

Meßmethoden und Kenngrößen zur Ermittlung des Arbeitserfolges beim Pflügen

Von **Walter Feuerlein**, Braunschweig-Völkenrode

Durch das Pflügen werden physikalische, biologische und chemische Veränderungen des Bodens eingeleitet, die sowohl das Pflanzenwachstum während einer Vegetationsperiode als auch den Status der Bodenfruchtbarkeit auf längere Sicht beeinflussen. Diese Einflußnahme geschieht mittels der beim Pflügen unmittelbar auftretenden Effekte des Wendens, Lockerns, Krümelns und des (unerheblichen) Mischens, aber auch durch die Gestaltung der Bodenoberfläche und ganz allgemein durch den Transport des Bodens. Für die Messung dieser „Sofort-Effekte“ wurden Methoden und Geräte entwickelt. In mehrjährigen Feldversuchen wurden auf drei Bodenarten, für je drei Arbeitstiefen und Fahrgeschwindigkeiten Meßwerte ermittelt, welche für die sechs untersuchten typischen Pflugkörper zahlenmäßige Angaben über den Arbeitserfolg erlauben. Es wird gezeigt, wie der Arbeitserfolg von Pflugkörpern anhand von Zahlenwerten verglichen werden kann, sofern die Definition des Bodens, die Geschwindigkeit und das Breiten-Tiefen-Verhältnis des Furchenquerschnittes einheitlich gehandhabt werden. Außerdem wird zur optimalen Geschwindigkeit, zur Breite des Schlepperreifens in der Furche und zum Zugkraftbedarf der Pflugkörper Stellung genommen.

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Der Begriff des „Arbeitserfolges“
- 3 Die Klassifizierung der Böden im Hinblick auf ihre Bearbeitung
 - 3.1 Bodenart
 - 3.2 Bodendichte
 - 3.3 Bodenfeuchte
 - 3.4 Kohärenz und Bodenwiderstand
 - 3.5 Die Kenngrößen der untersuchten Böden
- 4 Die kennzeichnenden Abmessungen der untersuchten Pflugkörper
- 5 Messung der einzelnen Pflugeffekte
 - 5.1 Wendung des Furchenbalkens
 - 5.2 Mischung (Entmischung) des Bodens
 - 5.3 Lockerung des Bodens
 - 5.4 Krümelung des Bodens
 - 5.5 Transport des Bodens und Ausräumen der Furche
 - 5.6 Formung bzw. Rauheit der Ackeroberfläche
 - 5.7 Spezifischer Pflugwiderstand
- 6 Schlußbetrachtung über Durchführung von Pflugkörpertests
- 7 Schrifttum

1 Einleitung

Unter den Bodenbearbeitungsgeräten übt der Streichblechpflug den vielseitigsten Einfluß auf den Boden aus. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Herstellung eines Saatbettes während eines einzelnen Vegetationsjahres als auch hinsichtlich der Schaffung und Bewahrung der Bodenfruchtbarkeit auf längere Sicht.

Das Pflügen des Bodens bezweckt die Veränderung des Bodenzustandes nach seinen drei Komponenten. Diese Komponenten und ihre Teilaspekte, welche der Veränderung unterliegen, sind:

1. die physikalische Komponente
 - a) die Größe und Verteilung der Bodenaggregate,
 - b) der Anteil des Gesamtporenvolumens,
 - c) die Verteilung der Porengrößen im Boden und damit das Verhältnis von Wasserkapazität und Luftkapazität,
 - d) die Mischung von Boden mit Boden und von Boden mit anderen, z. B. eingebrachten Stoffen;

Dipl.-Landw. Walter Feuerlein ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Bodenbearbeitung (Direktor: Prof. Dr. Helmut Frese) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

2. die biologische Komponente

- a) die Placierung von organischen Stoffen in verschiedene Tiefen:
 - flach = Oxydation = Mineralisierung,
 - tief = Reduktion = Faulung,
 - mittel = Wechsel von Oxydation und Reduktion = Rotten unter Bildung von Humus,
- b) die Aktivität von vornehmlich aeroben oder von vornehmlich anaeroben Bakterien,
- c) die Lebensumstände für kleine Bodentiere, wie Regenwürmer usw.

3. die chemische Komponente

- a) die Bindung oder Entbindung von Nährstoffen, insbesondere von Phosphorsäure: die Austauschkapazität des Bodens,
- b) das Verhältnis des Gehaltes an Sauerstoff zu Kohlendioxyd,
- c) oxydierende oder reduzierende Umsetzungen,
- d) die Bodensäure und ihr rascher oder langsamer Wechsel: die Pufferung des Bodens.

Die Veränderungen im Bodenzustand hinsichtlich dieser Teilaspekte gehen nicht plötzlich vor sich. Zusätzliche Faktoren wie Wärme und Wasser, die Zufuhr von organischen und anorganischen Stoffen usw. sind erforderlich, damit diese Veränderungen überhaupt wirksam werden können. Alle sind sie an den Faktor „Zeit“ gebunden, wobei manche mit der Zeit auch eine Beeinträchtigung erfahren, so z. B. durch die der Lockerung entgegenwirkende Setzung des Bodens. Daher muß mit manchen Maßnahmen vorgehalten, d. h. über das momentan nützliche Maß hinaus verändert werden.

2 Der Begriff des „Arbeitserfolges“

Im Augenblick des Pflügens können also die Veränderungen der erwähnten Teilaspekte des Bodenzustandes wegen des fehlenden Faktors „Zeit“ nicht erfaßt werden. Es können jedoch diejenigen Effekte erfaßt werden, welche der Pflug unmittelbar auslöst. Diese sofortigen Effekte des Pflügens sollten als „Arbeitserfolg“ in Zahlenwerten gemessen werden, schon um die Eignung der verschiedenartigen Ausführungen von Pflugkörpern erfassen und vergleichen zu können, aber auch, um dem Pflugbau eine sichere Grundlage zu geben. Dazu fehlten bisher brauchbare Methoden. Mit dem folgenden Beitrag werden hierzu Vorschläge gemacht, die mit Hilfe eines mehrjährigen Forschungsauftrages des BML und der Deutschen Forschungsgemeinschaft erarbeitet wurden.

Zur Bestimmung des Arbeitserfolges bei der Bodenbearbeitung durch einen Pflug sind zwei Kriterien erforderlich: die Zusammensetzung und Eigenschaften des jeweils bearbeiteten „Werkstoffes“ Boden und die durch das „Werkzeug“ Pflug bewirkten Veränderungen der Bodenstruktur. Für manche Feststellungen läßt sich der Einfluß der Böden weitgehend eliminieren, wenn ein bestimmter konventioneller Pflugkörper als Bezugswerkzeug mit herangezogen wird. Trotzdem sollte man den jeweils bearbeiteten Boden so exakt wie möglich kennzeichnen. Zur Kennzeichnung der den Arbeitserfolg bestimmenden physikalisch-mechanischen Bodeneigenschaften, wie sie vor dem Pflügen gegeben sind, werden üblicherweise Untersuchungen in vier Richtungen hin durchgeführt:

1. über die Textur oder die Bodenart, die vor allem durch den Tongehalt bestimmt wird,
2. über die Struktur oder die Dichte des Bodens, die durch den Anteil des Porenvolumens bestimmt wird,
3. über die Feuchte des Bodens, die — wegen der großen Verschiedenheit der Wasserhaltefähigkeit der Böden — zweckmäßigerweise auf die Wasserkapazität bezogen wird, und
4. über den Verformungswiderstand des Bodens.

Zur Feststellung des Arbeitserfolges wurden vom Verfasser in einer früheren Arbeit [8] eine Anzahl von Kenngrößen für die Arbeitseffekte von Pflugkörpern beschrieben. Mit diesen und einigen weiteren Kenngrößen wurde in mehrjährigen Feldver-

suchen gearbeitet. Im wesentlichen handelt es sich um folgende Arbeitseffekte:

1. Wendung des Furchenbalkens,
2. Mischung (Entmischung) des Bodens,
3. Lockerung des Bodens,
4. Krümelung des Bodens,
5. Transport des Bodens und Ausräumung der Furche,
6. Formung bzw. Rauheit der Ackeroberfläche und
7. Zugwiderstand des Pfluges.

Außer der Feststellung der einzelnen Arbeitseffekte wird auf die Eignung von Pflugkörpern für höhere Geschwindigkeiten und auf die praktische Durchführung von Pflugkörpertests näher eingegangen.

3 Die Klassifizierung der Böden im Hinblick auf ihre Bearbeitung

3.1 Bodenart

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung nach den drei Fraktionen Ton, Schluff und Sand wird mit verschiedenen Methoden vorgenommen [12]. Als Bezeichnung der Böden nach der so bestimmten Textur wählt man im Hinblick auf die Bearbeitbarkeit die Klassifikation der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft [24]. Die groben, von einer Korngröße (Tongehalt) ausgehenden Einteilungen, z. B. die der Reichsbodenschätzung, eignen sich für wissenschaftliche Zwecke nicht.

Die Bestimmung der Textur allein ist jedoch noch keine ausreichende Kennzeichnung eines Bodens. So kann z. B. ein sandiger Lehm in trockenem Zustand vermöge eines besonderen Fe-Anteils zementartig verhärtet und nicht pflüger sein; andererseits können sich nach *Vageler* und *Allen* [12] Böden trotz gleichen Tongehaltes physikalisch vollkommen verschieden verhalten. Es müssen deswegen weitere Feststellungen zur Kennzeichnung des Bodenzustandes hinzukommen.

3.2 Bodendichte

Die Lagerungsdichte eines Bodens wird, meist nach der Methode von *v. Nitzsch* [17], durch die Bestimmung des anteiligen Porenvolumens ermittelt. Das Porenvolumen eines Bodens wird in luftführende Poren (anteiliger Luftgehalt) und in wasserführende Poren (anteiliger Wassergehalt) unterteilt. Während Luftgehalt und Wassergehalt — je nach der Füllung der Poren mit Wasser — augenblickliche Größen darstellen, ist der Gesamtporenanteil eine von der Bodenfeuchte unabhängige Größe. Der prozentuale Gesamtporenanteil ergänzt sich mit dem Anteil der Bodensubstanz zu 100 Vol.-% des

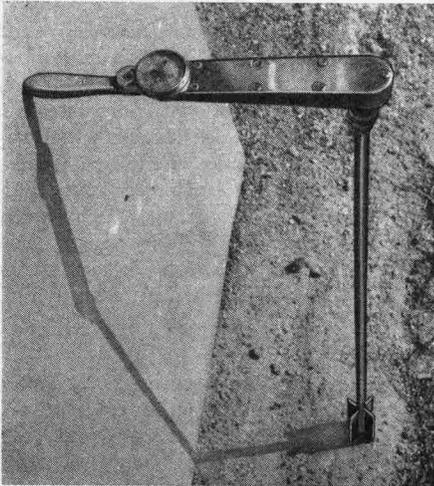


Bild 1. Messen des Scherwiderstandes mit einem Flügelbohrer und einem aufgesetzten Drehmomentmesser nach *Schaffer* [20].

Bodenraumes. Der Gesamtporenanteil ist bodentypisch: werden bei Sand 40 Vol.-%, bei Lehm 45 Vol.-% und bei Ton 50 Vol.-% Porenanteil unterschritten, so kann man ackerbaulich von einer mehr oder weniger starken Verdichtung des Bodens sprechen.

Leider sind die Unterschiede der Porenanteile abgesetzter Böden nur klein und nicht immer gesichert. Auch ist nach *v. Boguslawski* und *Lenz* [4] die Bodendichte nicht immer ein Maß für die Festigkeit des Bodenverbandes, welche bei der Bodenbearbeitung zu überwinden ist. Es müßte also zugleich auch eine thixometrische Bestimmung erfolgen.

3.3 Bodenfeuchte

Der Wassergehalt wird als Gewichtsverlust beim Trocknen des Bodens ermittelt. Volumprozentisch ergänzt sich dieser Wert mit dem Luftgehalt zum Gesamtporenanteil. Gewichtsprozentisch wird er auf das Trockengewicht des Bodens bezogen (Feuchtegrad)¹⁾. Der Feuchtegrad des Bodens kann verhältnismäßig einfach nach der Spiritusmethode von *Czeratzki* [6] bestimmt werden.

Um zu einer Aussage über den Feuchtezustand des Bodens zu gelangen, muß der augenblickliche Feuchtegrad auf die Wassersättigung (Wasserkapazität) des betreffenden Bodens bezogen werden. Die Wassersättigung eines Bodens hängt sehr stark von der jeweiligen Bodenart ab. Die Wassermenge, die ein Boden bis zu seiner Sättigung aufzunehmen vermag, wird als Wasserkapazität oder häufig als Feldkapazität (in Gew.-%) angegeben:

$$K_w = m_w/m_s \cdot 100 \text{ Gew.-%},$$

worin m_w die aufgenommene Wassermenge in g und m_s die trockene Bodensubstanz (Feinerde) in g bedeuten. Sie wird entweder nach konventioneller Feldmethode [12] oder im Labor unter Anlegung einer Saugspannung von 100 cm WS an die wassergetränkte Bodenprobe bestimmt. Dieser Wassergehalt bei einer Saugspannung von 100 cm WS (pF2-Wert) wurde den Werten in Tafel 1 zugrunde gelegt. Leider ist die im Labor bestimmte „Feldkapazität“ keine absolute Größe, da sie nach *Hartge* von der Höhe des Grundwasserspiegels abhängt.

