

# Kräftermessungen an Häufelkörpern

Von Günter Getzlaff

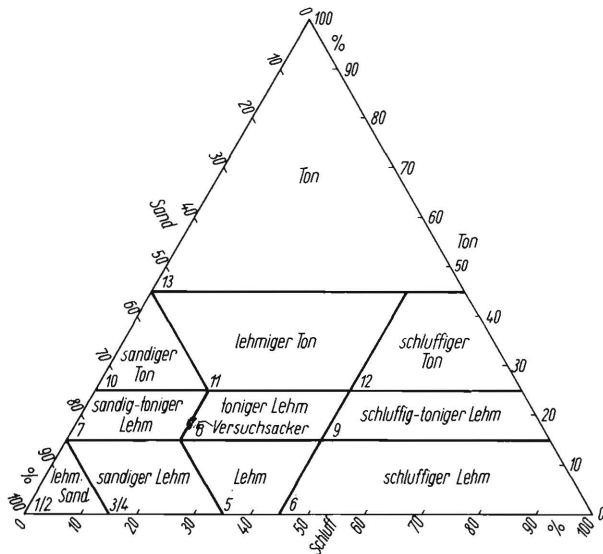
Für die Veröffentlichung bearbeitet von W. Söhne

Es wurden an verschiedenen Häufelkörpern vergleichende Kraftmessungen mit dem Sechskomponentengerät durchgeführt, um die unter schwierigen Bodenverhältnissen auftretenden Kräfte und ihre Richtung zu ermitteln. Diese Kräfte sollten als Grundlage für Beanspruchungsuntersuchungen [1] an Bauteilen von Vielfachgeräten auf einem stationären Prüfstand dienen. Es standen hierfür fünf stark voneinander abweichende Körperformen zur Verfügung, so daß auch Anhaltspunkte für den Formeinfluß auf die Kräfte gefunden werden konnten.

Die Versuche wurden auf einem etwa 22 cm tief gepflügten und geeegten, tonigen Lehmboden, dessen Zusammensetzung aus **Bild 1** hervorgeht, durchgeführt. Bedingt durch die Bodenart und den Feuchtigkeitsgehalt beim Pflügen zeigte die Ackerober-

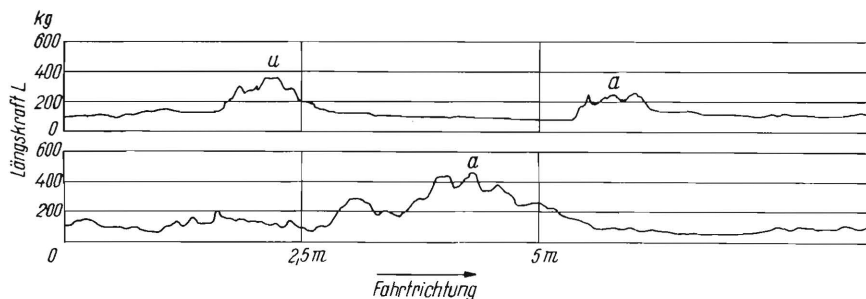


**Bild 2.** Versuchsstrecke auf dem grobscholligen, tonigen Lehm. Die Häufeldämme verlaufen quer zu der Pflugfurche.



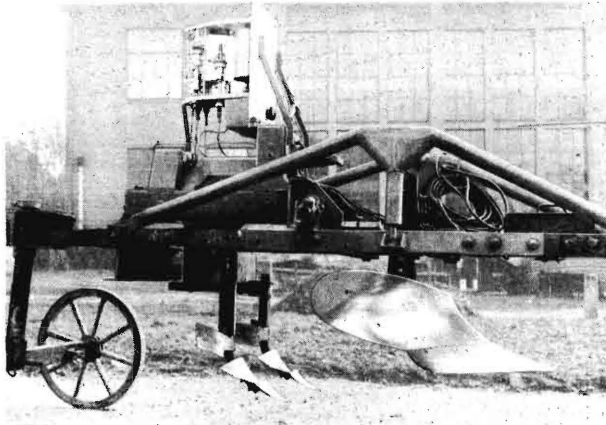
**Bild 1.** Korngrößenverteilung des Versuchsackers (toniger Lehm).

