelform K (Semidigger) mit aufgenommen.

Bild 35 zeigt eine Gegenüberstellung der Universalformreihe, beginnend mit der Kulturform A (bis 5 km/h) über den Universalformkörper E (bis 7,5 km/h) zu den Versuchskörpern U 3 (bis 9 km/h) und U 4 (bis 11 km/h). Der Seitenrichtungswinkel am

Streichblechende nimmt von 50° beim Körper A, auf 35° beim Körper E, auf 28° beim Körper U 3, auf 20° beim Körper U 4 ab. Als Folge davon und um eine genügende Räumung der Furche zu erzielen, wird der Versuchskörper U 4 sehr viel länger als die Kulturform A. Auch sind die Streichblechoberkanten der schnelleren Körper, wie aus der Seiten- und der Vorderansicht hervorgeht, höher heraufgezogen. Der Scharschneidenwinkel φ_{1a} nimmt nicht übermäßig ab und beträgt 44° beim Körper A, 43° beim Körper E und bei den Versuchskörpern 37 bzw. 36°. Er ist also erheblich größer als der des Versuchskörpers G (IHC spitz), der 30° beträgt. Die Körper für größere Geschwindigkeiten sind zum Streichblechende hin etwas mehr verwunden, um auch beim Anfahren mit kleinerer Geschwindigkeit noch eine genügende Wendung zu erzielen.

Bild 36 zeigt die Hochgeschwindigkeits-Versuchskörperreihe, die aus der Wendelform entwickelt ist. Hierbei ist der Scharschneidenwinkel φ_{1a} fast unverändert geblieben; er beträgt 39° beim Semidigger und 37° beim W 4. Dagegen ist wieder der

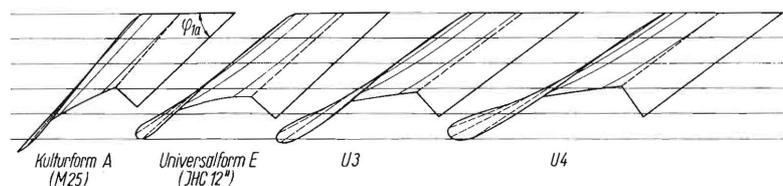
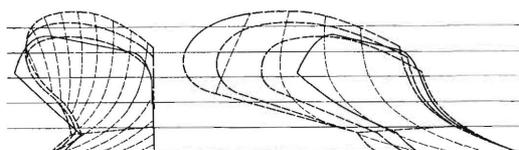


Bild 35. Aus der Universalform entwickelte Reihe von Versuchskörpern für verschiedene Geschwindigkeiten.

	Fahrgeschwindigkeit v	
	auf leichtem Boden	auf schwerem Boden
Kulturform A (M 25)	bis 5 km/h	bis 4 km/h
Universalform E (IHC 12")	bis 7,5 km/h	bis 6 km/h
Versuchskörper U 3	bis 9 km/h	bis 7,5 km/h
Versuchskörper U 4	bis 11 km/h	bis 9 km/h

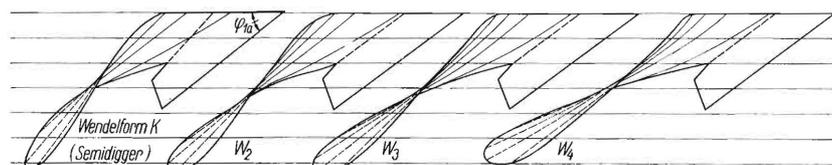
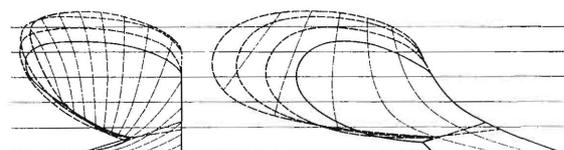


Bild 36. Aus der Wendelform entwickelte Reihe von Versuchskörpern für verschiedene Geschwindigkeiten.

	Fahrgeschwindigkeit v	
	auf leichtem Boden	auf schwerem Boden
Wendelform K (Semidigger)	bis 5 km/h	bis 5 km/h
Versuchskörper W 2	bis 7 km/h	bis 6 km/h
Versuchskörper W 3	bis 9 km/h	bis 7 km/h
Versuchskörper W 4	bis 11 km/h	bis 9 km/h