3.4 Kohärenz und Bodenwiderstand

Die Wirkung der drei Kenngrößen Bodenart, Bodendichte, Bodenfeuchte und einiger weiterer Faktoren der biologischen und der chemischen Komponente (z. B. der Bewuchs des Ackers) auf das Pflügen läßt sich weitgehend auch in dem spezifischen Bodenwiderstand in kp/dm^2 ausdrücken, der mit einem bestimmten, für den Test festgelegten Pflugkörper oder mit einer horizontalen Sonde, z. B. nach *Zschaage* in [14], ermittelt werden kann.

Noch eindeutiger wird die Kohärenz des Bodens erfaßt, wenn statt des spezifischen Bodenwiderstandes der Scherwiderstand gemessen wird. Er ist mit dem Gerät nach *Schaffer* [20], einem Flügelbohrer mit aufgesetztem Drehmomentmesser, Bild 1, verhältnismäßig einfach und mit einer genügend großen Zahl von Wiederholungen zu bestimmen. Nach Untersuchungen von *Lindner* [14] steht die zunehmende Scherfestigkeit in guter Korrelation zum abnehmenden Porenvolumen und zur zunehmenden Feinkörnigkeit des Bodens. Danach erhöht sich bei gleichbleibendem Wassergehalt die Scherfestigkeit durch eine Verdichtung um so stärker, je mehr abschlämmbare Teilchen, insbesondere Ton, der Boden enthält. Die Scherfestigkeit nimmt mit zunehmendem Wassergehalt degressiv ab. Nach *Schaffer* ergibt die Scherfestigkeit etwa 5mal größere Unterschiede in den Meßwerten als das Porenvolumen.

Leider fehlen noch Vergleichsversuche in ausreichender Zahl über die Korrelation zwischen Scherfestigkeit und spezifischem Bodenwiderstand. Das Ziel ist, einen Boden hinsichtlich seiner Bearbeitung mit dem Pflug durch die Angabe des Scherwiderstandes hinreichend genau zu klassifizieren.

3.5 Die Kenngrößen der untersuchten Böden

Als Ergebnis vorstehender Meßmethoden sind in **Tafel 1** für drei Böden, auf denen der Arbeitserfolg von verschiedenen Pflugkörperformen gemessen wurde, die physikalisch-technologischen Kenngrößen dargestellt.

Trotz gleichen Tongehaltes unterscheiden sich die beiden Böden B und C in ihrem spezifischen Zugwiderstand und noch deutlicher in ihrem Scherwiderstand (Scherfestigkeit). Dies mag dem unterschiedlichen Sand- und Schluffgehalt, aber auch den Unterschieden in Porenvolumen und Wassersättigung zuzuschreiben sein. Trotz gleichen Porenanteils unterscheiden sich in ähnlicher Weise die Böden A und B in ihrem spezifischen Zugwiderstand und noch deutlicher in ihrem Scherwiderstand (Scherfestigkeit).

¹⁾ In der Trocknungstechnik ist die auf die trockene Substanzmasse m_s bezogene Wassermenge m_w als „Feuchtegrad“ $X = m_w/m_s$ definiert.

Tafel 1. Die Kenngrößen der untersuchten Böden, gemessen unmittelbar vor Beginn der Versuche.

Bodenart*)	Probe- nahme	Textur			Struktur			Wassersättigung			Bodenfestigkeit	
		Sand	Schluff	Ton	Luft- gehalt	Wasser- gehalt	Poren- anteil	Feuch- te- grad	Feld- kapa- zi- tät	Wasser- sätti- gungs- grad	spez. Boden- wider- stand	Scher- wider- stand
		Gew.- %	Gew.- %	Gew.- %	Vol.- %	Vol.- %	Vol.- %	X	K_w	X/K_w	(für 5 km/h)	(**)
A sandiger Lehm (Völkrode)	11. 8. 61	71	26	3	18	23	41	15	17	88	31	49
B schluffiger Lehm (Bodenstedt)	29. 5. 62	4	81	15	8	33	41	22	23	95	44	76
C schluffig-toniger Lehm (Salzdahlum)	31. 8. 61	21	64	15	4	32	36	19	19	99	50	129

*) Bezeichnungen nach den Richtlinien der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft [25].

**) Da bei den Messungen des Scherwiderstandes stets der gleiche Bohrer verwendet wird, genügt im allgemeinen diese Angabe des maximalen Drehmomentes. Der Scherwiderstand je Flächeneinheit ergibt sich für den Bohrer nach *Schaffer* durch Division mit der Zahl 4,254 als kp/dm^2 für den flachen Bereich, mit der Zahl 4,582 für den tieferen Bereich.

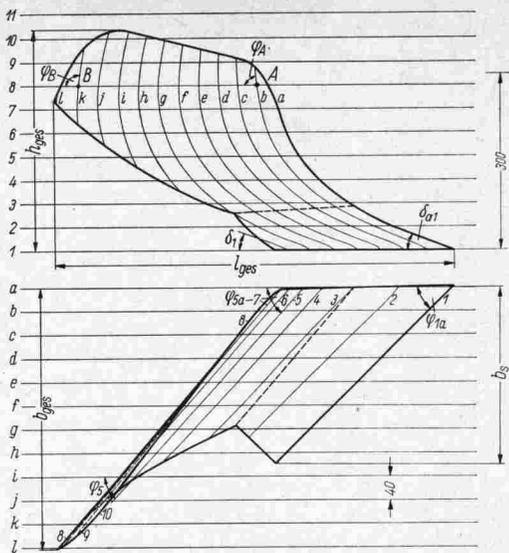


Bild 2. Kulturform M 25 nach DIN 11119 und 11123 (Eberhardt).

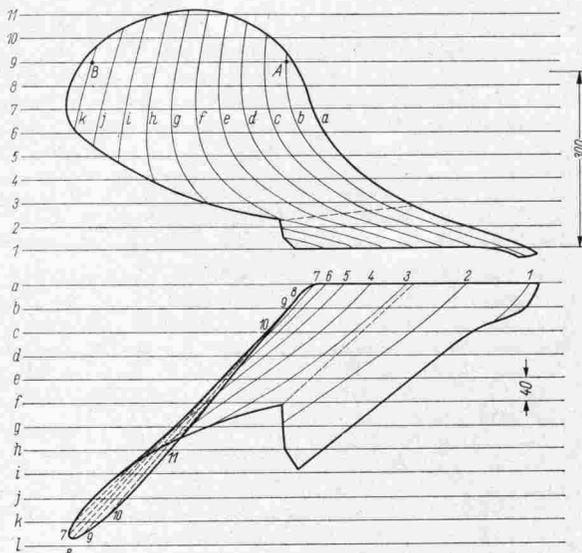


Bild 3. Universalform SON 26 (Bayer. Pflugfabrik).

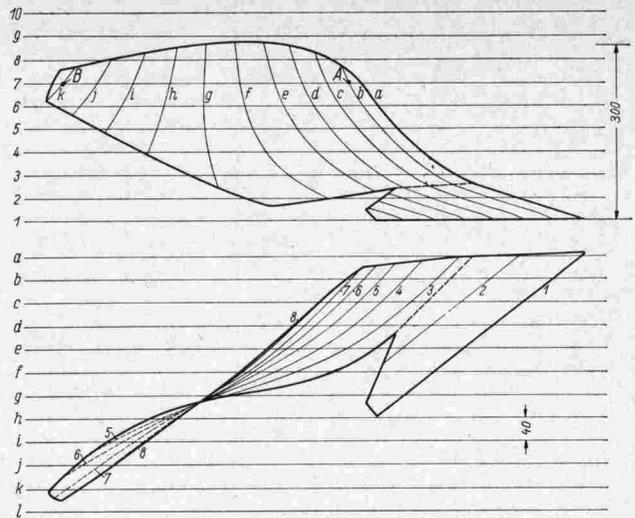


Bild 4. Wendelform BW 7 (Eberhardt).

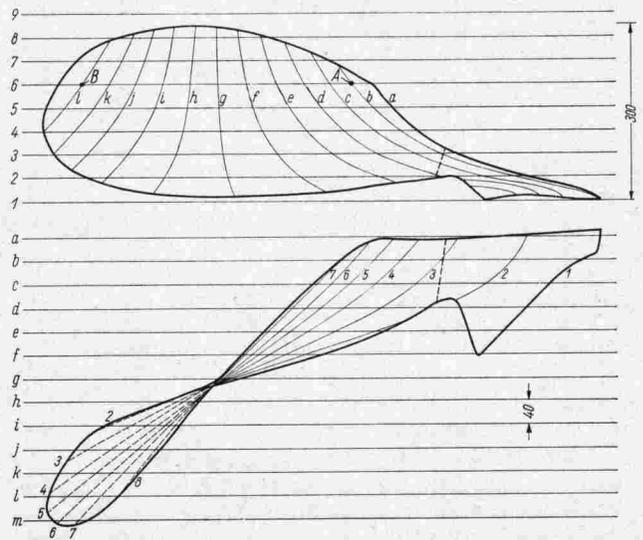


Bild 5. Schraubenform GP (Massey-Ferguson). General-Purpose-Körper 10 HAE 112.

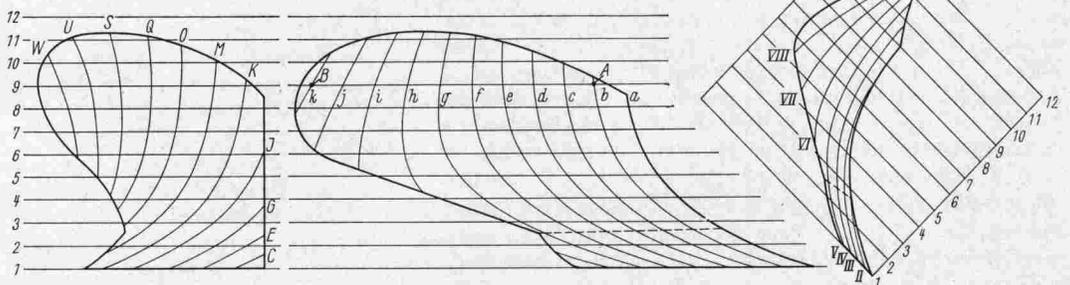
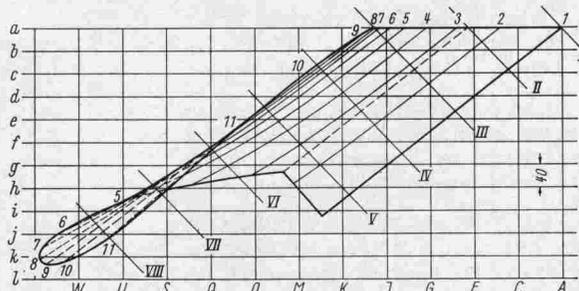


Bild 6. Schnellfahrkörper U 3 nach Söhne.

4 Die kennzeichnenden Abmessungen der untersuchten Pflugkörper

Die für die Feldversuche ausgewählten Pflugkörper entsprechen den vier Grundtypen Kultur-, Universal-, Wendel- und Schraubenform, Bild 2 bis 5. Diese Formen sind weithin im Gebrauch, d. h., ihr Gebrauchswert ist von der landwirtschaftlichen Praxis anerkannt. Freilich eignen sich diese Pflugkörper nicht gleich gut auf den oben gekennzeichneten Versuchsböden, was auch aus den Meßergebnissen hervorgeht. Diese Ergebnisse zeigen jedoch auch, daß die Eignungsgrenzen für die Pflugkörper hinsichtlich der Bodenarten nur selten in Erscheinung traten, so wenn die „Kulturform“ auf dem schweren Boden C bei hoher Geschwindigkeit versagte. Unter anderem sollten diese Grenzen bei den Untersuchungen ermittelt werden.