fläche noch grobe Schollenreste (**Bild 2**). Bei den Messungen wurde quer zur Pflugfurche gefahren. Die Bodenfeuchtigkeit betrug hierbei 16,5 Gew.%. Die Kraftkomponenten wurden auf einer 40m langen Meßstrecke, die in acht gleiche Teilstrecken unterteilt war, registriert. Für die acht Teilstrecken wurden aus den aufgenommenen Diagrammen die Mittelwerte der Kräfte gebildet. Dadurch, daß in der Versuchsstrecke eine etwa 2m lange, ungepflügte Strecke quer durchfahren werden mußte, konnten auch die Kräfte auf nicht vorbereitetem Boden als Maximalkräfte gemessen werden. **Bild 3** zeigt zwei Beispiele von Kraftdiagrammen beim Durchfahren der ungepflügten Querstreifen. Die Versuchsbedingungen auf diesem schweren, feuchten und scholligen Boden lassen Kräfte erwarten, wie sie beim Einsatz der Häufelkörper in ungünstigen Fällen auftreten können.



**Bild 3.** Verlauf der an einem Häufelkörper wirkenden Längskraft beim Häufeln auf gepflügtem und ungepflügtem Acker.

Bei a Durchfahren der ungepflügten Bodenschwellen

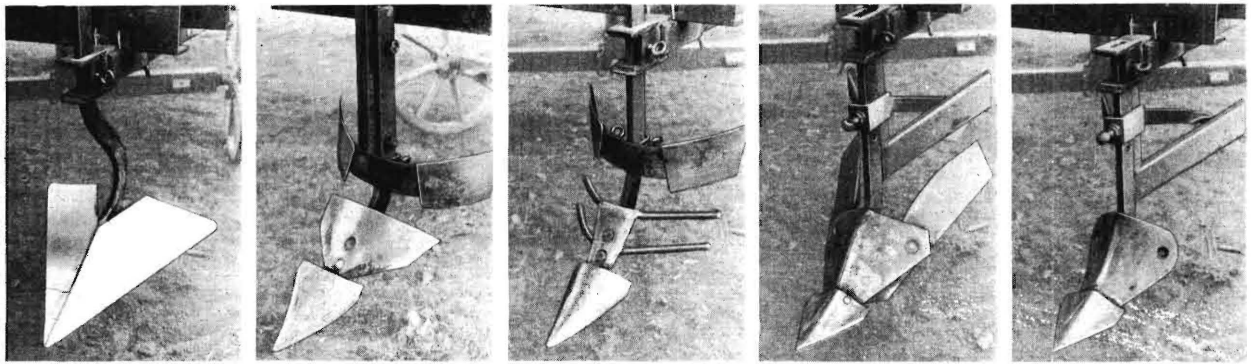


**Bild 4.** Das Sechskomponenten-Messgerät mit dem an dem dicken Stiel angebauten Versuchshäufelkörper. Zur Ausschaltung des Randeinflusses ist ein zweiter Häufelkörper am Pflugrahmen befestigt. Der vorauslaufende Pflugkörper glättet die Ackeroberfläche vor dem Versuchshäufelkörper

