

Die Pflugarbeit und ihre Beurteilung

Von **Walter Feuerlein**, Braunschweig-Völkenrode

Die qualitative Beurteilung der Pflugarbeit wird auch heute noch fast ausschließlich empirisch vorgenommen. Die Meinung des Landwirts muß als gültige Auskunft über die Qualität einer Pflugarbeit hingenommen werden. Lediglich die aufgewendete Zugkraft, die Messung der Furchentiefe und der Arbeitsbreite können zahlenmäßig belegt werden. Und doch ist eine stichhaltige, ackerbauliche Beurteilung der einzelnen Faktoren einer Pflugarbeit heute mehr denn je erwünscht.

Der Übergang vom Gespannpflügen zum Schlepperpflügen erfolgt in immer schnellerem Tempo. Dabei werden nicht nur aus Mangel an Mitteln, sondern auch aus einer gewissen Unsicherheit hinsichtlich der ackerbaulichen Beurteilung der Pflüge nur etwa zwei Drittel der in der Bundesrepublik neu zugelassenen Ackerschlepper mit neuen Schlepperpflügen versehen. Eine ackerbauliche Beurteilung der Pflugarbeit verlangt auch das Pflügen bei höherer Geschwindigkeit, das zur Zeit Beachtung findet. Für diese Aufgabe werden neue Pflugkörper zu den schon sehr zahlreichen alten entwickelt; eine genaue Festlegung der Forderungen an die Pflugarbeit und das Messen des Pflugerfolges sollte also möglich sein. — Von einigen Methoden hierfür und von ihrer Anwendung soll im folgenden berichtet werden.

Die Vorgänge beim Pflügen

Die Veränderungen, die der Ackerboden im Augenblick des Pflügens erfährt, stellen zugleich den eigentlichen Zweck des Pflügens dar: 1. das Wenden des Bodens, 2. das Lockern des Bodens und der dabei erreichte Grad seiner Zerteilung, 3. das Formen der Furchendämme und die Oberflächengestaltung des Ackers und 4. das Mischen des Bodens und dabei besonders seine vertikale Verteilung vor und nach dem Pflügen.

Andere Veränderungen sind lediglich notwendige oder auch erwünschte Begleiterscheinungen, wie der Seitentransport des Bodens, der Vorwärtstransport des Bodens und die Form des Furchenquerschnittes. Es wird nun versucht, diese Fakten der Bodenarbeit in Zahlenwerten zu erfassen.

Einteilung der verwendeten Pflugkörper

Da bei den praktischen Erprobungen der Meßmethoden die Pflugkörper eines möglichst großen Bereiches verwendet werden sollen, wurden diese — in Übereinstimmung mit dem *Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL* — in vier Gruppen, **Bild 1 und Tafel 1**, zusammengefaßt.

Man erkennt, daß für eine solche Einteilung die Maße der Verwindung des Streichblechs oder das Verhältnis $L:H$ nicht genügen. Es sind zusätzliche Beschreibungen des Verlaufs der Formlinien nötig, um einen gegebenen Pflugkörper einer der vier Gruppen zuzuordnen.

1. Die Wendung des Bodens

a) Beim steifen Furchenbalken

Wird beim Pflügen ein zusammenhängender Furchenbalken mit dem Pflug gewendet (wie es beim Pflügen einer Wiese oftmals geschieht), so spielt sich nach einigen Anfangsfurchen die Ablage der Furchenquerschnitte nach **Bild 2** ein.

Tafel 1. Kennzeichnung der Pflugkörper

Pflugkörperform	horizontale Formlinie in ca. 160 mm Höhe	Verwindung der Streichbleche *)	$L:H$ **)	vertikale Formlinien ***)
I. Kulturform + liegende Kulturform	gerade	0° bis 36°	1,0 bis 1,4	konkav
II. Universalform	konvex	40° bis 48°	1,1 bis 1,2	konkav
III. Wendelform	konvex	46° bis 67°	1,4 bis 1,8	konkav—gerade
IV. Schraubenform	konvex	67° bis 125°	1,8 bis 3,0	konvex

*) Die Verwindung des Streichblechs wird durch den Unterschied der Neigungswinkel der vertikalen Formlinien an der Land- gegenüber der Furchenseite des Streichblechs (nach *Söhne*) gekennzeichnet.

**) $L:H$ ist das Verhältnis der Länge L zur Höhe H des gesamten Pflugkörpers.

***) Die vertikalen Formlinien sind in der Ansicht senkrecht zur Schar-schneide gesehen.

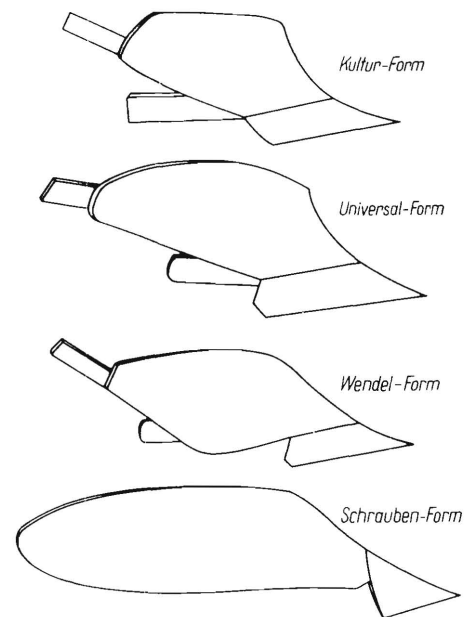


Bild 1. Die vier Gruppen der verwendeten Pflugkörper.

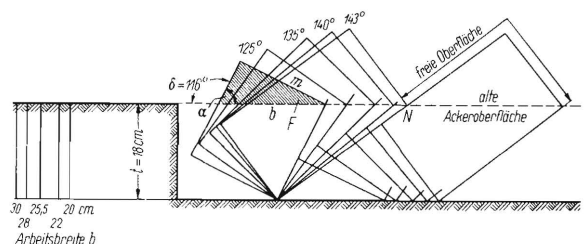


Bild 2. Die Wendung des steifen Furchenbalkens bei zunehmender Arbeitsbreite (siehe auch Tafel 2). Die Nahtstelle N zwischen den einzelnen Dämmen liegt immer auf der Linie der alten Ackeroberfläche.