Zu diesen vier Pflugkörpern kamen die beiden Pflugkörper nach Bild 6 und 7, die von Söhne [22; 23] für höhere Fahrgeschwindigkeiten entwickelt worden sind. Diese beiden Schnellpflugkörper weisen einen kleinen Scharschneidenwinkel und einen besonders kleinen Seitenrichtungswinkel des Streichbleches auf,

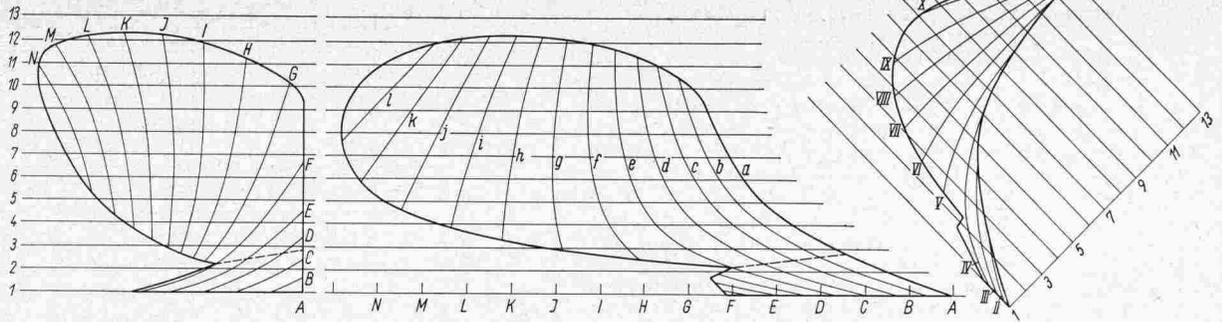
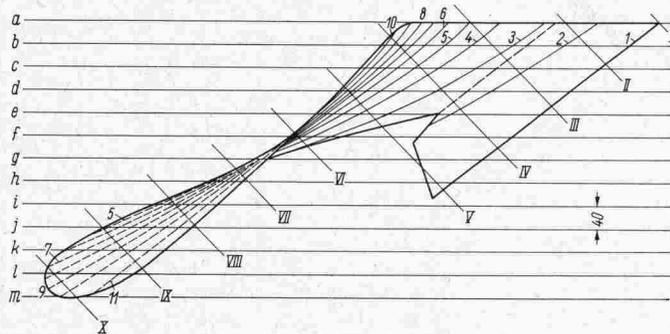


Bild 7. Schnellfahrkörper W 4 nach Söhne [23].

um den Seitentransport des Bodens bei höheren Geschwindigkeiten nicht unnötig zu erhöhen. Während U 3 aus der Universalform entwickelt wurde, hat der Körper W 4 die Wendelform zur Grundlage.

In **Tafel 2** (und in Bild 2 bis 7) sind die kennzeichnenden Abmessungen der Pflugkörper, so wie sie seinerzeit Söhne aufgenommen hat, zusammengestellt.



Tafel 2. Kennzeichnende Abmessungen der bei den Feldversuchen verwendeten Pflugkörper (nach Söhne [22; 23]).
Abmessungen und Winkel siehe Bild 2.

Körperform	b_s mm	b_{ges} mm	l_{ges} mm	h_{ges} mm	φ_{1a} Grad	φ_5 Grad	δ_{a1} Grad	δ_1 Grad	δ_A Grad	δ_B Grad
1. Kulturform M 25	300	450	695	372	44	47	22	20	84	97
2. Universalform SON 26	312	426	822	402	37	37	18	14	86	107
3. Wendelform BW 7	280*	420	960	310	37	25	17	17	62	130
4. Schraubenform GP	210*	486	980	300	45	38	13	8	51	124
5. Schnellfahrkörper U 3	330	415	950	415	37	23	17	14	81	121
6. Schnellfahrkörper W 4	310	480	1100	450	37	23	20	11	74	134

*) Die Arbeitsbreite der Pflugkörper war allgemein etwa 30 cm; sie überstieg bei den gewundenen Formen die Schnittbreite der Schare.

b_s Scharsschnittbreite*)
 b_{ges} Gesamtbreite des Pflugkörpers
 l_{ges} Gesamtlänge des Pflugkörpers
 h_{ges} Gesamthöhe des Pflugkörpers
 φ_{1a} Scharsschneidenwinkel
 φ_5 Seitenrichtungswinkel des Streichbleches in der Höhe der horizontalen Formlinie 5 am Streichblechende
 δ_{a1} Scharsschnittwinkel an der Scharsspitze
 δ_1 Scharsschnittwinkel am Scharende
 δ_A Anstellwinkel der vertikalen Formlinie im Punkt A (Landseite)
 δ_B Anstellwinkel der vertikalen Formlinie im Punkt B (Furchenseite)

5 Messung der einzelnen Pflugeffekte

Die Arbeitseffekte, die zusammen den „Arbeitserfolg“ ausmachen, wurden mit den entsprechenden Wiederholungen von den sechs Pflugkörperformen auf den drei oben gekennzeichneten Böden A, B und C bei drei verschiedenen Tiefgängen (17,5; 20,5 und 25 cm) und bei drei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten (5; 7 und 9 km/h) gemessen²⁾. Bei jeder Fahrt wurde dem Pflugkörper ein Rundsech (400 mm \varnothing) vorangestellt, das stets die gleiche Stellung zur Scharsspitze hatte. Als Pflugwiderstand wurde jedoch nur derjenige des Pflugkörpers gemessen.

5.1 Wendung des Furchenbalkens

5.1.1 Bedeutung des Wendens

Als Optimum für die Wendung des Furchenbalkens ist ein Winkel von 135° anzusehen [8]; für besonders intensive Bekämpfung von Unkraut sollte er 140° betragen. Beide Winkelmaße gelten für die Ebene. Die Gründe sind:

- die Tiefenlage der organischen Stoffe in einer mittleren Tiefe des Bodens, wobei das Unkraut am Weiterwachsen gehindert wird und eine teilweise Umbildung zu Humus erfolgt;
- der „Schluß“ der Furchendämme gegeneinander, so daß auch dadurch kein Weiterwachsen des Unkrauts erfolgt (besonders wichtig ist dies beim Wenden des Furchenbalkens gegen den Hang);
- die Formung der Ackeroberfläche. Gleichschenkelige Furchendämme (Wendewinkel 135°) ergeben die größte Acker-

oberfläche und damit die größte Beeinflussung durch die atmosphärischen Einwirkungen (Winterfurchen).

5.1.2 Meßmethoden

- Bei steifem oder in Schollen gepflügtem Furchenbalken erfolgt die Messung durch Anlegen eines Winkelmessers nach *Feuerlein*, **Bild 8**, an die gewendete Oberfläche des letzten Furchenbalkens eines Mehrfurchenpfluges in 10- bis 15facher Wiederholung. Die Hangeigung des Ackers kann berücksichtigt werden. Größere Streuung der Meßergebnisse kann eine zusätzliche Eigenschaft des Pflugkörpers sein.
- Bei völlig zerfallendem, krümelndem Furchenbalken erfolgt die Messung durch Meßkörperchen, die vor dem Pflügen in den Furchenbalken eingebettet werden, **Bild 9 bis 11**. Das

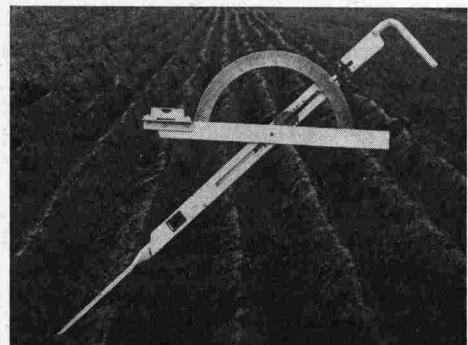


Bild 8. Meßgerät nach *Feuerlein* zum Messen des Winkels der Wendung des Furchenbalkens.

²⁾ Die Feldversuche wurden von *Helmut Klügel*, dem ich auch an dieser Stelle danke, durchgeführt.



Bild 9 bis 11. Messen des Winkels der Wendung des Furchenbalkens durch Einlegen von Meßkörperchen mit Kobalt-Isotopen in die Bodenoberfläche.

Zum schnellen Wiederauffinden der Körperchen wird eine Neutronen-Sonde verwendet.

schnelle Wiederauffinden der Meßkörperchen im gepflügten Boden wird durch Verwendung von Kobaltisotopen als Perlen in den Meßkörperchen und einer Neutronen-sonde erleichtert.

5.13 Meßergebnisse

In **Tafel 3 bis 5** ist der Einfluß der Pflugkörperform, der Bodenart, der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitstiefe auf den Wendewinkel wiedergegeben. Der Wendewinkel war nach **Tafel 3** im Mittel aus sechs Pflugkörpern auf den beiden „schüttenden“ Böden A und B nahezu gleich groß. Auf dem sehr scholligen, steifen Lehm Boden C fiel er dagegen stark ab.

Während der Wendewinkel im „schüttenden“ Boden A und B mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit im allgemeinen etwas zunimmt, nimmt er im steifen Lehm Boden häufig ab, **Tafel 4**.

In allen drei Böden nimmt der Wendewinkel mit der Vergrößerung der Furchentiefe ab, **Tafel 5**. Da die Arbeitsbreite konstant ist, bestätigt dieses Ergebnis im wesentlichen nur den Einfluß, welchen eine Verkleinerung des Verhältnisses Arbeitsbreite : Arbeitstiefe auf die Abnahme des Wendewinkels hat. Dieses Verhältnis muß in dem steifen Lehm Boden C größer sein als in den „schüttenden“ Böden A und B. Bei 17,5 cm Arbeitstiefe betrug das Verhältnis $30:17,5 = 1,7:1$; nur bei diesem

Tafel 3. Einfluß der Pflugkörperform und der Bodenart auf den Wendewinkel.

Mittelwerte aus drei Geschwindigkeiten und drei Arbeitstiefen, Arbeitsbreite etwa 30 cm

Bodenart	Wendewinkel in Grad*						i. M.
	Pflugkörperform						
	M 25	SON	BW 7	GP	U 3	W 4	
Boden A	141	140	139	143	130	137	138
Boden B	143	139	129	144	135	139	138
Boden C	104	114	101	97	115	121	109

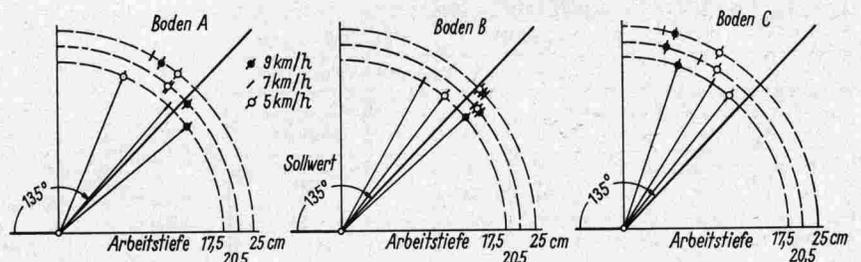
* Die Streuung der Wiederholungswerte der Einzelmessungen lag zwischen $m = \pm 3,5\%$ bei Boden B und $m = \pm 10\%$ bei Boden C.

Tafel 4. Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und der Bodenart auf den Wendewinkel.

Mittelwerte aus sechs Pflugkörperformen und drei Arbeitstiefen

Bodenart	Wendewinkel in Grad			i. M.
	Fahrgeschwindigkeit in km/h			
	5	7	9	
Boden A	137	136	142	138
Boden B	134	138	143	138
Boden C	114	107	106	109

Bild 12. Wendewinkel für die Pflugkörperform U 3 bei verschiedenen Bodenarten, Geschwindigkeiten und Arbeitstiefen. Der Wendewinkel erreicht nur auf Boden B bei allen drei Arbeitstiefen etwa den Sollwert.



Tafel 5. Einfluß der Arbeitstiefe und der Bodenart auf den Wendewinkel.

Mittelwerte aus sechs Pflugkörperformen

Bodenart	Wendewinkel in Grad									i. M.									
	Arbeitstiefe in cm																		
	17,5			20,5			25,0												
										Fahrgeschwindigkeit in km/h									
										5	7	9	5	7	9	5	7	9	
Boden A	139	143	150	137	137	143	135	129	134							139			
										i. M. 144			i. M. 139			i. M. 133			
Boden B	139	142	148	135	138	140	129	135	140							138			
										i. M. 143			i. M. 138			i. M. 135			
Boden C	133	125	123	115	108	105	93	87	90							109			
										i. M. 127			i. M. 109			i. M. 90			

Verhältnis bzw. der entsprechenden Tiefe ergab sich bei Boden C ein genügend großer Wendewinkel.

Am Beispiel des Pflugkörpers U 3 wird in **Bild 12** das Verhalten eines bestimmten Pflugkörpers bei verschiedenen Bodenarten, Geschwindigkeiten und Arbeitstiefen dargestellt. Man erkennt in dieser Darstellung, unter welchen Bedingungen der Sollwinkel von diesem Pflugkörper erreicht wird; auf Boden C ist dies mit keiner der drei Geschwindigkeiten und bei keiner der drei Arbeitstiefen der Fall. Entsprechende Darstellungen liegen auch für die anderen Körperformen vor.