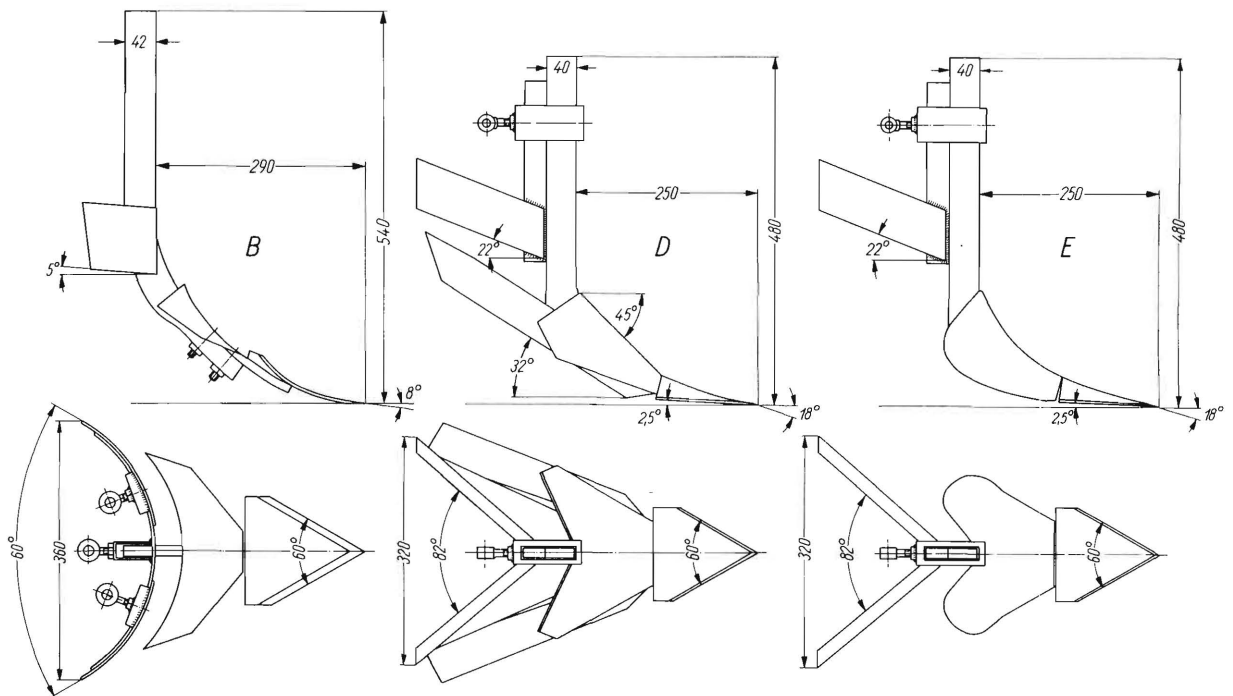
Außer den Messungen in der normalen Einstellung der Körper mit senkrecht stehendem Werkzeugstiel wurden auch Versuche mit einem um  $8^\circ$  zusätz-

lich geneigten Häufelkörper vorgenommen. Eine Verstellung in diesem Bereich dient in der Praxis zur Beeinflussung der Dammform. Die Ergebnisse können auch für die Beurteilung des Einzugsvermögens herangezogen werden. Weiterhin wurden Versuche in der Schlepperspur vorgenommen, wozu der Boden durch mehrmaliges Überrollen (Spur an Spur) mit einem schweren 55-PS-Schlepper vorbereitet worden war.

Bei allen Messungen wurde eine Dammhöhe vom Grund bis zur Dammkuppe von etwa 22 bis 24 cm angestrebt, wobei darauf geachtet wurde, daß die Kuppe nicht spitz, sondern abgeflacht war. Infolge der scholligen Struktur war es nicht leicht, gleichmäßige Versuchsbedingungen einzuhalten. Jedoch ließen sich annähernd gleiche Eindringtiefen dadurch erreichen, daß der Meßwagen immer gleich tief eingestellt wurde und ein vorlaufender, breit schneidender Pflugkörper Unebenheiten in der Ackeroberfläche beseitigte. Der Meßwagen bestand aus dem aus früheren Pflugmessungen [2] bekann-



**Bild 5 bis 9.** Die 5 untersuchten Häufelkörper A bis E.



**Bild 10 bis 12.** Die Hauptabmessungen und die Anbaumasse der Häufelkörper B, D und E.

Tafel 1. Versuchsprogramm für die Häufelkörperuntersuchung.

Häufelkörperform	Körpereinstellung								
	normal				Spitze 8° abwärts geneigt				
	Bodenzustand normal		Bodenzustand verdichtet		Bodenzustand normal		Bodenzustand verdichtet		
	v in m/s	1,2	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6
A	●	●							
B	●	●	●	●	●	●			●
C	●	●							
D	●	●	●	●	●	●			●
E	●	●							

ten Sechskomponenten-Meßflug, dessen Heckrad durch eine in der Höhe einstellbare, zweirädrige Achse ersetzt worden war (Bild 4). Um den Randeinfluß auszuschalten, war ein zweiter Häufelkörper des gleichen Typs am Pflugrahmen befestigt, dessen Kräfte nicht mitgemessen wurden. Durch diese Maßnahme konnte die Dammhöhe in den Grenzen von etwa 20 bis 24 cm eingehalten werden.

Die Hauptabmessungen und Form der benutzten Häufelkörper A bis E gehen aus Bild 5 bis 12 hervor. Das Versuchsprogramm umfaßte 20 Versuchsvarianten mit zwei Häufelkörpereinstellungen, zwei Bodenzuständen und zwei Fahrgeschwindigkeiten, es geht im einzelnen aus Tafel 1 hervor.