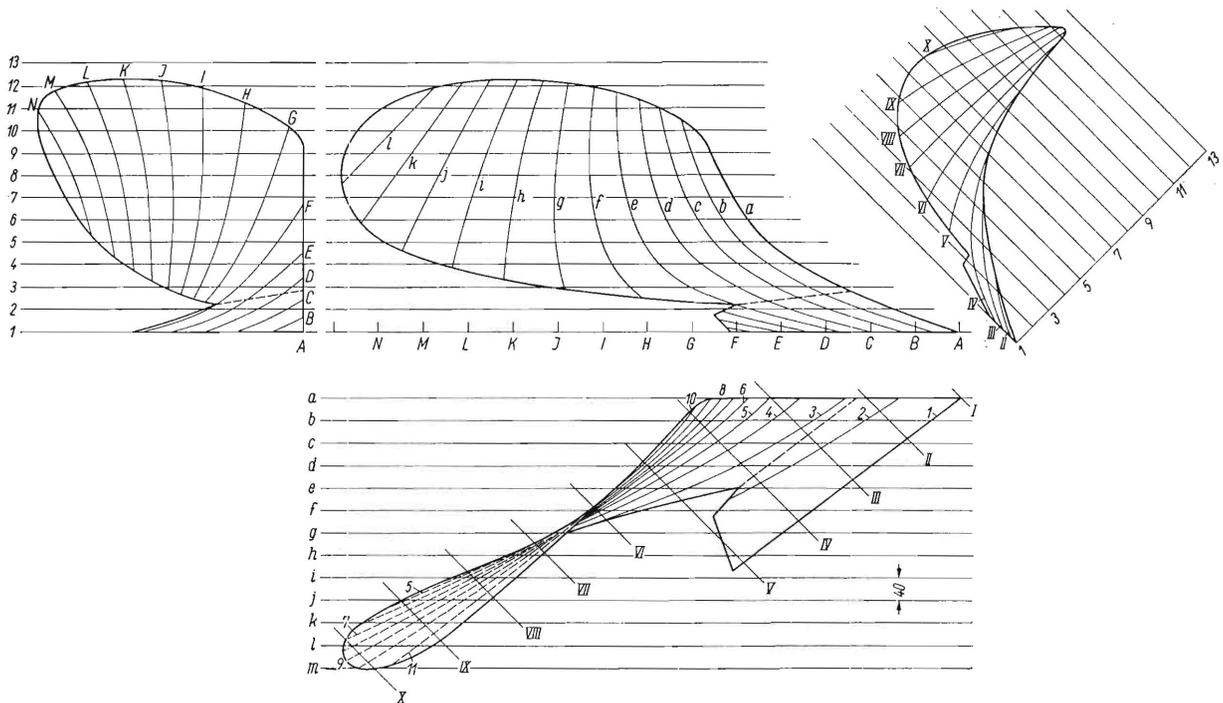


Bild 37. Die Formlinien des Versuchskörpers W 4 in vier Projektionen.

Seitenrichtungswinkel am Streichblechende sehr erheblich verändert, und zwar nimmt er von $50,5^\circ$ beim Semidigger auf 41° , 33° bzw. 23° beim W 4 ab. Die Verwindung wurde geringfügig zum Streichblechende hin größer, weil die Streichblechoberkante höher gelegt worden ist.

Bild 37 zeigt den Versuchskörper W 4 noch einmal in vier Ansichten, wobei rechts oben auch eine Ansicht unter 45° mit aufgenommen ist, die die Verwindung des Körpers besonders deutlich zeigt.

Zusammenfassung

Zur Steigerung der Flächenleistung beim Pflügen kann man die Körperzahl am Schlepperpflug und/oder die Pfluggeschwindigkeit erhöhen. Bei der Erhöhung der Körperzahl muß man dann die Schlepperleistung und das Schleppergewicht entsprechend vergrößern. Bei der Erhöhung der Geschwindigkeit muß man nur die Schlepperleistung steigern, während das Schleppergewicht annähernd gleich bleiben kann. In der vorliegenden Arbeit, die sich an eine frühere Arbeit anschließt und sie ergänzt, werden die Körperformen nach Kultur-, Universal-, Wendel- und Schraubenformen gegliedert, zeichnerisch dargestellt und für sie auf drei verschiedenen Böden die Zugkraft, der Furchenaufwurf, der Bodenseitentransport und die Krümelung in Feldversuchen ermittelt. Der dabei beobachtete Anstieg des Pflugwiderstandes, der maximalen Wurfweite und der Furchenschwerpunktsverlagerung mit zunehmender Geschwindigkeit hängt

wegen der zusätzlichen Beschleunigung des Bodens von der geometrischen Form, insbesondere dem Seitenrichtungswinkel des Pflugkörpers am Streichblechende ab. Man kann auf Grund der Versuche den dynamischen, mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit steigenden Anteil ϵv^2 des Pflugwiderstandes direkt der Größe des Seitenrichtungswinkels eines Pflugkörpers entnehmen.

Schollen- und Krümelsiebanalysen von verschiedenen, gepflügten, trockenen Böden bestätigten nicht, daß die Krümelung bei hoher Geschwindigkeit feiner sein muß als bei niedriger Geschwindigkeit. Bei den untersuchten Bodenzuständen ergaben sich auch bei den verschiedenen Körperformen keine wesentlichen Unterschiede, doch stellt sich bei hoher Fahrgeschwindigkeit eine gewisse Entmischung des gepflügten Bodens ein, wobei mehr grobe Schollen an die Oberfläche gelangen und mehr feine Krümel darüber hinweggesprüht werden.

Außerordentlich ungünstig wirkten sich bei trockenem, ungeschältem Boden verdichtete Schlepper- und Mähdrescherspuren bei allen Pfluggeschwindigkeiten und Körperformen auf die Güte der Pflugarbeit aus.

Da Pflugkörper für höhere Geschwindigkeiten sowohl als Universal- wie als Wendelformen entwickelt werden können, wurden auf Grund der neuesten Erfahrungen für weitere Versuche zwei Versuchskörperreihen dieser Art für Geschwindigkeiten von 4 bis 11 km/h entworfen und gebaut.

Schrifttum

- [1] Söhne, W.: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit. In: 16./17. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1959. S. 22/39 (Grundlagen der Landtechnik H. 11).
- [2] Feuerlein, W.: Die Pflugarbeit und ihre Bedeutung. (In diesem Heft).
- [3] Normblatt DIN 11119: Grundformen der Pflugkörper (Ausgabe März 1950).
- [4] Krutikow, Smirnow u. a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen, Bd. I. VEB Verlag Technik, Berlin 1955. S. 290.