5.2 Mischung (Entmischung) des Bodens

5.2.1 Bedeutung des Mischens

Durch eine intensive Mischung des Bodens soll erreicht werden:

1. eine Mischung des Bodens in sich, d. h., der bearbeitete Boden soll hinsichtlich Nährstoffverteilung, Feuchte und u. U. Humusgehalt möglichst homogen sein; wenn die Krume vertieft wird, so ist ein sorgfältiges Einmischen des Unterbodens unerlässlich;
2. eine Mischung des Bodens mit anderen Stoffen: die Nutzung des zugeführten Minereraldüngers und die Verrottung von organischen Stoffen, also des zugeführten Stallmistes, ferner von Stroh, Stoppel, Gründung und Unkraut, erfordert eine Vermischung mit dem Boden; es sollen sogenannte Düngernester und Strohpakete vermieden werden.

5.2.2 Meßmethoden

- a) Einbau von Meßkörperchen in Form von Spielwürfeln in den zu pflügenden Furchenbalken, **Bild 9** und **10**. Eine ähnliche

Methode ist, auf Draht aufgereihte, markierte Gummischlauchstückchen (10 mm \varnothing , 25 mm lang) von der Furchenwand aus in den ungepflügten Furchenbalken in entsprechend vorgebohrten Löchern in verschiedener Höhe der Furche einzuführen und nach dem Einführen den Draht zu entfernen.

- b) Es wird ein Isotop, z. B. P_{32} , auf die ungepflügte Ackeroberfläche aufgestreut und eingepflügt. Ein Röntgenfilm, senkrecht gegen den freigelegten Furchenquerschnitt gestellt, zeigt nach seiner Bestrahlung durch das Isotop die Verteilung des eingepflügten Stoffes an. Daraus läßt sich mittels eines über den Film gelegten, möglichst engmaschigen Gitters ein „Mischwert“ auszählen und errechnen. Bei der Feststellung des Mischwertes werden nur die Quadrate gezählt, die weder durch das Isotop vollständig schwarz gefärbt noch vollständig hell geblieben sind, sondern deren Schwärzung durch das Isotop nur zum Teil die Fläche des Netzquadrates ausfüllt. Der Anteil dieser teilweise geschwärzten Quadrate an der Gesamtzahl der Quadrate wird als „Mischwert“ definiert. Je höher der Prozentsatz ist, um so besser ist die Mischung.

5.23 Meßergebnisse

Nach diesen Methoden durchgeführte Untersuchungen machten deutlich, daß selbst bei schüttendem Pflügen von leicht krümelnden Böden wohl eine Verscherung des Furchenbalkens jedoch kaum je eine Mischung stattfindet, **Bild 13**. Lediglich Pflug-Fräsen-Kombinationen, wie z. B. der Kreiseelpflug, wiesen einen Mischeffekt in der einzelnen Furche auf, **Bild 14 und 15**. Beim üblichen Pflug kommt eine unerhebliche Mischwirkung nur dadurch zustande, daß mit dem Pflügen eine neue räumliche Zuordnung der Furchenbalken entsteht. Der Mischwert (Mittelwert aus je 4 Messungen) beträgt bei einem Normalpflug 44%, beim Kreiseelpflug 63%.

Eine Entmischung des Bodens kommt dadurch zustande, daß von einer bestimmten, nach Körperform verschiedenen Geschwindigkeit ab der Pflug eine Sortierung der Bodenaggregate des Furchenbalkens bewirkt, die mit zunehmender Geschwindigkeit immer deutlicher in Erscheinung tritt. Sie äußert sich darin, daß zunehmend grobes Bodenmaterial, aber auch leichtes Unkraut, Stroh u. ä. auf der Oberfläche abgelegt und dieses von feinstem Bodenmaterial übersprüht wird, **Tafel 6 und Bild 16**. Dieser Sortiervorgang hat meist einen ackerbaulichen Nachteil zur Folge, indem die groben Schollen an der Oberfläche austrocknen und die weitere Bearbeitung stören, andererseits

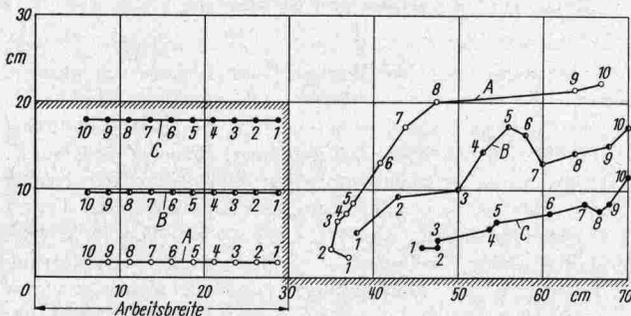


Bild 13. Der „Mischeffekt“ eines schraubenförmigen Pflugkörpers auf dem „schüttenden“ Boden A bei einer Geschwindigkeit von 6 km/h.

Die in den Furchenquerschnitt eingebauten Schlauchstückchen sind nach dem Pflügen einander in der gleichen Reihenfolge zugeordnet wie vor dem Pflügen. Die drei Schichten haben sich außerdem nicht durchdrungen, so daß durch das Pflügen kein Mischen des Bodens stattgefunden hat.

Tafel 6. Bedeckung des gepflügten Landes durch Schollen [23]. Bonitierung durch drei Personen. Mittelwerte aus allen Pflugkörpern

Geschwindigkeit km/h	Schollen in % der Ackeroberfläche		
	Boden B	Boden C	
		trocken	feucht
4,5	8	—	18
7	9	11	28
9	12	15	77
12	18	13	77

aber das feine Bodenmaterial Anlaß zur Verschlammung der Oberfläche geben kann [8].

Der mangelhafte Mischeffekt des Pfluges war mit der Anlaß zur Einführung von bodenmischenden Geräten wie Fräse, Scheibe, Kreiseelpflug, Spatenwägelge usw. dort, wo Stroh, Bewuchs und dgl. gut mit dem Boden vermischt werden sollen.

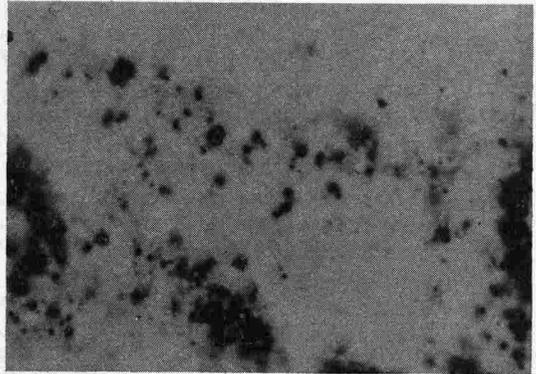
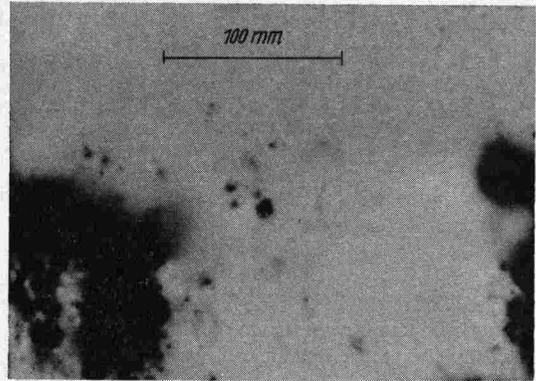


Bild 14 und 15. Zum Sichtbarmachen des Mischeffekts wurde die Ackeroberfläche vor dem Pflügen ein Isotop aufgestreut. Nach dem Pflügen wird mittels eines an den freigelegten Furchenquerschnitt gestellten Röntgenfilmes die Verteilung des eingepflügten Isotops sichtbar gemacht.

Bild 14 (oben): Mit Normalpflug bearbeitet. Links und rechts sind die eingepflügten, nicht vermischten Oberflächen zweier Furchenbalken zu sehen. Bild 15 (unten): Mit Kreiseelpflug bearbeitet. Der am Pflugkörperende um eine senkrechte Achse rotierende Kreisel bewirkt eine Vermischung des Isotops über die beiden Furchenquerschnitte.

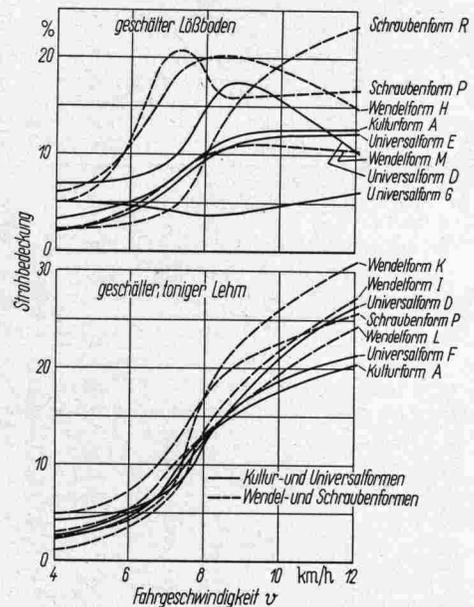


Bild 16. Stoppelbedeckung der Oberfläche nach dem Pflügen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Körperform (nach Söhne [23]).

Diese Kurven (wie auch die Werte in Tafel 6) 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 der mittlere Kurvenverlauf gebildet wurde.

5.3 Lockerung des Bodens

5.31 Bedeutung der Lockerung

Die Lockerung des Bodens soll das Porenvolumen, möglichst für ein ganzes Vegetationsjahr anhaltend, vergrößern. Meist werden dabei nur die groben, luftführenden Poren, also die Luftkapazität, vermehrt. Im Gegensatz zu anderen, den Boden lockernden Ackerwerkzeugen ist die Lockerung des Bodens durch den Pflug

1. meist stärker (es sei denn, daß andersartige Werkzeuge durch Einmischen organischer Stoffe zunächst stärker lockern) und
2. haltbarer, da in den Furchendamm ein Gerüst von Schollen und Schöllchen eingebaut wird (Brückenbildung) und ein Furchendamm den Boden weniger leicht zusammensacken läßt.

5.32 Meßmethoden

- a) Mit einem Profilschreiber in der Art eines Storchschnabels, **Bild 17**, wird die Kontur des ganzen Furchenprofils vor und nach dem Pflügen zeichnerisch aufgenommen und die Überhöhung der Furchendämme über die alte Ackeroberfläche ausplanimetriert. Auf diese Weise kann auch die Verdichtung gepflügten Bodens durch ein Schlepperrad zeichnerisch erfaßt werden.
- b) Man ebnet die Pflugdämme leicht ein und nivelliert vom ungepflügten Land aus eine Bezugsmeßplatte über dem gepflügten Land ein, **Bild 18**; alsdann wird der Aufwurf, d. h. die gepflügte Überhöhung, gemessen.

5.33 Meßergebnisse

Im allgemeinen ist die Lockerung auf den Lehm Böden wirksamer als auf dem Sandboden, **Tafel 7**. Die größte Lockerungswirkung erzielte der neue Schnellpflugkörper U 3, die durchschnittlich kleinste der schraubenförmige Körper GP.

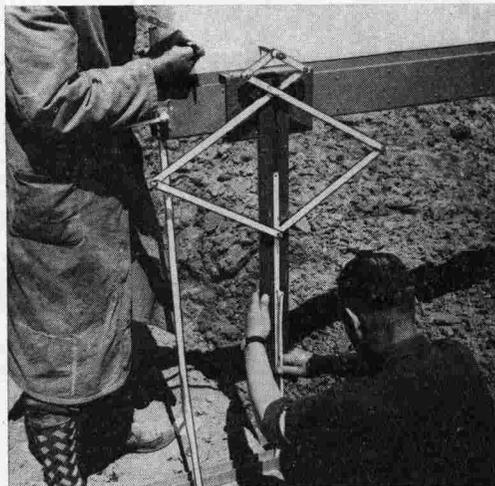


Bild 17. Profilschreiber, mit dem die Ackeroberfläche nach dem Pflügen abgetastet wird [8]. Aus dem Schrieb wird der Aufwurf, die Furchenräumung und die Gestalt der Oberfläche ermittelt.

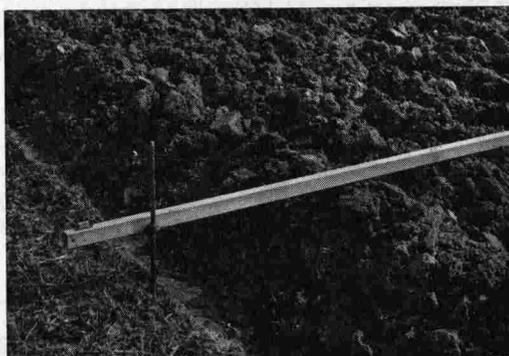


Bild 18. Messen des durch das Pflügen bewirkten Aufwurfes über dem ungepflügten Land mittels einer einnivellierten Meßplatte.

Tafel 7. Einfluß der Pflugkörperform und der Bodenart auf die Lockerung.

Die Lockerung wurde mit dem Profilschreiber festgestellt. Mittelwerte aus drei Geschwindigkeiten und drei Arbeitstiefen

Bodenart	Lockerung in % des ungepflügten Bodenvolumens						i. M.
	Pflugkörperform						
	M 25	SON	BW 7	GP	U 3	W 4	
Boden A	31	25	30	23	39	39	31
Boden B	34	42	44	39	43	37	40
Boden C	41	36	36	33	45	41	39

Tafel 8. Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitstiefe auf die Lockerung.