Infolge des symmetrischen Werkzeugaufbaues konnte man sich bei der Messung auf die Bestimmung der Längs- und Vertikalkräfte beschränken.

Die Längskräfte

Die Größe und der Streubereich der mittleren Längskräfte aus sämtlichen Messungen mit den fünf Häufelkörpern in Normalstellung sind in Bild 13 und 14 für die beiden Fahrgeschwindigkeiten 1,2 und 1,6 m/s in Abhängigkeit von der Häufelhöhe

dargestellt. Es läßt sich für den normalen und für den verdichteten Boden je ein Streubereich abgrenzen. Die Kräfte beim Durchfahren der oben erwähnten, ungepflügten Bodenschwellen fallen in den Streubereich des verdichteten Bodens.

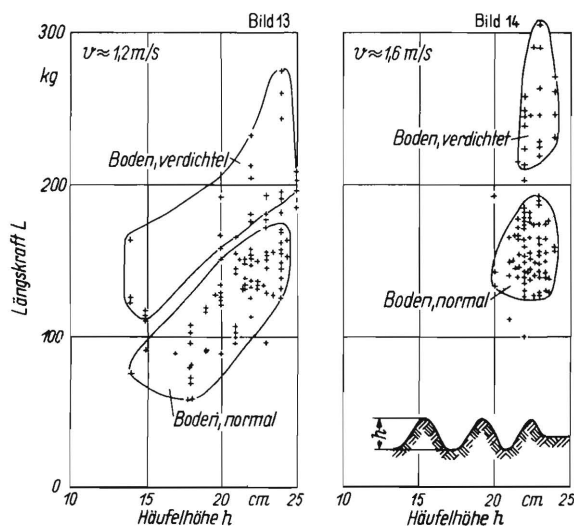


Bild 13 und 14. Mittlere Längskräfte der fünf Häufelkörper in Normalstellung bei der Arbeit im normalen und im verdichteten Boden in Abhängigkeit von der Häufelhöhe für zwei verschiedene Arbeitsgeschwindigkeiten. Jeder Messpunkt ist der Mittelwert einer Versuchsteilstrecke (5 m)

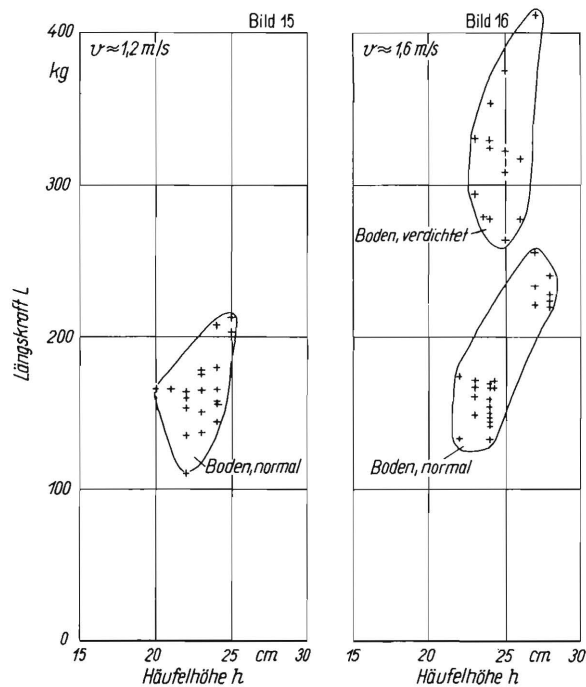
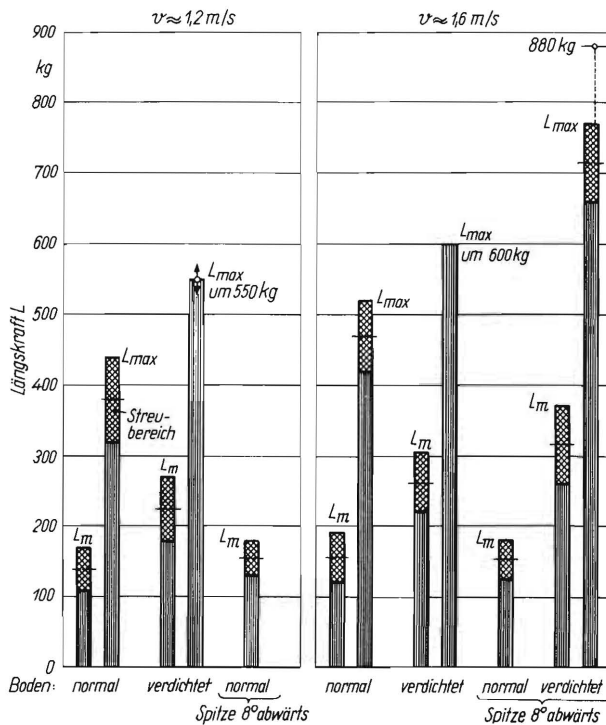