Dipl.-Landw. Walter Feuerlein ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Bodenbearbeitung (Direktor: Prof. Dr. Helmut Fresse) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

Die Lage der Furchenquerschnitte nach dem Pflügen wurde zeichnerisch ermittelt und daraus der „Aufwurf“ F , nämlich der Querschnitt der aufgeworfenen Dämme über der alten Ackeroberfläche, gewonnen, **Tafel 2**. Die Nahtstellen der Furchendämme liegen hier immer auf der Verlängerungslinie der alten Ackeroberfläche, so daß sich auch die Begrenzungslinie der freien Oberfläche leicht feststellen läßt.

Aus Bild 2 und Tafel 2 geht für gleichbleibende Arbeitstiefe t und größer werdende Arbeitsbreite b folgendes hervor:

1. der Furchenbalken wird immer mehr gewendet, d. h., der Winkel δ wird größer,
2. der Querschnitt F des Aufwurfs über die bisherige Ackeroberfläche, also das Maß des hochgebrachten Bodens, steigt an. Der Hohlraum, der sich dabei unter dem Erdbalken bildet, entspricht der Größe des Aufwurfs;
3. die freie, d. h. der Witterung ausgesetzte Oberfläche der Furchendämme steigt mit der Arbeitsbreite ebenfalls an, jedoch nur bis $b = 25,5$ cm. Von da ab fällt ihr Wert wieder geringfügig ab. Der gepflügte Acker erhält demnach die größte Oberfläche, wenn das Verhältnis der Tiefe zur Breite gleich $1:\sqrt{2}$ ist. Der Querschnitt des Aufwurfs ist dann ein gleichschenkeliges Dreieck. Die beim Pflügen entstehende freie Ackeroberfläche ist bei gleichem Verhältnis von Arbeitstiefe und Arbeitsbreite unabhängig von der absoluten Größe des Furchenquerschnittes, d. h., die freie Ackeroberfläche ist für gleiches $t:b$ immer gleich groß, **Bild 3**.

b) Beim zerfallenden Furchenbalken

Zerfällt der Furchenbalken beim Pflügen, so nimmt der Pflugkörper noch stärkeren Einfluß auf den Grad der Wendung und auf die Formung des aufgeworfenen Damms. Beim Pflügen mit der Kulturform auf lehmigem Sandboden stellte sich z. B. eine Wendung von 165° und ein Verhältnis der freien Dammsflanken von $m/n = 3,6$ ein, **Bild 4**. Wurde derselbe Boden mit der Schraubenform gepflügt, so verengte sich dieses Verhältnis auf 2,0.

Die Oberfläche der Pflugdämme und damit des ganzen Ackers wird auch hier am größten, wenn sich die freien Dammsflanken wie 1:1 verhalten. Die Vergrößerung der Oberfläche ist mit ein Grund, warum die Pflüger in feuchten Gegenden ein solches gleichschenkeliges Dreieck ihrer Pflugdämme anstreben.

c) Messen des Wendewinkels beim Pflügen

Gewisse Wirkungen des Pflugkörpers auf den zerfallenden Furchenbalken wurden durch den Einbau von Meßkörperchen ermittelt. Je drei solcher Meßkörper, das sind mit Zahlen gekennzeichnete Würfel mit dem spezifischen Gewicht 1,28, wurden stets in der gleichen Lage in drei verschiedenen Höhen des Furchenquerschnittes eingelegt. Nach dem Pflügen wurde ihre neue Lage nach Höhe, Breite und in Fahrtrichtung ermittelt, **Bild 5**. Aus der alten und neuen Lage der Körper 1, 2 und 3 lassen sich Meßwerte für die Wendearbeit des Pflugkörpers ableiten. Hierfür wurde das Mittel der beiden Winkel herangezogen, die die Verbindungslinien der Körper 1 und 3 und der Körper 2 und 3 mit der Furchensohle bilden. Die Meßgenauigkeit als Mittel aus vier Messungen beträgt $\pm 5\%$; sie soll in weiteren Versuchen verbessert werden.

Tafel 3 zeigt nun den Winkel ϑ , um den der Erdbalken durch drei verschiedene Pflugkörper auf Löß und humosem Lehm gewendet wurde. Die Tiefe betrug bei diesen Versuchen 18 cm und die Breite 25 cm. Aus den Zahlen dieser Tafel kann man schließen:

1. Durch Erhöhung der Geschwindigkeit von 3 auf 6 km/h ist keine größere, sondern eher eine kleinere Wendung erzielt worden.
2. Auf dem Lößboden wendeten die Normkörper der Kulturform und der Wendelform besser als die Schraubenform, auf dem schwereren, humosen Lehmboden erzielte dagegen die Schraubenform die bessere Wendung.

Tafel 2. Die freie Ackeroberfläche nach dem Pflügen in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite (siehe Bild 2)
für $t = 18 \text{ cm} = \text{const}$

Arbeitsbreite b cm	Aufwurf $F = \frac{1}{4} b \sin 2\alpha$ cm ²	$\frac{F}{b}$ *) %	Verhältnis der freien Flanken $\frac{m}{n} = \text{tg } \alpha$	freie Ackeroberfläche	
				$\frac{m+n}{b} = \sin \alpha + \cos \alpha$	*) %
20	78,8	62,5	2,05	1,337	94,5
22	113,5	82,0	1,43	1,393	98,5
25,5**)	160	100,0	1,00	1,414	100,0
28	193	109,0	0,84	1,409	99,5
30	216	114,0	0,75	1,401	99,0

*) Die Werte auf $b = 25,5$ cm bezogen (= 100%)

***) Furchentiefe: Furchenbreite = $1:\sqrt{2}$

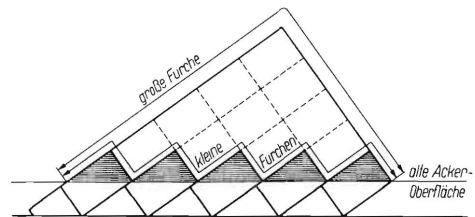


Bild 3. Große und kleine Furchen ergeben für gleiches Verhältnis $t:b$ gleich große Ackeroberflächen nach dem Pflügen.