Die Lockerung wurde mit dem Profilschreiber festgestellt. Mittelwerte aus sechs Pflugkörpern

Bodenart	Lockerung in % des ungepflügten Bodenvolumens									i. M.
	Fahrgeschwindigkeit in km/h									
	5			7			9			
	Arbeitstiefe in cm									
	17,5	20,5	25,0	17,5	20,5	25,0	17,5	20,5	25,0	
Boden A	32	29	32	30	31	24	34	39	29	31
	i. M. 31			i. M. 28			i. M. 34			
Boden B	33	39	35	43	44	38	47	44	38	40
	i. M. 36			i. M. 42			i. M. 43			
Boden C	37	37	38	44	37	35	40	39	40	39
	i. M. 37			i. M. 39			i. M. 40			
	i. M. 35			i. M. 36			i. M. 39			

Mit größerer Fahrgeschwindigkeit wird für den Durchschnitt der Messungen eine Tendenz zu prozentual größerer Lockerungswirkung sichtbar, **Tafel 8**. Im einzelnen ist Tafel 8 zu entnehmen, daß die Erhöhung der Geschwindigkeit in 11 Fällen zu größerer Lockerungswirkung, in 4 Fällen zu kleinerer Lockerungswirkung führte, und in 3 Fällen ohne Einfluß blieb.

Die Vertiefung der Pflugfurche von 17,5 cm auf 20,5 cm ergab im Durchschnitt keine Änderung der prozentualen Lockerung. Bei Vertiefung von 20,5 cm auf 25,0 cm fiel die Lockerung in den höheren Geschwindigkeiten meist etwas zurück.

Zur Lockerung des Ackerbodens trägt im Winter auch der Frost bei. Je nach Bodenart und Vorbearbeitung des Ackers

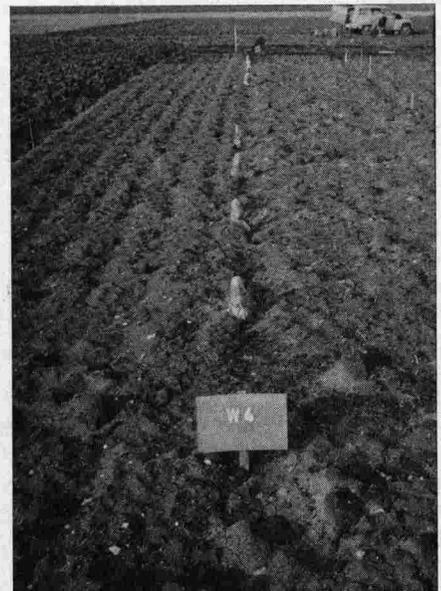
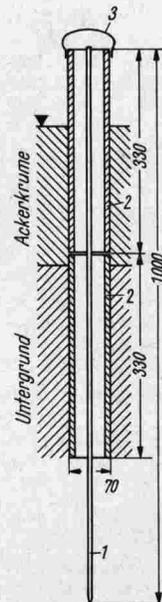


Bild 19 (links). Frost-sichere Höhenmarke.

Die Tonrohre schützen den Pflock vor Anhebung durch den Frost. Sie werden ihrerseits mit dem Boden vom Frost angehoben. Die Differenz zwischen Pflockhöhe und Tonrohrhöhe ergibt die maximale Frosthebung des Bodens. 1 Eisen- oder Holzpflock, 2 Tonrohr, 3 Plastik-Schutzkappe

Bild 20 (rechts). Messung der Frosthebungen nach Überwinterung des gepflügten Bodens.

In der Mitte des Bildes sind die (wettergeschützten) Höhenmarken zu sehen. Die Ackerfläche links im Bild bei niedriger, rechts im Bild bei hoher Geschwindigkeit gepflügt.

kann er verschieden stark angreifen. Die Messung der Frosthebung des Bodens wurde mittels frostsicherer Höhenmarkierungen, **Bild 19 und 20**, durchgeführt. Im Boden B (schluffiger Lehm) wurden Frosthebungen bis 69 mm festgestellt. Im Boden C (schluffig-toniger Lehm) betragen die Frosthebungen

- bei Pflugkörper GP 29 mm,
- bei den Pflugkörpern M 25, SON, W 4 24,5 mm.

Der Hebung durch den Frost wirken die Absetzungsvorgänge über Winter entgegen. Sie sind von der Einwirkung von Regen und Schneelasten abhängig, vor allem aber vom Wetter zur Zeit des Auftauens im Frühjahr, **Bild 21**. Der Pflugkörper GP (Schraubenform) hatte beim Herbstpflügen Furchendämme gebildet, die auch im nassen Jahr 1957/58 weniger Setzung erfuhren. Die Pflugkörper M 20 (Kulturform) und W 18 (Wendelform) hatten „schüttend“ gearbeitet. Furchendämme wirken der Absetzung des Bodens entgegen.

Höhere Fahrgeschwindigkeit beim Pflügen im Herbst hat nach Feststellungen von v. Nitzsch [17], Blohm [3], Lindner [14] und nach unseren Messungen keinen bleibend erhöhenden Einfluß auf die Lockerung. Meist setzt sich der Boden nach höherer Pfluggeschwindigkeit im Lauf des Winters sogar dichter ab als nach niedriger Geschwindigkeit. Besonders deutlich war dies im Sandboden der Fall, **Bild 22**.

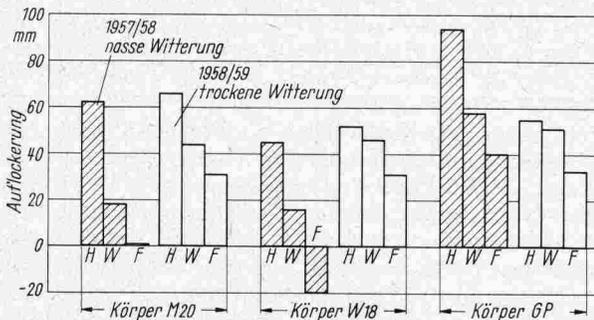


Bild 21. Auflockerung und Setzung des von drei verschiedenen Pflugkörpern gepflügten Bodens in einem trockenen und einem nassen Jahr.

Bodenart: Boden C
Furchentiefe: 18 cm
Fahrgeschwindigkeit: 5 km/h

	nasses Jahr	trockenes Jahr
H Herbst; Zustand nach dem Pflügen am	23. 10. 1957	14. 11. 1958
W Winter; Zustand nach dem Setzen am	3. 4. 1958	13. 2. 1959
F Frühjahr; Zustand nach dem Setzen am	14. 4. 1958	3. 3. 1959

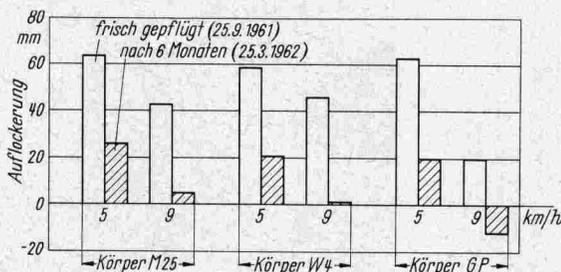


Bild 22. Auflockerung und Setzung des von drei verschiedenen Pflugkörpern gepflügten Bodens bei zwei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten.

Bodenart: Boden B, Stoppel
Furchentiefe: 25 cm

5.4 Krümelung des Bodens

5.41 Bedeutung des Krümelns

Von der Krümelung des Bodens hängt ab:

1. die innere Oberfläche des Bodens und damit die Intensität der biologischen und chemischen Umsetzungen,
2. die Größe und Zahl der luftführenden Poren und damit das Verhältnis der Wasserkapazität zur Luftkapazität und
3. die Feinheit des Saatbettes. Eine gute Umhüllung des Samens durch Feinkrümel fördert die Keimung.

Daraus folgt, daß ein hohes Maß an Krümelung für die Schäl- und Saatfurchen erwünscht ist. Für die Winterfurchen wird dagegen keine völlige Zerkrümelung angestrebt. Der Einbau von Schollen und Schöllchen soll den Rückgang der Lockerung über Winter verlangsamen. Zudem zerteilen die Witterungseinflüsse nachträglich die Winterfurchen in genügendem Umfang.

Die Zerkleinerung des Furchenbalkens durch den Pflug erfolgt in einer Reihe von Vorgängen auf dem Streichblech, wovon die Verscherung der wichtigste ist, **Bild 23**. Die Form des Streichblechs ist daher von erheblichem Einfluß.

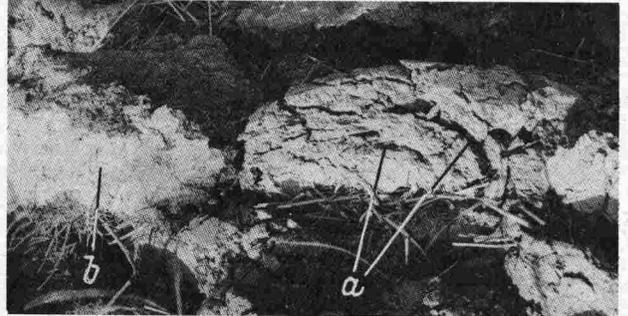


Bild 23. Horizontale Scherrisse (a) eines mit dem Streichblechpflug gepflügten Erdbalkens (Boden C). Zum Vergleich dazu ist links im Bild eine Scholle (b) dazu gelegt, die auf demselben Acker mit einem Scheibenpflug gepflügt wurde und keine derartigen Scherrisse zeigt.

5.42 Meßmethoden

Der Furchenbalken wird auf ausgelegte Säcke gepflügt, **Bild 24**. Diese werden — u. U. nach Abwiegen besonders großer Schollen — in Transport- und Trocknungskisten gehoben. Der Boden wird so ohne Umladen getrocknet und dann auf einen mit kleiner Frequenz pendelnden Siebsatz (System Söhne [24]) geschüttet. Die Lochung der Siebe beträgt 2, 5, 10, 40 und 80 mm.

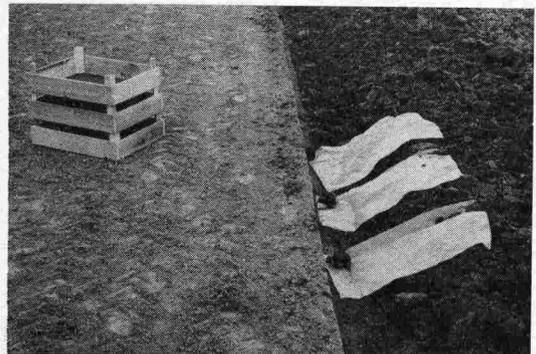


Bild 24. Probenahme für die Schollen- und Krümelanalyse nach Söhne [24].

Der Furchenbalken wird auf die ausgelegten Säcke gepflügt und die Bodenproben mit den Säcken entnommen.

5.43 Meßergebnisse

Auf dem Sandboden war die Krümelung keine Arbeitsaufgabe des Pfluges, d. h., dieser Boden zerkrümelt in jedem Fall mehr als notwendig. Von den beiden anderen Böden wurden zur Kennzeichnung des Krümel effekts die Schollenanteile (> 80 mm) und die Feinbodenanteile (< 2 mm) herangezogen.

Nach der Größe des Anteils an Feinboden (< 2 mm) steht der Pflugkörper SON an erster Stelle, der Pflugkörper GP an letzter Stelle, **Tafel 9**. Hinsichtlich des geringsten Schollenanteils stehen neben dem Pflugkörper SON die Pflugkörper W 4, U 3 und M 25 fast gleichwertig an erster Stelle, der Pflugkörper GP wiederum an sechster Stelle.

Auch die Summenkurven der Schollen- und Krümelanalysen für die sechs Pflugkörperformen auf den beiden Böden B und C in **Bild 25 bis 27** bestätigen, daß die Körperform SON in allen drei Fällen eine gute Krümelwirkung hat, während die Körperform GP eindeutig hinsichtlich des Feinbodenanteils (< 80 mm) an letzter Stelle der sechs Körper steht. Beim Vergleich von

Bild 26 und 27 erkennt man auch den Einfluß der Geschwindigkeit auf die Krümelwirkung. Durch die Erhöhung der Geschwindigkeit von 5 auf 9 km/h ist nur bei den Körpern SON und U 3 eine Verbesserung der Krümelwirkung festzustellen. Bei den anderen Körpern ist eine Verschlechterung eingetreten, besonders deutlich bei dem Körper GP.

Tafel 9. Einfluß der Pflugkörperform auf die Krümelung des schluffigen Lehms (Boden B).