Bild 15 und 16. Mittlere Längskräfte der beiden um 8° abwärts geneigten Häufelkörper B und D bei der Arbeit im normalen und verdichteten Boden in Abhängigkeit von der Häufelhöhe für zwei verschiedene Arbeitsgeschwindigkeiten.

Die Meßergebnisse zweier Körperformen, die um 8° gegen die Normalstellung abwärts geneigt waren, sind für beide Geschwindigkeiten in Bild 15 und 16 wiedergegeben. Schließlich sind in Bild 17 alle mittleren und Spitzenkräfte einschließlich des Streubereiches für eine Häufelhöhe von 20 bis 24 cm zum Vergleich einander gegenübergestellt (s.a. Zahlentafel 2 und 3). Für die Arbeitsgeschwindigkeit von 1,6 m/s ergeben sich folgende Werte: Auf normalem, gepflügtem und geeegtem, tonigem Lehm Boden beträgt die mittlere Längskraft etwa 155 kg; bei verdichtetem Boden nimmt sie um 68% auf 260 kg zu. Bei einer Häufelhöhe von etwa 23 cm betragen die maximalen Längskräfte etwa 520 kg,



**Bild 17.** Zusammenstellung der an den fünf Häufelkörpern gemessenen, mittleren Längskräfte  $L_m$  und der zugehörigen Spitzenkräfte  $L_{max}$  (s.a. Tafel 2).  
Häufelhöhe  $h = 20$  bis  $24$  cm

**Tafel 2.** Die mittleren und maximalen Längskräfte für die fünf Häufelkörper auf tonigem Lehm.

Häufelkörperstellung	Bodenzustand	$v = 1,2 \text{ m/s}$			$v = 1,6 \text{ m/s}$			$\frac{L_{1,6}}{L_{1,2}}$ für	
		$L_m$ kg	$L_{max}$ kg	$\frac{L_{max}}{L_m}$	$L_m$ kg	$L_{max}$ kg	$\frac{L_{max}}{L_m}$	$L_m$	$L_{max}$
normal	normal	140	440	3,2	155	520	3,3	1,2	1,2
	verdichtet	225	550	2,5	260	600	2,3	1,15	1,1
um $8^\circ$ abwärts geneigt	normal	155	—	—	160	—	—	1,05	—
	verdichtet	—	—	—	315	770 (880)	2,4 (2,8)	—	—

d.h. das 3,3 fache der mittleren Längskraft  $L_m = 155$  kg. Bei verdichtetem Boden stiegen die Maximalwerte auf etwa 600 kg. Wurde der Häufelkörper um  $8^\circ$  abwärts geneigt, dann blieb die Längskraft im normalen Boden unverändert (155 bzw. 160 kg), stieg aber im verdichteten Boden von 260 auf 315 kg an. Die Spitzenkräfte bewegten sich bei den stärker geneigten Körpern zwischen 660 und 770 kg, im ungünstigsten Einzelfall sogar bis 880 kg, wobei sich der Stiel plastisch verformt hat ( $h = 27$  cm). Der Unterschied der Längskräfte zwischen den einzelnen Ausführungsformen war gering.

Diese Zusammenstellung zeigt, daß sowohl die mittleren Längskräfte als auch die Spitzenkräfte sehr beträchtlich sein können.