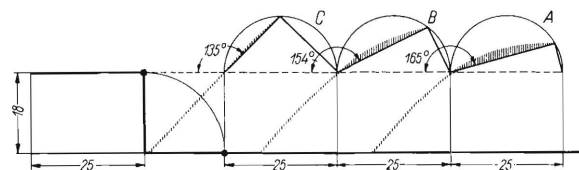


Bild 4. Die Wendung des zerfallenden Furchenbalkens.

Fall Pflugkörper	C Schraubenform	B Schraubenform	A Kulturform
Verhältnis $m:n$	1:1	1:2	1:3,6
Aufwurf in cm ²	162	125	83
Dammsflankenlänge in cm	36	34	31

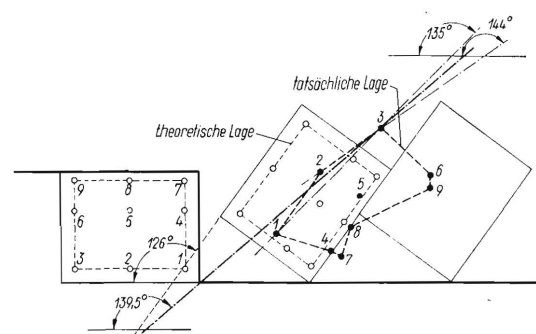


Bild 5. Wirkliche Lage des gewendeten Erdbalkens nach dem Pflügen.

Pflugkörper M 20 auf Löß; Breite $b = 25$ cm; Tiefe $t = 20$ cm

Tafel 3. Vergleich des gemessenen Wendewinkels ϑ für drei verschiedene Pflugkörper

	$v = 3 \text{ km/h}$		$v = 6 \text{ km/h}$	
	Liedingen Löß	Salzdahlum hum. Lehm	Liedingen Löß	Salzdahlum hum. Lehm
Kulturform	152°	150°	150°	154°
Wendelform	155°	164°	154°	146°
Schraubenform	—	172°	136°	161°

3. Die wendende Wirkung auf einen zerfallenden Boden war (im trockenen Herbst 1959) größer als die auf einen steifen Furchenbalken. Dieser würde bei dem entsprechenden Verhältnis $t:b = 18:25,5$ ja nur eine Wendung von 135° erfahren, wie aus Bild 2 zu entnehmen ist.

Tafel 4. Vergleich des gemessenen Wendewinkels ϑ für verschiedene Geschwindigkeiten
Mittel für mehrere Pflugkörper

Boden	4,5 km/h	7 km/h	9 km/h	12 km/h
Liedingen, Löß	146°	143°	150°	157°
Salzdahlum, hum. Lehm . .	148°	147°	150°	157°

Die Tiefe betrug i.M. 23 cm und die Breite i.M. 29 cm. Aus der **Tafel 4** ist zu entnehmen, daß der Wendewinkel der Pflugkörper (es handelt sich um Mittelwerte aus 8 bzw. 6 Pflugkörpern) bei Erhöhung der Geschwindigkeit von 4,5 auf 7 km/h zunächst nicht anstieg. Erst bei weiterer Erhöhung der Geschwindigkeit auf 9 und 12 km/h vergrößerte sich der Wendewinkel der Pflugkörper. Die größere Wendung des zerfallenden Furchenbalkens bei höheren Geschwindigkeiten darf man allerdings nicht mit besserer Unterbringung von Stoffen, die auf der Oberfläche des Ackers waren, gleichsetzen. Tatsächlich findet mit zunehmender Geschwindigkeit eine schlechter werdende Einmischung von Stoppel, Stroh und Getreideaufwuchs statt (Entmischungseffekt).

Auf beiden Böden stimmte im Mittel der verwendeten Pflugkörper der Wendewinkel weitgehend überein. Unter diesen erzielten die für den betreffenden Boden passenden Pflugkörper einen größeren Wendewinkel als die anderen.

2. Die Lockerung des Bodens

Die Lockerung des Bodens ist der Hauptzweck des Pflügens. Durch das Lockern wird das Porenvolumen des Bodens wieder vergrößert, das durch mancherlei Vorgänge, vor allem während der Zeit, während der der Boden unbedeckt war, mehr oder weniger stark vermindert wurde. Das Messen des Porenraums ist daher eine Methode, um den Grad der Lockerung durch einen Pflugkörper zu kennzeichnen. Diese Methode läßt sich im abgesetzten Boden gut anwenden; im frisch gepflügten Boden muß nach anderen Verfahren gearbeitet werden, um die Lockerung zu kennzeichnen, z. B. durch Messen des aufgeworfenen Erddammes, des sogenannten Aufwurfs.

Vom ungepflügten Land aus werden Bezugsmeßplatten über das gepflügte Land einnivelliert und von dort aus der Aufwurf gemessen. Bei einer Arbeitstiefe von 18 cm betrug auf Lößboden der erzielte Aufwurf im Mittel aus vielen Einzelmessungen

- bei Fräse 4,4 cm (= 24% der Arbeitstiefe),
- bei Kulturkörperform 6,0 cm (= 33% der Arbeitstiefe),
- bei Schraubenkörperform 6,3 cm (= 35% der Arbeitstiefe).

Der Fräse wurden die gleichen Schlepperspuren vorgelegt wie den Pflügen. Die Pflugdämme wurden leicht eingeebnet.

Die Lockerung des Bodens als Furchenaufwurf läßt sich durch die zeichnerische Aufnahme des gesamten Furchenprofils erfassen. Es wurde hierzu ein Profilschreiber in der Art eines Storchschnabels gebaut, mit dem die Konturen im Breitenverhältnis 1:1 und im Höhenverhältnis 1:4 aufgezeichnet werden, **Bild 6**. In unserer Bodenrinne erhielten wir bei einer Geschwindigkeit von 3 km/h und bei einem Furchenquerschnitt von 18 cm Tiefe und 25 cm Breite die in **Tafel 5** einander gegenübergestellten Lockerungswerte.