Mittelwerte aus drei Furchentiefen und drei Geschwindigkeiten

Bodenart	Krümelgröße mm	Schollen- und Feinbodenanteile in Gew.-%						
		Pflugkörperform					i. M.	
		M 25	SON	BW 7	GP	U 3		W 4
Boden B (1962)	> 80	35	35	37	40	34	34	36
	< 2	6	13	7	5	9	7	8

5.5 Transport des Bodens und Ausräumen der Furche

5.51 Bedeutung des Bodentransportes beim Pflügen

Mit dem Pflügen ist notwendigerweise ein Transport des Bodens in Längs- und Querrichtung verbunden. Der Nachteil dieses Transportes ist der unproduktive Leistungsaufwand, das durch den Bodentransport nötige An- und Auspflügen, die allmähliche Anhäufung von Krumboden am Kopf der Furche als sogenannter Ackerberg und, sofern mit wechselnder Fahrgeschwindigkeit gepflügt worden ist, die Ungeradheit des Furchendamms. Als Vorteil des Seitentransportes ist das Ausräumen der Furche, in welcher die furchenseitigen Schlepperreifen laufen, zu nennen.

5.52 Meßmethoden

- a) Erfassung der Lageänderung des Bodens durch Einbau von Meßkörperchen in den zu pflügenden Furchenbalken, Bild 9 bis 11.

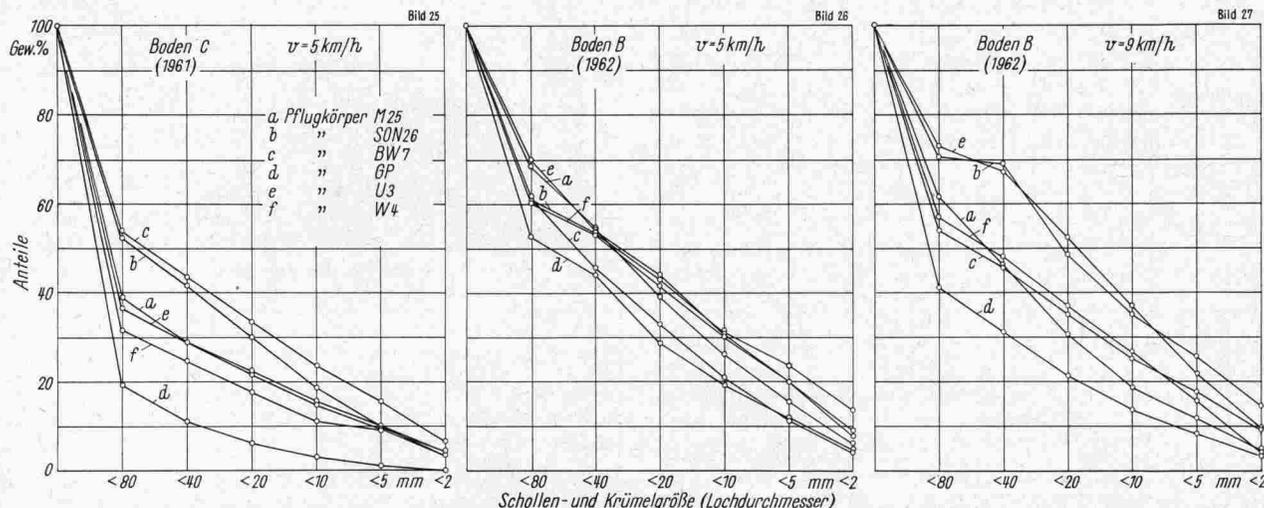


Bild 25 bis 27. Summenkurven von den Schollen- und Krümelanalysen nach dem Pflügen mit sechs verschiedenen Pflugkörperformen bei zwei Geschwindigkeiten auf schluffigem Lehm (Boden B) und einer Geschwindigkeit auf schluffig-tonigem Lehm (Boden C).

Bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 5 auf 7 km/h, **Tafel 10**, sinkt der Schollenanteil (mit einer Ausnahme) und steigt der Feinbodenanteil: es erhöht sich die Krümelwirkung. Bei Erhöhung der Geschwindigkeit von 7 auf 9 km/h steigt der Schollenanteil (mit einer Ausnahme) und sinkt der Feinbodenanteil: die Krümelwirkung wird geringer. Nur bei 5 km/h Geschwindigkeit läßt sich auf dem schweren Lehm Boden C mit zunehmender Arbeitstiefe eine Verminderung der Krümelwirkung erkennen. Allgemein läßt sich sagen, daß die Krümelwirkung erstaunlich unabhängig von der Furchentiefe ist, **Tafel 10**.

Tafel 10. Einfluß der Furchentiefe, der Geschwindigkeit und der Bodenart auf die Krümelung.

Mittelwerte aus sechs Pflugkörperformen

Bodenart	Arbeits-tiefe cm	Schollenanteil > 80 mm in Gew.-%				Feinbodenanteil < 2 mm in Gew.-%			
		Fahr-geschwindigkeit in km/h			i. M.	Fahr-geschwindigkeit in km/h			i. M.
		5	7	9		5	7	9	
Boden B	17,5	38	35	37	37	7	8	8	8
	20,5	38	30	40	36	7	9	7	8
	25,0	35	33	33	34	8	8	7	8
i. M.					36				8
Boden C	17,5	55	58	66	60	4	4	3	4
	20,5	61	59	60	60	4	4	3	4
	25,0	66	58	63	62	3	4	3	3
i. M.					61				4

- b) Zeichnerische Aufnahme des Furchenprofils mit einem Profilschreiber, Bild 17. Durch Einzeichnen eines interessierenden Schlepperreifens kann der von diesem Reifen wieder festgefahrene Teil des Furchendamms ausplanimetriert werden, **Bild 28**.

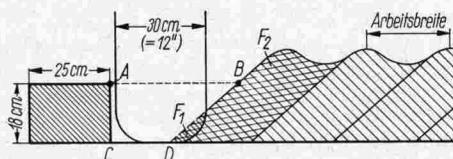


Bild 28. Schlepperrad und Furchenprofil.

- AB Furchenöffnung
 CD Ausräumung der Furche
 F_1 Querschnittsfläche des bedrückten Furchendamms
 F_2 Querschnitt des Furchendamms
 F_1/F_2 Bedrückung des Damms durch das Furchenrad des Schleppers

Pflugkörperform	Bodenart	Fahrgeschwindigkeit km/h	Furchenöffnung AB cm	Bedrückung F_1/F_2		
				12" %	13" %	15" %
Kulturform M 20 Schraubenform (Ransomes)	B	3	44	7	11	21
			43	3	6	13
Kulturform M 20 Schraubenform (Ransomes)	C	3	43	6	10	20
			43	2	4	11

- c) Messung der Ausräumung der Furche bzw. der Furchenöffnung. Von der leicht zu messenden Furchenöffnung *a*, **Bild 29**, kann nach Feststellung des Wendewinkels α das Maß der Ausräumung *b* errechnet werden.

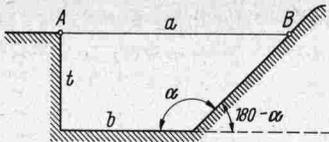


Bild 29. Berechnung der Ausräumung b aus der Furchenöffnung a . Wenn t die Furchentiefe und α der Wendewinkel ist, dann ist $b = a - t \operatorname{ctg} (180^\circ - \alpha)$, für $\alpha = 135^\circ$ ist $b = a - t$.

5.53 Meßergebnisse

In **Tafel 11 und 12** ist der Einfluß der Bodenart, der Geschwindigkeit, der Arbeitstiefe und der Pflugkörperform auf die Furchenöffnung wiedergegeben.

Tafel 11. Einfluß der Bodenart, Geschwindigkeit und Arbeitstiefe auf die Furchenöffnung.

Mittelwerte aus sechs Pflugkörperformen. Messung der Öffnung mit dem Profilschreiber. Arbeitsbreite etwa 30 cm

Bodenart	Furchenöffnung in cm									i. M.
	Fahrtgeschwindigkeit in km/h									
	5			7			9			
	17,5	20,5	25,0	17,5	20,5	25,0	17,5	20,5	25,0	
Boden A	44	50	52	50	55	55	64	60	62	55
	i. M. 49			i. M. 53			i. M. 62			
Boden B	49	50	52	51	55	60	62	63	62	56
	i. M. 50			i. M. 55			i. M. 62			
Boden C	49	51	51	55	59	53	59	62	56	55
	i. M. 50			i. M. 56			i. M. 59			
	i. M. 50			i. M. 55			i. M. 61			

Tafel 12. Einfluß der Pflugkörperform auf die Furchenöffnung.

Bodenart: Boden B. Arbeitstiefe: 25,0 cm. Arbeitsbreite: etwa 30 cm. Messung der Öffnung mit dem Profilschreiber

Pflugkörperform	Furchenöffnung in cm					
	Öffnung cm	Fahrtgeschwindigkeit in km/h		Öffnung		
		5	7	cm	%*	
M 25	59	72	121	86	145	
SON	49	76	154	71	145	
BW 7	45	49	109	49	110	
GP	50	53	105	57	113	
U 3	53	54	100	57	106	
W 4	54	54	100	53	99	

*) bezogen auf die Werte bei 5 km/h (= 100)

Die Bodenart ist im Mittel ohne Einfluß auf die Furchenöffnung, **Tafel 11**. Mit zunehmender Geschwindigkeit steigt jedoch die Furchenöffnung beträchtlich an. Die Arbeitstiefe hat einen geringen Einfluß auf die Furchenöffnung.

In **Tafel 12** erkennt man den geringen Anstieg des Seitentransportes bei den gewundenen Körperformen BW 7 und GP, besonders aber bei den Schneltpflugkörpern U 3 und W 4 — im Gegensatz zu den zylindrischen Körperformen M 25 und SON.

5.6 Formung bzw. Rauheit der Ackeroberfläche

5.61 Bedeutung der Rauheit der Ackeroberfläche

Im allgemeinen soll der Pflug die Ackeroberfläche einebnen. Diese Forderung gilt stets beim Schälen und Saftpflügen. Für die Überwinterung einer Herbstfurche ist jedoch — ansteigend mit dem Grad der Verschlämmsneigung des betreffenden Bodens — eine rauhe, d. h. stückige, oder gar eine in Dämme geformte Ackeroberfläche nötig [8]. Um sie im Frühjahr leicht zur Saat einebnen zu können, müssen die Unebenheiten bzw. Furchendämme eine bestimmte, gleichmäßige Höhe aufweisen.

5.62 Meßmethoden

a) Rauheitsmesser nach *Kuipers* [13], **Bild 30**. An einem senkrecht zum Boden stehenden Schild zeigen senkrecht fallende Nadeln in 5 cm seitlichem Abstand die Höhenunterschiede an. Nach einer Rechenvorschrift von *Kuipers* wird die Ober-

flächenrauheit als mittlere Abweichung der Höhenunterschiede bestimmt und in einem „Rauheitsfaktor“ mit ansteigenden Rauheitswerten von 1 bis etwa 100 ausgedrückt.
b) Die Profilierung der Ackeroberfläche in Furchendämme wird als Höhe der Dammkronen über der Anschlußnaht der Furchendämme ermittelt. Ein auf Feinlehm Böden (z. B. Boden B) meist optimaler Wert hierfür ist 12 cm. Erfahrungsgemäß fallen solche Furchendämme über Winter auf eine Höhe von 6 cm zusammen, **Bild 20**, und können dann zu dem gewünschten Saatbett von 3 cm Mächtigkeit abgeggt werden, ohne daß der Eggenzinken tiefer greifen muß.

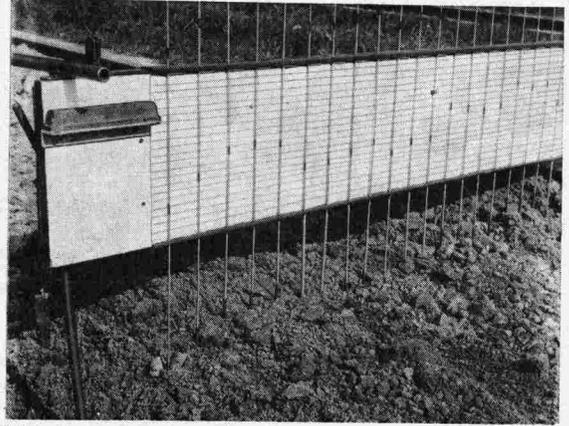


Bild 30. Rauheitsmesser für die gepflügte Ackeroberfläche nach *Kuipers* [13].

5.63 Meßergebnisse

Hinsichtlich des Einflusses der Bodenart auf die Rauheit der Ackeroberfläche ist zu sagen, daß sie verständlicherweise vom leichten zum schweren Boden ansteigt.