Die Vertikalkräfte und die Neigung der Resultierenden

Zur Beurteilung des Verhaltens der einzelnen Häufelkörperformen wurden die zugeordneten Mittelwerte von der Vertikalkraft  $V$  und der Längskraft  $L$

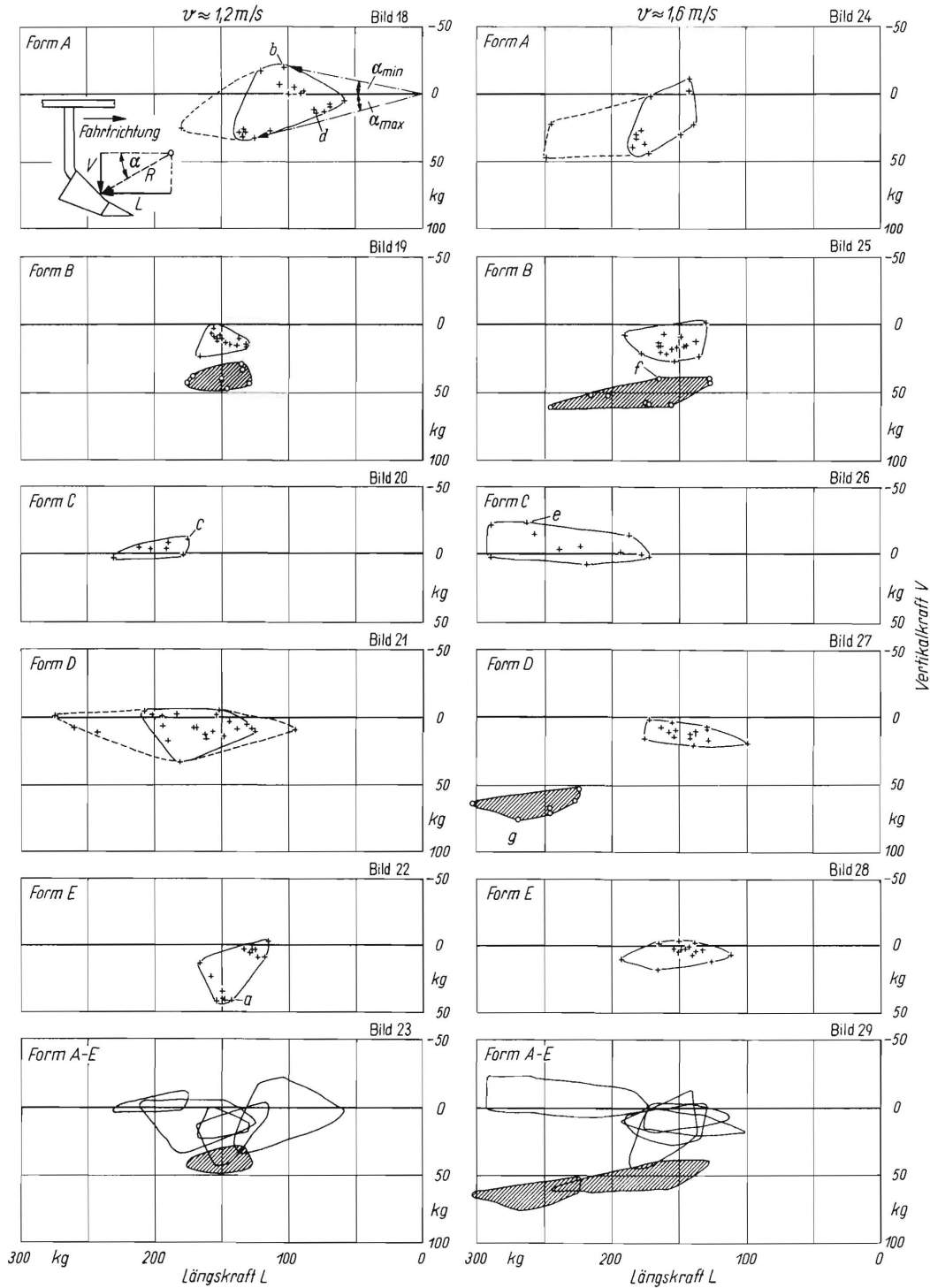
der Teilstrecken, getrennt nach Körperform und Fahrgeschwindigkeit, in **Bild 18 bis 33** vektoriell aufgetragen. Bild 18 bis 19 zeigen die Ergebnisse bei normaler Häufelkörperstellung, Bild 30 bis 33 bei einer um  $8^\circ$  geneigten Stellung. Die Streubereiche aller untersuchten Körperformen sind in Bild 23, 29 und 33 übereinandergezeichnet. In allen Bildern stellt die Verbindung jedes Meßpunktes mit dem Koordinatennullpunkt die Größe und Richtung der Resultierenden  $R$  aus  $V$  und  $L$  dar (s. schematische Zeichnung in Bild 18). Ihre Neigung gegenüber der Fahrtrichtung ist  $\text{tg } \alpha = V/L$ . In Bild 18 ist außerdem die obere und untere Grenze des Streubereiches von  $\alpha$  gekennzeichnet. Die Kraftvektoren haben in den Darstellungen die Größe und Richtung, wie sie auf einen von links nach rechts fahrenden Häufelkörper wirken würden.