Der Schraubepflug machte den Boden wohl lockerer und erzielte größere Hohlräume, jedoch auch größere Schollen, wie die spätere Siebanalyse ergab.

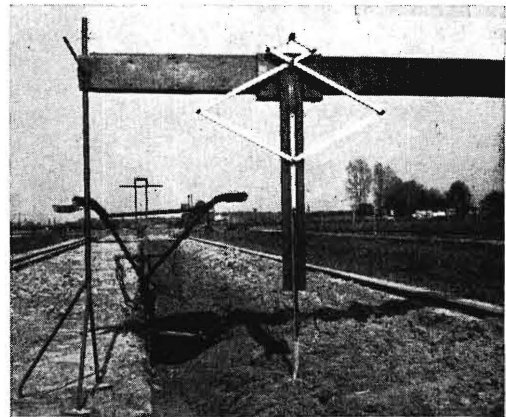


Bild 6. Profilschreiber zur Bestimmung des Furchenaufwurfes durch das Pflügen.

Tafel 5. Lockerung beim Pflügen (planimetriert nach Profilschrieb)

Bodenart	Kulturform M 20	Schraubenform GP
Bodenrinne, Löß	34,5%	48,5%
Bodenrinne, lehm. Ton . .	37,5%	58 %

Tafel 6. Vergleich der Lockerung bei verschiedenen Geschwindigkeiten (Mittel für mehrere Pflugkörper)

	4 km/h	7 km/h	9 km/h	12 km/h
Liedingen, Löß	49%	43%	42%	42%
Salzdahlum, hum. Lehm . .	54%	47%	42%	45%

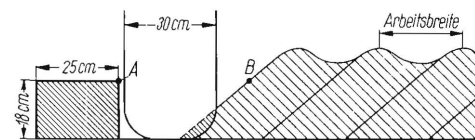


Bild 7. Furchenprofil.

Tafel 7. Furchenöffnung bei steigender Geschwindigkeit
Mittel aus 8 Pflugkörpern. $t = 23$ cm; $b = 29$ cm

km/h	Furchenöffnung A—B cm	
	Löß	Lehm
4	43	46
7	46	51
9	50	53
12	70	73

Aus den Zahlen in **Tafel 6** geht hervor, daß die gesamte Auflockerung des Furchenbalkens bei höherer Geschwindigkeit nicht zunahm. Auch bei dieser Durchschnittsbildung für die Lockerungswirkung aller verwendeten Pflugkörper wird die meist stärkere Auflockerung des schweren Bodens deutlich.

Aus der Profilaufnahme geht auch die Größe der Furchenöffnung, **Bild 7 und Tafel 7**, hervor. Diese Furchenöffnung nahm mit höherer Geschwindigkeit zu.

Bei manchen Pflugkörpern vergrößerte sich diese Entfernung A—B schon bei kleinen Erhöhungen der Geschwindigkeit und nahm dann bei 12 km/h besonders große Ausmaße an. Bei dieser Geschwindigkeit erreichte z. B. die Kulturform M 25 auf Lößboden einen Wert von 96 cm für die Furchenöffnung. Die Pflug-

körper der Schraubenform wie *Ransomes* und *Ferguson GP* sind weniger geschwindigkeitsempfindlich. Sie vergrößerten die Furchenöffnung erst bei 12 km/h, dann jedoch auf die Höchstwerte von 69 bzw. 73 cm. Die Geschwindigkeitstauglichkeit bzw. -unempfindlichkeit von Pflugkörpern läßt sich schon an den Werten A—B erkennen.

Natürlich ist das gute Ausräumen der Furche auch für die kleineren Geschwindigkeiten erwünscht und notwendig. Welche Volumenverkleinerungen des gepflügten Aufwurfs sich bei Verwendung von Reifen mit 12 bis 15 Zoll Breite ergeben, sei an den beiden extremen Pflugkörpern der Kulturform M 20 und der Schraubenform GP dargestellt, **Tafel 8**. Durch Schräglage des Schleppers können sich diese Werte erhöhen; hier geht es aber zunächst um die Relationen.

Tafel 8. Volumverkleinerung des Aufwurfs durch Schlepperreifen. $v = 3 \text{ km/h}$; $t = 18 \text{ cm}$; $b = 25 \text{ cm}$

Pflugkörper	Boden	Volumverkleinerung in % durch Reifen		
		12'	13'	15'
M 20	Löß	7	11	21
	Ton	6	10	20
GP	Löß	3	6	13
	Ton	2	4	11

Siebanalysen

Bei sämtlichen Versuchsfahrten mit den Pflugkörpern wurden Bodenproben von den bearbeiteten Böden entnommen und nach völliger Abtrocknung abgesiebt. Bei der Trockensiebung kann ohne Abreibverlust gesiebt werden. Die Werte der Siebanalyse geben nicht so sehr die Lockerung des Bodens als vielmehr seine Zerteilung in die Krümelgrößen von $< 2 \text{ mm}$ bis $> 80 \text{ mm}$ wieder. Aus den Summenkurven für die verschiedenen Geräte bzw. Pflugkörper in **Bild 8** geht hervor, daß die Schraubenform (*Ransomes*) bei der niedrigen Geschwindigkeit von 3 km/h die größte Zerteilung des Bodens, die *Osthaus*-Fräse die feinste hinterläßt.