Der Einfluß der Pflugkörperform, der Fahrtgeschwindigkeit und der Arbeitstiefe auf die Rauheit der Ackeroberfläche ist in **Tafel 13 und 14** wiedergegeben. Mit zunehmender Geschwindigkeit steigt die Rauheit meist an. Der Pflugkörper GP war als einziger in der Lage, bei 5 km/h Geschwindigkeit Furchendämme zu formen, **Bild 31**. Die Rauheit seines Beetes mit Faktor 63 bestimmt sich sowohl aus den größeren Schollen als auch aus der Formung von Dämmen. Die landläufige Meinung, daß die Ackeroberfläche mit zunehmender Pfluggeschwindigkeit glatter würde, ist nur bezüglich der Abflachung der Furchendämme richtig. Ein einheitlicher Einfluß der Pflugtiefe auf die Oberflächenrauheit ist nicht zu erkennen, **Tafel 14**.

Die Abnahme der Rauheit über den Winter, **Tafel 15**, ist für beide Bodenextreme absolut etwa die gleiche, prozentual ist sie wegen der geringeren Ausgangsrauheit auf dem Sandboden A jedoch wesentlich größer.

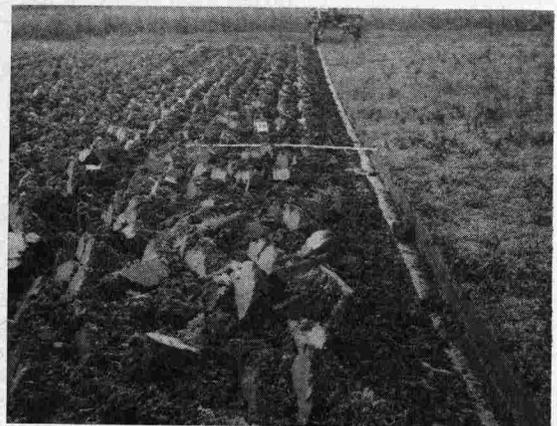


Bild 31. Im Hintergrund (hinter dem querliegenden weißen Stab) wohlgeformte Furchendämme, die bei niedriger Geschwindigkeit gepflügt wurden. Im Vergleich dazu im Vordergrund unregelmäßige Ablage der Schollen beim Pflügen mit hoher Geschwindigkeit.

Tafel 13. Einfluß der Geschwindigkeit und der Pflugkörperform auf die Rauheit der Ackeroberfläche.

Bodenart: Boden B. Arbeitstiefe: 25,0 cm. Rauheit quer zur Furche gemessen

Pflugkörperform	Rauheitsfaktor nach Kuipers				Rang (Glätte)
	Fahrgeschwindigkeit in km/h				
	5	7	9	i. M.	
M 25	55	58	59	57	4
SON	26	30	39	32	3
BW 7	49	68	58	58	5
GP	63	62	62	62	6
U 3	24	33	33	30	2
W 4	20	28	38	29	1
i. M.	40	46	48		

Tafel 14. Einfluß der Geschwindigkeit und der Arbeitstiefe auf die Rauheit der Ackeroberfläche.

Bodenart: Boden B. Rauheit quer zur Furche gemessen. Mittelwerte von sechs Pflugkörperformen

Arbeitstiefe cm	Rauheitsfaktor nach Kuipers		
	Fahrgeschwindigkeit in km/h		
	5	7	9
25,0	40	46	48
20,5	44	43	46
17,5	47	48	49

Tafel 15. Einfluß des Winters auf die Rauheit der Ackeroberfläche.

Mittelwerte aus sechs Pflugkörperformen

Bodenart	Rauheitsfaktor nach Kuipers								
	Furchentiefe in cm								
	Fahrgeschwindigkeit in km/h								
	17,5			20,5			25,0		
	5	7	9	5	7	9	5	7	9
Boden A				35	40	44	41	39	37
Herbst 1961	—	—	—						
Frühjahr 1962	26	29	32	24	28	30	24	29	26
Boden C									
Herbst 1961	53	59	63	57	60	63	61	63	63
Frühjahr 1962	46	48	52	46	46	49	52	52	52

5.7 Spezifischer Pflugwiderstand

5.71 Bedeutung des Pflugwiderstandes

Mit der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit steigt bei der gleichen Pflugkörperform der Pflugwiderstand progressiv an, **Bild 32**. Es erscheint daher wichtig, neue Pflugkörper zu entwickeln, bei denen bei gleichem ackerbaulichen Arbeitserfolg mit der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit keine übermäßige Erhöhung des spezifischen Zugwiderstandes verbunden ist.

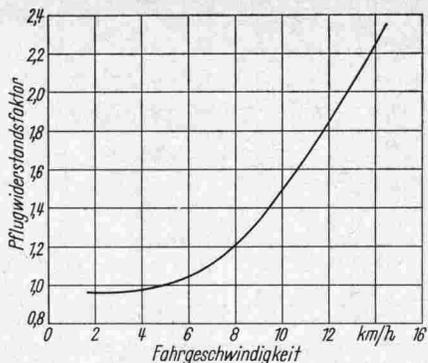


Bild 32. Der Multiplikationsfaktor des spezifischen Pflugwiderstandes in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit nach McKibben und Read [15], bezogen auf den Pflugwiderstand bei 5 km/h.

5.72 Meßmethode

Der zu untersuchende Pflugkörper wird im Rahmen eines Meßpfluges, **Bild 33**, schwingend aufgehängt, **Bild 34**. Es wird nur die Längskraft des Pflugkörpers (wahlweise mit oder ohne Vorwerkzeuge, wobei diese stets am Pflug bleiben können) gemessen. Der 50-PS-Schlepper ist mit einer breiten Seiltrommel ausgerüstet, die bei 12 Seilgeschwindigkeiten in einfacher Lage 100 m Seillänge aufnehmen kann, **Bild 35**. Es herrscht also konstante und genau einstellbare Geschwindigkeit. Das Ergebnis kann nicht durch Schlepperspuren beeinflusst werden. Aus vier Meßfahrten mit je 10 Messungen der Arbeitstiefe und -breite wird das Mittel gebildet.

5.73 Meßergebnisse

Der Einfluß der Pflugkörperform, der Fahrgeschwindigkeit, der Bodenart und der Furchentiefe auf den spezifischen Pflugwiderstand geht aus **Bild 36** hervor. Es zeigt, daß der Zugkraftbedarf der verschiedenen Pflugkörperformen unter sonst gleichen Arbeitsbedingungen zum Teil sehr unterschiedlich ist. So fällt auf, daß die Kulturform M 25, die für Gespannzug (3 km/h) entwickelt wurde, im allgemeinen den größten Zugkraftbedarf, besonders bei den höheren Geschwindigkeiten aufweist, während z. B. der Wendelkörper BW 7 unter sonst gleichen Bedingungen den geringsten Zugkraftbedarf von den sechs untersuchten Körperformen hat.

Bildet man aus allen sechs Pflugkörperformen für die verschiedenen Arbeitsbedingungen die mittleren Zugkraftwerte, **Bild 37**, so erkennt man, wie der Zugkraftbedarf von der Bodenart abhängt: er ist auf Boden C größer als auf Boden B und sehr viel größer als auf Boden A. Im großen Durchschnitt verhalten sich die spezifischen Zugkräfte auf Boden A, B und C wie 100:135:165.

Der spezifische Zugwiderstand nimmt mit der Arbeitstiefe zu, **Bild 37**. Von 17,5 auf 25,0 cm Tiefe beträgt die Zunahme des spezifischen Zugwiderstandes im Mittel 20%. Der Einfluß der

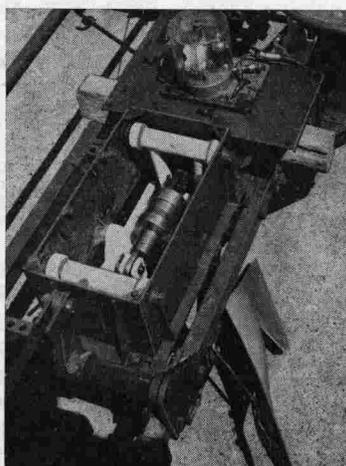
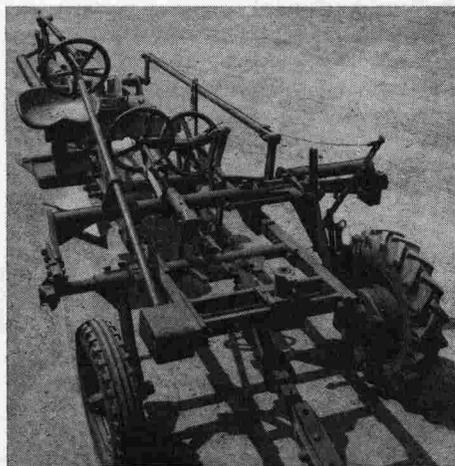
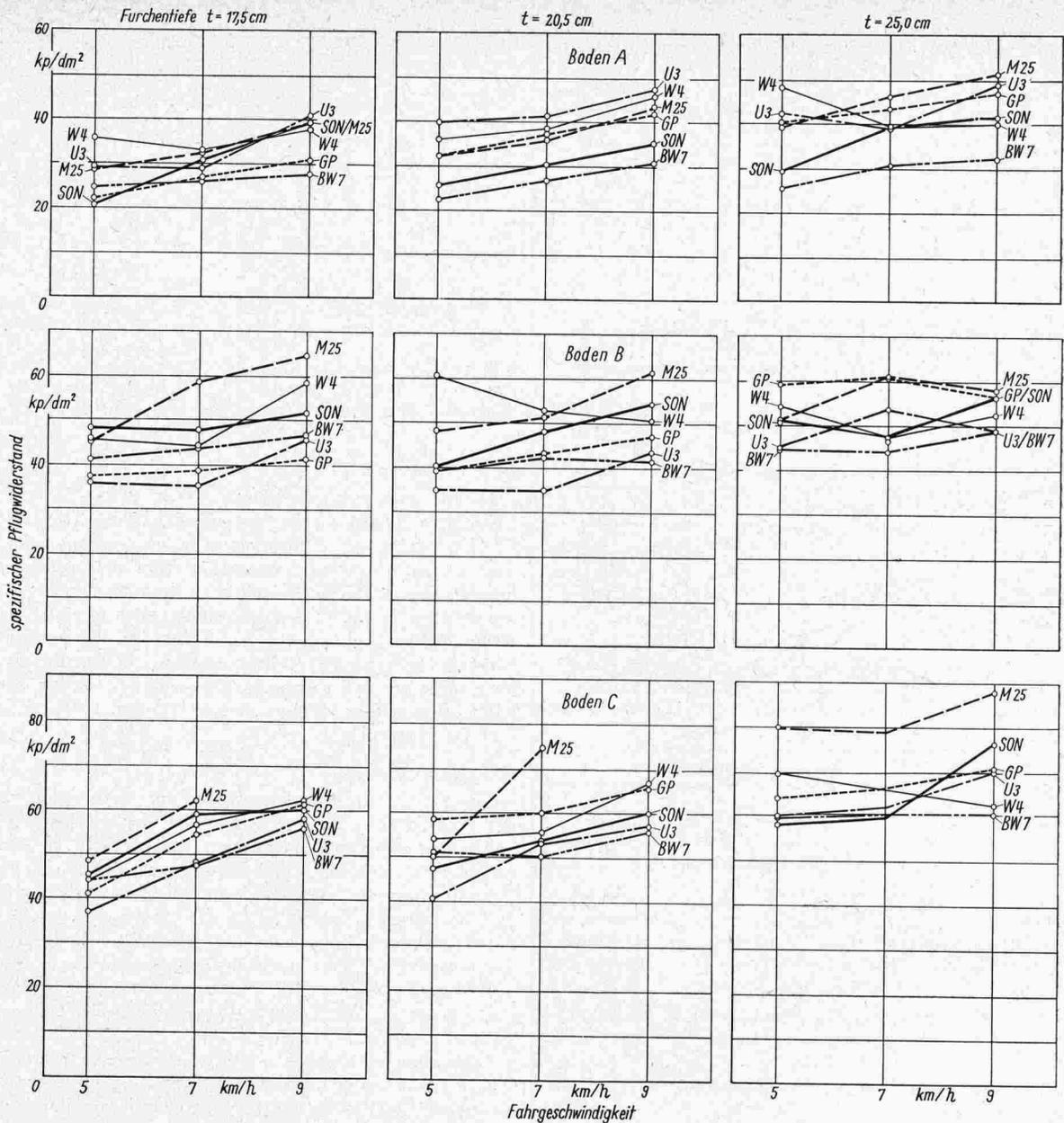


Bild 33 bis 35. Meßpflug zur Ermittlung des spezifischen Pflugwiderstandes.

Der Pflugkörper ist mit oder ohne Vorwerkzeuge im Pflugrahmen schwingend aufgehängt (**Bild 34**); die Zugkraft wird von dem Preßtopf eines hydraulischen Zugkraftmessers aufgenommen. Die einlagige Seiltrommel (**Bild 35**) eines Schleppers gewährleistet eine konstante Fahrgeschwindigkeit des Meßpfluges.



Geschwindigkeit auf den spezifischen Zugwiderstand ist bei kleiner Furchentiefe relativ sehr viel größer als bei großer Furchentiefe.