Bei unverdichtetem Boden und in der Normalstellung (Bild 23 und 29) überrascht die geringe Größe der Vertikalkraft. Bei den Formen A und C (Bild 18, 20 und 26) sind sogar deutlich nach oben gerichtete Vertikalkräfte vorhanden. Auch eine zusätzliche Neigung des Körpers um  $8^\circ$  (Bild 33) bewirkt bei unverdichtetem Boden keine Zunahme der Vertikalkräfte, die in allen untersuchten Fällen angenähert Null sind.

**Tafel 3.** Verhältnis der Längskräfte bei Bodenverdichtung und Körperneigung.

	Körperstellung			
	normal		$8^\circ$ geneigt	
$v \approx$	1,2	1,6	1,2	1,6
$\frac{L_{m \text{ verd.}}}{L_m}$	1,6	1,65	—	2,0
$\frac{L_{m 8^\circ}}{L_m}$	1,1	1,0 (Boden, normal)		
		1,2 (Boden, verdichtet)		

Im verdichteten Boden dagegen ergibt sich eine eindeutig nach abwärts gerichtete, d.h. den Häufelkörper in den Boden ziehende, Vertikalkomponente, wobei aber eine zusätzliche Neigung des Körpers um  $8^\circ$  auch hier keine Vergrößerung der Vertikalkräfte zur Folge hat. Das geht noch klarer aus **Bild 34** hervor, in dem die Mittelwerte  $\alpha_m$  der Neigung der Resultierenden für die beiden Körper B und D in Abhängigkeit vom Bodenzustand und von der Körperstellung zusammengestellt sind. Für die



**Bild 18 bis 29.** Resultierende Kräfte  $R$  für die fünf Häufelkörper A bis E in Normalstellung für die beiden Geschwindigkeiten 1,2 und 1,6 m/s.

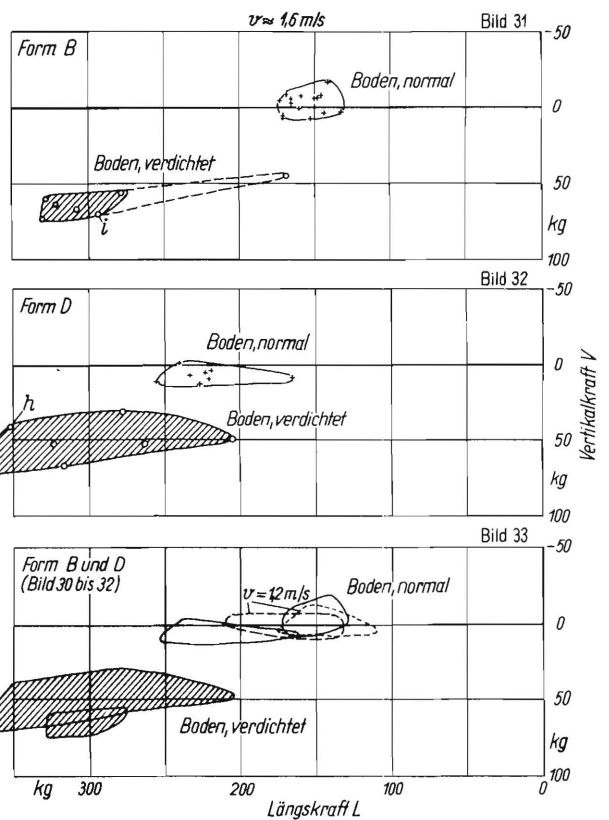
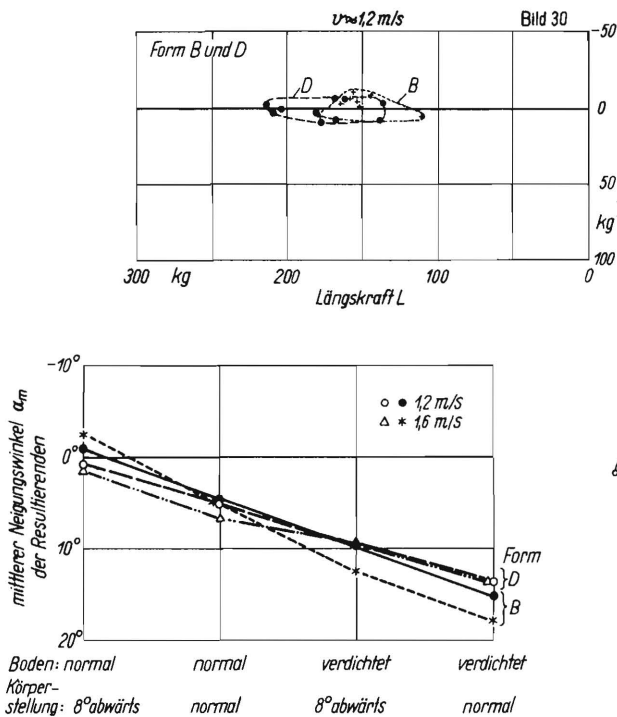
Die Punkte geben die Enden der Kraftvektoren zum Nullpunkt an (Bild 18). Die mit a bis g gekennzeichneten Kraftvektoren beziehen sich auf die in Bild 37 eingezeichneten Kräfte. Häufelhöhe  $h = 20$  bis 24 cm