Werden die Siebanteile aller Pflugkörper für die verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten gemittelt, so erhält man wohl einen deutlichen Unterschied nach der Bodenart, jedoch nicht nach der Geschwindigkeit, **Bild 9**. Die Zerteilung des Bodens in die

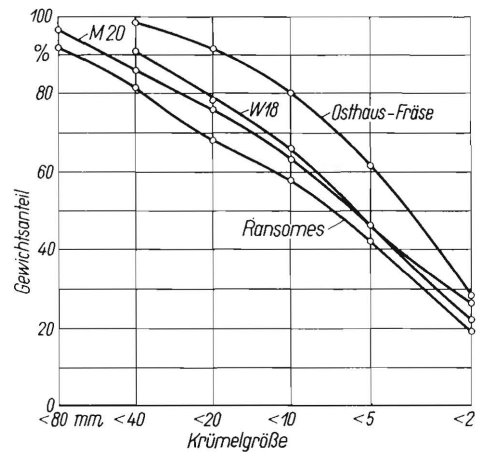


Bild 8. Siebanalysen von verschiedenem bearbeitetem Boden bei 3 km/h Arbeitsgeschwindigkeit. Bodenart: Löß (Liedingen)

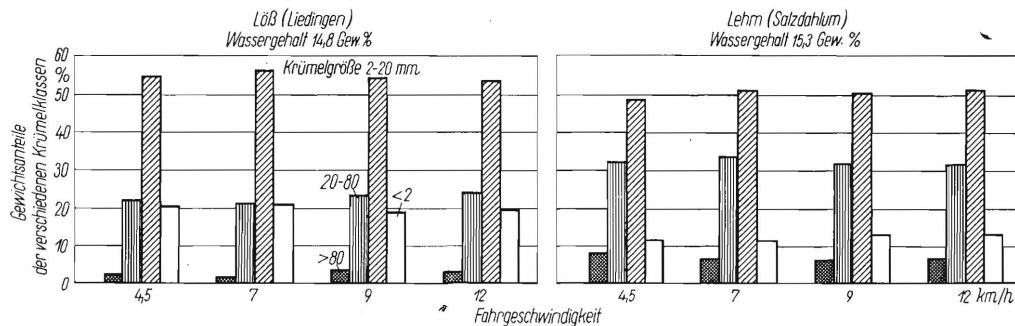


Bild 9. Siebanalysen. Mittel aus sämtlichen untersuchten Pflugkörpern.

verschiedenen Krümelgrößen wird von der Pfluggeschwindigkeit nicht merklich beeinflusst. Anders ist es mit der Verteilung der verschiedenen Krümelgrößen nach der Tiefenlage in den Pflugdämmen. Hierauf hat die Pfluggeschwindigkeit, wie später gezeigt wird, einen großen Einfluß.

In den Siebanalysen nach **Bild 9** wurden zum leichteren Vergleich die 7 Siebfractionen in vier Fraktionsgruppen zusammengefaßt. Man hat verschiedentlich versucht, die Ergebnisse von Siebanalysen in einer einzigen Zahl der „inneren Bodenoberfläche“ oder des „gewogenen Mittels der Krümelgröße“ zusammenzufassen. Für die Beurteilung der Pflugarbeit erscheint jedoch die Aufgliederung in Krümelgrößenfraktionen oder mindestens in Fraktionsgruppen notwendig.

Die Bodendichte während des Winters

Der im Herbst gepflügte Acker erfährt im Laufe des Winters eine weitere Hebung und Lockerung durch den Frost. Im freien Feld wurde im Winter 1958/59 eine Hebung des Lößbodens um durchschnittlich 7,5 cm und des Lehmbodens um 6,2 cm ermittelt. Dieser Hebung des Bodens wirkt eine Setzung durch Regen und

Schnee entgegen. Für das Maß der Lockerung, das im Frühjahr vom herbstlichen Pflügen noch vorhanden ist, sind die Niederschläge vor allem während des Auftauens des Bodens entscheidend. Von dem Aufwurf durch das Pflügen im Vorherbst waren auf dem Lößboden noch vorhanden:

Frühjahr	Niederschläge Februar/März	Vom Aufwurf des Vorherbstes noch vorhanden:
1958	87 mm	1%
1959	19 mm	46%

Die Dauerhaftigkeit der Herbstlockerung ist nun keineswegs für die Pflugarbeit sämtlicher Körperformen gleich, sondern weitgehend von der Gestalt, die sie der Ackeroberfläche vermittelt haben, abhängig. Um den Einfluß der Witterung auf die Haltbarkeit der Pflugfurche zu ermitteln, wurden auf drei verschiedenen Böden im Freigelände frostsichere Höhenmarken in größerer Zahl angebracht und von dort aus die Bewegungen beim Heben und Setzen der Böden gemessen. Die Ergebnisse

für den Lößboden in Liedingen aus dem Jahr 1958/59 sind in **Tafel 9** wiedergegeben. Die Ergebnisse der Höhenmessungen wurden dabei auf Porenvolumen n umgerechnet.

Aus der Aufstellung läßt sich die Entwicklung des Porenvolumens eines im Herbst bearbeiteten Ackers gut verfolgen. Man erkennt deutlich, wieviel stabiler die von der Schraubenform erzielte Lockerung gegenüber der von der Kulturform erzielten war. Beide Pflugkörperformen hatten im Herbst den Boden etwa mit gleichem Porenvolumen hinterlassen (Kulturform $n = 56\%$, Schraubenform $n = 56,7\%$). Am 11. März war jedoch das Porenvolumen beim Schraubenformbeet um 2,0 und der Luftgehalt um 1,6 Punkte höher als beim Kulturformbeet. Mit beiden Pflügen wurde ein höheres Porenvolumen erreicht als mit der Fräse, und beide Pflugbeete behielten bis zum März ein höheres Porenvolumen und vor allem einen höheren Luftgehalt bei.

Erst nachdem die Saatbettbestellung für Zuckerrüben gleichmäßig über alle Beete gegangen war, hatten sich alle Unterschiede verwischt. Porenvolumen, Wassergehalt und Luftgehalt waren einheitlich geworden. Das Porenvolumen hatte sich auf allen Parzellen unter den Ausgangszustand des Vorherbstes gesenkt. Die Kräfte der Vegetationszeit (Wurzeln und Bodentiere) pflegen es bis zum Herbst wieder etwas anzuheben.

3. Die Form der gepflügten Ackeroberfläche

Beim Vergleich der beiden Pflugkörper und der Entwicklung des Porenvolumens über Winter drängt sich der Schluß auf, daß die Form der aufgeworfenen Dämme von erheblichem Einfluß ist. Die Gegenüberstellung der Aufwurfmessungen der beiden Pflugkörper und einer Fräse in **Tafel 10** bestätigen dies.