Eine interessante Aufgabe wäre, den von *Gorjatschkin* eingeführten Koeffizienten ε [19] für die Errechnung des spezifischen Pflugwiderstandes anhand der vorstehenden Ergebnisse nachzuprüfen.

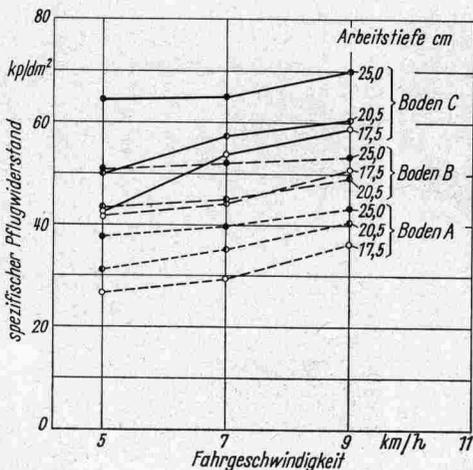


Bild 37. Mittlerer Pflugwiderstand für die sechs Pflugkörperformen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für drei Furchentiefen und die drei Versuchsböden A, B und C.

Bild 36. Spezifischer Pflugwiderstand in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für die drei Versuchsböden A, B und C, für drei verschiedene Furchentiefen und die sechs Pflugkörperformen.

Die Streuung der Meßwerte lag unter den schwierigen Verhältnissen des Bodens C bei $m = 1\%$ bis 7% .

Einfluß der Vorwerkzeuge. Das Scheibensech, das bei sämtlichen Versuchen mitverwendet wurde, dessen Zugwiderstand aber bei den vorstehenden Zugversuchen nicht mitgemessen wurde, benötigte auf allen drei Versuchsböden beim Pflügen auf $20,5$ cm Furchentiefe zusätzlich $13 \text{ kp/dm}^2 \pm 10\%$ Zugwiderstand.

Die Erhöhung des spezifischen Zugwiderstandes eines Pflugkörpers mit Scheibensech durch einen zusätzlichen, flach gehenden Vorschäler betrug je nach Boden und Bodenzustand zwischen 10% und 20% .

6 Schlußbetrachtung über die Durchführung von Pflugkörpertests

In ackerbaulicher Hinsicht besteht der Arbeitserfolg des Pflügens bzw. des Pfluges in einer Anzahl von Einzeleffekten, die der Pflug auf den Boden ausübt. Die gegenseitige Wertigkeit dieser Effekte ist von dem Arbeitsziel, das der Landwirt beim Pflügen des Bodens jeweils im Auge hat, abhängig.

Für sechs nach besonderen Kriterien ausgewählte Pflugkörper wurden diese Einzeleffekte auf drei typischen Ackerböden, jeweils gestaffelt nach je drei Arbeitstiefen und drei Fahrgeschwindigkeiten, gemessen. Bei der Ermittlung einiger dieser Effekte

konnten anderorts erarbeitete Meßmethoden und Meßgeräte benützt werden; für die Mehrzahl mußten in mehrjähriger Vorarbeit solche erst entwickelt und getestet werden. Aus den mitgeteilten Meßergebnissen geht hervor, daß die Einzeleffekte des Pfluges tatsächlich zuverlässig gemessen, vergleichsweise dargestellt und beurteilt werden können, und man deshalb nicht mehr auf die bisher allein geübte „Meinung“ über den Arbeitserfolg angewiesen ist.

Besonders wichtig erscheint die Messung des Wendewinkels des Furchenbalkens. Auffallend ist die, besonders in schwereren Böden, nicht seltene Abweichung vom Sollmaß (135°). Man kann daraus ableiten, daß dem Verhältnis von Arbeitsbreite zu Arbeitstiefe des Pflugkörpers noch mehr Augenmerk geschenkt werden sollte.

Die angebliche Mischung des Bodens durch den Pflug wurde mit den verschiedensten Methoden untersucht. Ein Mischeffekt innerhalb des einzelnen Furchenbalkens, auch wenn dieser völlig zerkrümelte, konnte nicht nachgewiesen werden. Nach dem Augenschein wird hier ein tatsächlicher Schereffekt mit einem nicht vorhandenen Mischeffekt verwechselt. Dieser Schereffekt ist ein maßgeblicher Bestandteil des für die Schäl- und Saarfurche wichtigen Krümelungseffektes, vor allem auch deshalb, weil die daraus entstandenen Krümel beständiger sind als die durch Schneiden oder Hacken entstandenen Bröckel.

Der Lockerungseffekt des Pfluges ist sehr erheblich. Er betrug 23 bis 47% und kann auf schwereren als den hier verwendeten Böden über 50% betragen. Die Lockerung durch den Pflug wird durch die Wirkung des Frostes unterstützt. Auf strukturinstabilen Böden stellt sie jedoch eine nur kurzfristige Größe dar. Der Ackerbauer muß versuchen, den Gegenkräften, nämlich der Setzung des Bodens, zu begegnen. Dies geschieht (neben chemisch-biologischen Maßnahmen) durch die Formung der Ackeroberfläche in Furchendämme. Auch diese Formung stellt daher, besonders bei der Winterfurche, einen Arbeitseffekt des Pfluges dar. Mit steigender Schlepperstärke und infolgedessen steigender Reifenbreite wird die Ausräumung der Furche zu einem nicht unwichtigen Arbeitseffekt des Pflugkörpers.

Alle Arbeitseffekte sollen bei möglichst niederem Leistungsaufwand erzielt werden. Es wurde deshalb der spezifische Pflugwiderstand, besonders bei steigenden Fahrgeschwindigkeiten, gemessen. Die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit bringt nicht selten ackerbauliche Nachteile mit sich; der ungünstige Einfluß auf den spezifischen Pflugwiderstand läßt sich konstruktiv, wie die Pflugkörper nach *Söhne* zeigen, mehr oder weniger ausschalten. Ein für die Winterfurche ackerbaulich und energetisch gerade noch erträgliches Höchstmaß der Fahrgeschwindigkeit kann aus den Meßergebnissen abgeleitet werden.

Eingangs wurde auf die Notwendigkeit und die Möglichkeit einer möglichst exakten Bodenansprache hingewiesen, um die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse zu gewährleisten. Vermutlich wird als Maß der jeweils bestehenden Kohärenz des Bodens die Scherkraft, gemessen nach einer festgelegten Standardmethode, gelten können, wobei die Angaben der Textur und des Wassergehaltes nicht zu entbehren sind. Ferner können gewisse Absprachen, so über die Fahrgeschwindigkeit und über das zu wählende Verhältnis Arbeitsbreite zu Arbeitstiefe bzw. über eine verbindliche Testkörperserie, getroffen werden.

Da die Feldbedingungen sich während der Messung nicht wesentlich ändern dürfen, enthalten die beschriebenen Meßmethoden jeweils auch eine feldmäßig durchzuführende Vereinfachung. Außerdem kann man sich auf einige für die Praxis besonders wesentliche Einzeleffekte beschränken.

Es wurde hier darauf verzichtet, die verwendeten Pflugkörper aufgrund der Meßergebnisse in eine Skala des Eignungswertes (allgemein oder gesondert für die einzelnen Böden) einzustufen. Das ist durchaus möglich; da aber, wie erwähnt, die Wertigkeit eines Teileffektes des Pfluges für den Landwirt je nach dem Arbeitsziel bzw. nach dem Schwerpunkt des Betriebes wechselt, ist ihm mit einer tabellarischen Übersicht der Einzeleffekte, bezogen auf die Einzeleffekte eines bekannten Testkörpers, besser gedient. Eine solche Übersicht zu schaffen, könnte ein Anliegen der Hersteller von Pflugkörpern sein.

7 Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet.

- [1] ● *Bachtin, P. U.*, und *A. F. Wadjunina*: Die physikalisch-mechanischen Bodeneigenschaften als bestimmender Faktor für die Arbeit landwirtschaftlicher Maschinen. Berlin: VEB Dt. Landw. Verlag 1960.
- [2] *Bernacki, H.*: Ergebnisse der Untersuchung von Schnellpflugkörpern. Dt. Agrartechn. **13** (1963) H. 11, S. 493/94.
- [3] *Blohm, G.*: Die bodenphysikalischen Grundlagen der Bodenbearbeitung. Fortschr. i. d. Landw. **5** (1930) S. 473.
- [4] *v. Boguslawski, E.*, und *K. O. Lenz*: Untersuchungen über mechanische Widerstandsmessungen mit einer Rammsonde auf Ackerböden. Z. f. Acker- und Pflanzenbau **109** (1959) S. 3/48.
- [5] ● *Collins, H.-J.*: Der Einfluß des Gefüges auf mechanische Eigenschaften des Bodens (Experimentelle Untersuchungen an Modellsubstanzen). Diss. TH Braunschweig 1967. [Mitt. Leichtweiß-Institut Heft 14 (1967)].
- [6] *Czeratzki, W.*: Schnellverfahren zur Bestimmung des Wassergehaltes im Boden. Mitt. Dt. Landw.-Ges. **69** (1954) H. 52, S. 1260/61.
- [7] *Ermich, D.*: Über erste Versuchsergebnisse zur Anwendung höherer Arbeitsgeschwindigkeiten beim Pflügen. Dt. Agrartechn. **14** (1964) H. 2, S. 57/60.
- [8] *Feuerlein, W.*: Die Pflugarbeit und ihre Beurteilung. Grundl. Landtechn. Heft 12 (1960) S. 44/50.
- [9] *Frese, H.*: Aussichten für eine exakte Beurteilung des Arbeitserfolges von Bodenbearbeitungsgeräten. Grundl. Landtechn. Heft 7 (1956) S. 5/10.
- [10] *Frese, H.*: Grundsätzliche Fragen der Bodenbearbeitung. Grundl. Landtechn. Heft 10 (1958) S. 48/54.
- [11] ● *Kececioglu, G.*: (Untersuchung über die Wirkung des Pflügens auf den Boden.) Diss. Ege Universitesi Bornova-Izmir 1963.
- [12] ● *Knickmann, E.* (Hrsg.): Methodenbuch, Bd. I: Die Untersuchung von Böden. 3. Aufl. Radebeul und Berlin: Neumann Verl. 1955.
- [13] *Kuipers, H.*: A reliefmeter for soil cultivation studies. Netherlands J. Agric. Science **5** (1957) Heft 4, S. 255/62.
- [14] ● *Lindner, H.*: Bodenphysikalische Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Pflugkörper bei unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten auf einige Eigenschaften des Bodens. Hab.Schrift, Landw.-Gärtn. Fakultät Humboldt-Univ. Berlin 1965.
- [15] *McKibben* und *Read*: in: *Foutaine, E. R.*: Wechselwirkungen zwischen Pflug und Boden. Mitt. Dt. Landw.-Ges. **74** (1959) H. 13, S. 368/72.
- [16] *Müller, M.*: Ökonomische Beurteilung höherer Arbeitsgeschwindigkeiten beim Pflügen. Dt. Agrartechn. **13** (1963) H. 2, S. 57/60.
- [17] ● *Nitzsch, W. von*: Bessere Bodenbearbeitung. RKTL-Schriften Heft 70. Berlin: Beuth-Vertrieb 1936.
- [18] *Queisner, D.*: Untersuchung der Arbeitswirkung verschiedener Pflugkörper. Diss. Halle-Wittenberg 1930. Wiss. Archiv f. Landw. Abtl. A **4** (1930) H. 4, S. 653/93.
- [19] *Rosegger, S.*, und *K. Hell*: Einsatz von Anbaupflügen und Schleppern mit Regeldraulik aus betriebstechnischer Sicht. Grundl. Landtechn. **17** (1967) Nr. 4, S. 125/31.
- [20] *Schaffer, G.*: Eine Methode der Abscherwiderstandsmessung bei Ackerböden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. Landw. Forsch. **13** (1960) H. 1, S. 24/33.
- [21] *Schmid, H.*: Eignung verschiedener Pflugkörperformen. Dt. Agrartechn. **10** (1960) H. 2, S. 47/50.
- [22] *Söhne, W.*: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit. Grundl. Landtechn. Heft 11 (1959) S. 22/39.
- [23] *Söhne, W.*: Anpassung der Pflugform an höhere Fahrgeschwindigkeiten. Grundl. Landtechn. Heft 12 (1960) S. 51/62.
- [24] *Söhne, W.*, *R. Möller* und *R. Bruer*: Geräte und Meßeinrichtungen zur Durchführung und Auswertung von Pflugversuchen. Landtechn. Forsch. **12** (1962) H. 2, S. 44/47.
- [25] *Stroppel, Th.*: Die Kennzeichnung der Ackerböden nach der Textur. Grundl. Landtechn. Heft 3 (1952) S. 101/08.
- [26] *Torstensson, G.*: Pflugkörperformen, Bodenstruktur und Erntertrag. Mitt. Dt. Landw.-Ges. **74** (1959) H. 13, S. 362/64.