Bild 10. Die Ackeroberflächenrauheit — mit demselben Pflugkörper (Schraubenform) bei verschiedener Geschwindigkeit gepflügt:

links: 6 km/h

Bodenart: Löß (Liedingen)

rechts: 3 km/h

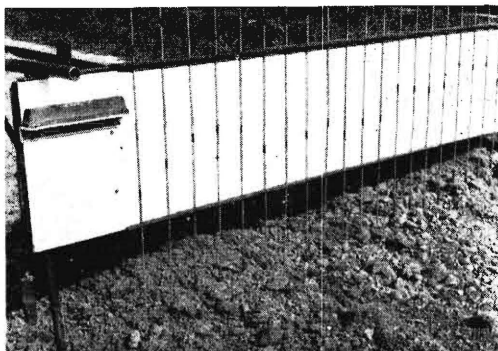


Bild 11. Rauheitsmesser für die gepflügte Ackeroberfläche nach Ing. H. Kuipers, Wageningen.

Tafel 9. Die Lockerung des Bodens durch die Geräte und seine Absetzung über Winter

n = Porenvolumen; n_W = Wassergehalt; n_L = Luftgehalt
 $n = n_W + n_L$

Zeitpunkt	Fräse			Kulturform			Schraubenform		
	n %	n_W %	n_L %	n %	n_W %	n_L %	n %	n_W %	n_L %
11. 11. 1958*) v. d. Befahren	44.9	31.7	13.2	44.9	31.7	13.2	44.9	31.7	13.2
12. 11. 1958*) n. d. Befahren	42.3	33.0	9.3	42.3	33.0	9.3	42.3	33.0	9.3
14. 11. 1958**) n. d. Pflügen	52.2			56.0			56.7		
3. 3. 1959**) nach Winter	45.5			46.9			49.7		
11. 3. 1959*) nach Winter	44.7	32.2	12.1	45.2	30.9	14.3	47.2	31.3	15.9
11. 5. 1959*) n. Saatbett- vorbereitung	43.2	29.0	14.2	42.9	28.4	14.5	43.6	29.4	14.2

*) n Mittel aus 2 Schichten. **) n berechnet aus Aufwurf.

Tafel 10. Erhaltung der Lockerung der Herbstfurche bis zum Frühjahr (1958/1959) in Abhängigkeit von der Werkzeugart und Körperform. Löß (Liedingen)

	Auflockerung im Herbst cm	im Frühjahr noch vorhandene Lockerung cm
Fräse	4,4 = 24%	1,5 = 8%
Kulturform	6,0 = 33% *)	2,1 = 12% *)
Schraubenform	6,3 = 35%	3,3 = 18%

*) Bezogen auf die Furchentiefe $t = 18$ cm

Tafel 11. Rauheitsfaktor nach Kuipers.

Lößboden Liedingen, Herbst 1959
Pfluggeschwindigkeit 3 km/h; $t = 18$ cm

Werkzeug/Gerät	Rauheitsfaktor
Pflug: Kulturform	17.0
Pflug: Wendelform	35.2
Pflug: Schraubenform	39.4
Osthaus-Fräse	11.7
Spatenmaschine	34.0

Die Schraubenform hatte dem Boden mit der Ausbildung von Dämmen ähnlich einem Wellblech eine größere Widerstandsfähigkeit gegen die Setzungseinflüsse des Wassers verliehen. Ähnlich verhalten sich auch die Dämme gleicher Pflugkörper bei verschiedenen Geschwindigkeiten, **Bild 10**.

Die Oberflächengestalt des Ackers kann zahlenmäßig durch Ermittlung seiner „Rauheit“ erfaßt werden. Zur Messung dieser Oberflächenrauheit wurde eine Meßeinrichtung nach Kuipers gebaut. 40 Nadeln zeigen alle 5 cm den Abstand der Ackeroberfläche vom Meßgerät an, **Bild 11**. Gewissermaßen als mittlerer Fehler wird das Mittel der Höhenunterschiede errechnet und daraus ein „Rauheitsfaktor“ für die Ackeroberfläche gebildet, **Tafel 11**.

Nach Tafel 11 erzielte die Kulturform auf diesem Löß einen recht niederen Rauheitsgrad, der nur von der Fräse unterschritten wurde. Dies ist für die Saatfurche erwünscht, nicht jedoch für eine Winterfurche. Die Erhaltung der Lockerung über Winter, das Sammeln von Schnee, die Einschränkung der Krustenbildung, der Angriff der Egge im Frühjahr ist bei einem rauhen Furchenkamm, wie ihn z. B. die Wendelform oder noch ausgeprägter die Schraubenform erzeugt, besser gewährleistet. Auf schweren Verwitterungsböden kann zwar auch die Kulturform einen in sich rauheren Boden bewirken, rauher als ihn die

Wendel- oder die Schraubenform hinterläßt, doch ist diese Art von Rauheit häufig mit den bekannten und unerwünschten Querschollen und „Hasenlöchern“ verknüpft, die sich auf den Aufgang der Saaten nachteilig auswirken.

4. Die Mischung des Bodens

Das Mischen der Bodenteile beim Pflügen ist bei niedriger Geschwindigkeit gering. Es erfolgt beim Mischen eine Änderung der Zuordnung der Bodenteile zueinander. Im Furchenbalken werden, wie im Abschnitt „Wendung des Bodens beim zerfallenden Furchenbalken“ erwähnt, vor dem Pflügen 9 Meßkörperchen in horizontalen und vertikalen Ebenen, in einer bestimmten Lage und Reihenfolge eingebaut.

Würde beim Pflügen des Furchenbalkens in **Bild 12** ein stärkeres Mischen der Bodenteile stattfinden, so müßte sich dies in einer Änderung ihrer Zuordnung zueinander ausweisen. Tatsächlich lagen die Meßkörper nach dem mit 3 km/h vorgenommenen Pflügen aber fast stets in derselben Reihenfolge, sowohl in Projektion auf die horizontale wie auf die vertikale Ebene, die eingangs, Bild 5, dargestellt wurde. Es hat also keine wesentliche neue Vermischung des Bodens innerhalb eines Furchenbalkens stattgefunden.

Wenn wir mit dem Pflug trotzdem ein, wenn auch begrenztes Mischen des Bodens erzielen, so muß dies auf einem anderen Umstand beruhen. Bei einigen, den Boden abhebenden Ackergeräten kommt eine Vermischung vor allem dadurch zustande, daß die durch die Werkzeuge erzeugten Schnittflächen nach der Ablage des Bodens eine andere Zuordnung zueinander haben als vor der Bearbeitung. Als Maßstab für den erzielten Mischereffekt kann das Verhältnis von Bodenvolumen:Summe der Schnittflächen dienen.

Vergleicht man nun die drei Werkzeuge Pflugschar, Spatenblatt und Fräsmesser unter der Annahme eines gleichen Bodenvolumens, z. B. eines Furchenbalkens von 5 m³ und bei gleicher Arbeitstiefe von 20 cm miteinander, so beträgt die dazugehörige Schnittfläche nach **Bild 13**

- beim Pflug 20 m² (Furchenbreite 25 cm),
- beim Spaten 75 m² (Bissenlänge 10 cm, Bissenbreite 20 cm),
- bei der Fräse 148 m² (Bissenlänge 5,4 cm, Bissenbreite 9,0 cm, Einschläge je m² 205).

Die mischende Wirkung dieser drei Werkzeuge steht also im Verhältnis Pflug:Spaten:Fräse = 20:75:148.

Mit dieser Verhältniszahl kann nicht nur die Intensität der Neuverteilung der Bodenkrümel durch die Bearbeitung, sondern angenähert auch das Einbringen von Oberflächensubstanzen und ihre Vermischung mit dem Boden ausgedrückt werden. Voraussetzung für diese Aussage ist die Einhaltung der uns bisher vertrauten Pfluggeschwindigkeiten — nicht zu langsam auf rieselndem Sandboden — nicht zu schnell auf allen kohärenten Böden. Schnelleres Pflügen kann dagegen zu Entmischungs- bzw. Sortierungsvorgängen führen.

Die Entmischung des Bodens

Von einer guten Pflugarbeit wird unter anderem auch verlangt, daß der Boden nach seiner Ablage durch das Streichblech eine möglichst gleichmäßige Verteilung der feinen und groben Bestandteile aufweist. Unerwünscht ist die Anhäufung von groben Schollen in einer bestimmten Schicht des gepflügten Bodens und die Anhäufung von Feinbestandteilen in einer anderen. Man wünscht also eine möglichst geringe Sortierwirkung nach der Größe der Krümel. Jede schleudernde Bewegung, die der Furchenbalken erfährt, hat jedoch eine Sortierung der Krümel nach ihrer Größe, eine Entmischung des Bodens im Gefolge.

Die Verwindung des Furchenbalkens, die er auf dem Streichblech der Wendelform oder der Schraubenform erleidet, gibt wenig Anlaß zur Entmischung des Bodens. Die Kulturform dagegen, die den Boden überstürzt, ihn „schüttend“ pflügt, bewirkt auf feinehmigen Böden eine mit der Geschwindigkeit ansteigende Sortierung des Bodens, indem sie die feineren Be-

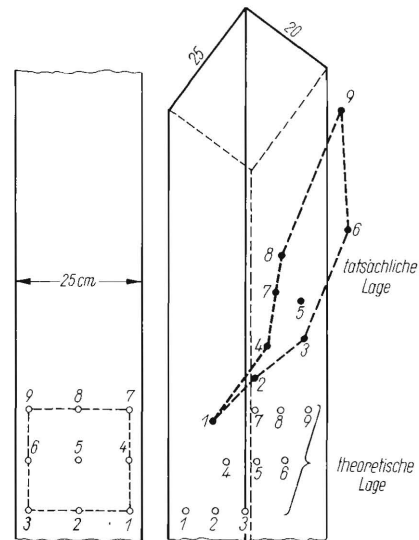


Bild 12. Lage eines Horizontalschnitts 1 bis 9 vor und nach dem Pflügen.

Pflugkörper M 20 auf Löß Mittel aus 4 Messungen ($m = 5\%$)

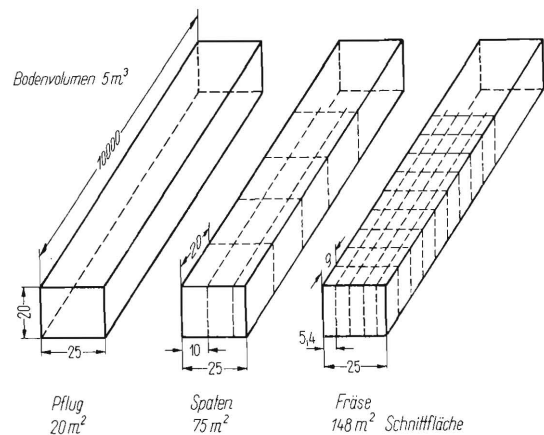


Bild 13. Der Vermischungseffekt als Verhältnis zwischen Bodenvolumen und Summe der Schnittflächen.



Bild 14. In vier Größenklassen sortierter Boden. Bei kleinen Krümelgrößen besteht die Gefahr der Verschlämmung des Bodens.

standteile in besonderem Maße auf der Oberfläche des Ackers ablegt. Die Gefahr der Verschlämmung der Bodenoberfläche nach einem solchen Pflügen ist die Folge, **Bild 14**.

Wird die Pfluggeschwindigkeit gesteigert, so kann man von einer bestimmten Geschwindigkeit ab mit bloßem Auge schon eine Sortierung des Bodenstroms erkennen. Neben feinsten Teilchen wird dann bevorzugt grobes Bodenmaterial, aber auch leicht-

tes Unkraut, Strohteile usw. auf der Oberfläche des Ackers abgelegt. Dieser „Steigsichtereffekt“ tritt bei dem einen Pflugkörper früher, bei dem anderen später ein. Dort, wo sich die Siebanalyse des Bodens mit der Geschwindigkeit nicht ändert, und dies haben wir ja für den Durchschnitt der Pflugkörper festgestellt, weist ein höheres Maß an Schollen auf dem gepflügten Acker einen stattgefundenen Sortierungsvorgang aus, **Bild 15** und **Tafel 12**.

Tafel 12. Oberflächenbedeckung durch Schollen in %
(Mittel aller Pflugkörper)

km/h	Liedingen (Löb)	Salzdahlum (Lehm)	
		trocken	feucht
4,5	8	--	18
7	9	11	28
9	12	15	77
12	18	13	77



Bild 15. Starke Schollenablagerung auf der Oberfläche nach dem Pflügen mit 12 km/h Arbeitsgeschwindigkeit auf Lößboden.

5. Begleiterscheinungen des Pflügens

Über die Form des Furchenquerschnitts hinsichtlich der Reifenbreite wurde schon gesprochen. Notgedrungen ist mit dem Pflügen ein verhältnismäßig großer Transport des Bodens nach der Seite und auch in Fahrtrichtung verbunden. Beide Bodenbewegungen wurden aus der Lage der bereits erwähnten 9 Meßkörper ermittelt, **Tafel 13**. Nach Pflugkörpern und nach Geschwindigkeiten ist der Transport des Bodens recht verschieden. Sicherlich kann man diese Zahlen auch zur Kennzeichnung der Geschwindigkeitsempfindlichkeit eines Pflugkörpers heranziehen.

Tafel 13. Die Bewegung des Bodens beim Pflügen
Liedingen, Löb, Wassergehalt 14,8 Gew.-%

Geschwindigkeit km/h	Seitentransport				Vorwärtstransport			
	Kulturform		Schraubenform		Kulturform		Schraubenform	
	cm	Rel. %	cm	Rel. %	cm	Rel. %	cm	Rel. %
4.5	33.5	100	35.0	100	20.0	100	20.0	100
7.0	44.5	132	41.0	119	28.0	127	13.0	117
9.0	42.0	125	37.0	105	38.5	176	29.5	151
12.0	76.0	227	44.5	128	73.5	332	24.5	123

Die Auswirkungen des Vorwärtstransportes des Bodens beim Pflügen kann man da und dort in unseren Feldfluren erkennen: Der Boden wurde durch das jahrhundertelange Herauspfügen an den Enden der Ackerstücke zu sogenannten „Ackerbergen“ zusammengefahren und oftmals bilden die Äcker dadurch Senken zwischen den höher gelegenen Wegen, unter denen sich eine tiefe Schicht guten Krumenbodens angehäuft hat.

Abschließend kann festgestellt werden, daß sich die einzelnen Faktoren hinsichtlich der Güte der Pflugarbeit mit den angewandten Methoden messen und beurteilen lassen. Man kann die Einflüsse von Pflugkörperform, Geschwindigkeit, Pflugeinstellung u. a. auf den Arbeitserfolg — wenn auch im Hinblick auf die stets wechselnden Bodenverhältnisse nur relativ — bewerten. Man muß daher für jede Messung einen Testpflugkörper mit heranziehen.

Schrifttum

- [1] *Akester, W. D.*: Ploughs and ploughing in the future. 9. Nat. Power Farming Conference, Cheltenham 1960.
- [2] *Bavel, C. H. M. van.*: Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **14** (1949), S. 20/23.
- [3] *Dreibelbis, F. R., and Nair, M. S.*: Comparison of effects of disking and plowing on some properties of soil. Soil Cons. Serv., U. S. Dept. of Agric., Cochocton, Ohio 1950.
- [4] *Ermich, D.*: Zur Ermittlung der Arbeitswirkung von Bodenbearbeitungsgeräten. Dtsch. Ldw. **10** (1959) S. 387/90.
- [5] *Feuerlein, W.*: Broschüre „Pflüge richtig“. H. 16 3. Aufl. AID, Bad Godesberg 1960.
- [6] *Frese, H.*: Aussichten für eine exakte Beurteilung des Arbeitserfolges von Bodenbearbeitungsgeräten. Grundl. Landtechnik (1956) H. 7, S. 5/10.
- [7] *Gill, W., and McCreery, W. F.*: The effect of the size of cut of two types of tillage tools on clod size and efficiency of operation. Paper No. 59-623, A. S. A. E. Meeting, Chicago 1959.
- [8] *Janert, H.*: Bodenkundliches Praktikum, VEB Verlag Technik, Berlin 1953.
- [9] *Könnecke, G.*: Untersuchungen über das sogenannte Sichten des Bodens. Kühn-Archiv **39** (1935) S. 295/322.
- [10] *Nichols, M. L., and Reed, I. F.*: Physical reactions of soils to moldboard surfaces. Agric. Engng. **15** (1934) Vol. 6.
- [11] *Poncet, W. v.*: Untersuchungen über das Kräftespiel an einem Pflugkörper. Diss. TH München 1939.
- [12] *Puchner, H.*: Bodenkunde für Landwirte, Enke, Stuttgart 1926.
- [13] *Queissner, D.*: Untersuchungen der Arbeitswirkung verschiedener Pflugkörper. Wiss. Archiv f. Landw. **4** (1930) H. 4, S. 653/93.
- [14] *Rid, H., Süß, A.*: Der Mischeffekt verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte und sein Einfluß auf die Phosphataufnahme von Sommergerste und Sommerraps nachgewiesen durch P³². Z. Acker- u. Pflanzenbau **109** (1959) S. 229/52.
- [15] *Söhne, W.*: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit. Grundl. Landtechnik (1959) H. 11, S. 22/39.
- [16] *Söhne, W.*: Einige Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. Grundlagen d. Landtechn. (1956) H. 7, S. 11/27.
- [17] *Tinnefeld, L.*: Die Düngerverteilung im Boden durch die verschiedenen Ackergeräte. Diss. Halle/Saale 1930.
- [18] — Der Pflug in internationaler Sicht. Mitt. DLG **74** (1959) H. 13, S. 353/84.