Größe der Vektorneigung und damit für die Größe der Vertikalkraft ergibt sich die auf der Abszisse eingetragene Rangfolge:

- Normaler Boden:  $\alpha_m$
- Körper 8° geneigt . . . . . -2° bis +1°
  - normale Körperstellung . . . . . 5° bis 7°
- Verdichteter Boden:
- Körper 8° geneigt . . . . . 10° bis 12°
  - normale Körperstellung . . . . . 14° bis 17°.

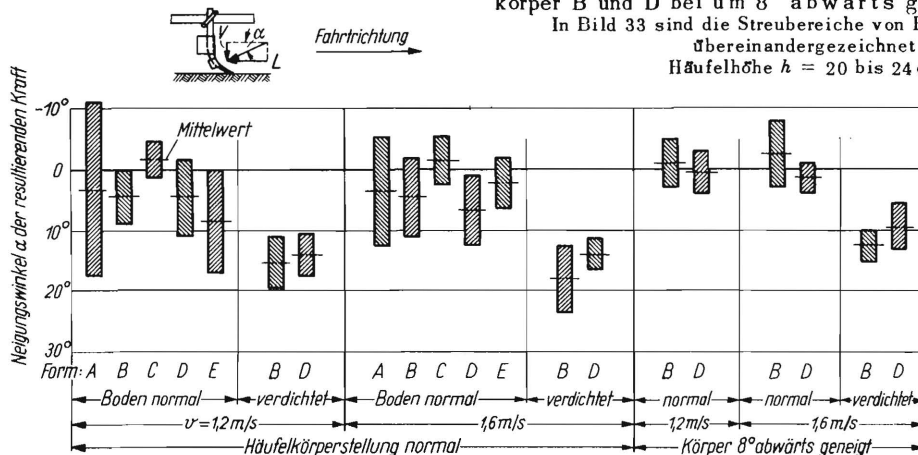
Daraus geht klar hervor, daß eine geneigte Stellung der Körper das Einziehen nicht verbessert.

Für das Verhalten der einzelnen Körperformen können aus der Gegenüberstellung der Werte von  $\alpha$  in Bild 35 und 36 einige Gesichtspunkte entnommen werden. In Bild 35 sind die Streubereiche von  $\alpha$  getrennt nach Körperform und -stellung, Geschwindigkeit und Bodenzustand zusammengestellt. Bild 36 zeigt den mittleren Neigungswinkel  $\alpha_m$ , wobei die

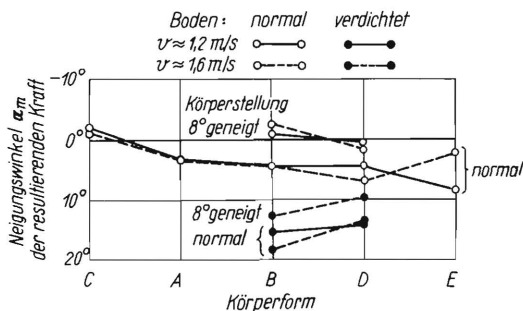


**Bild 34.** Der mittlere Neigungswinkel  $\alpha_m$  der resultierenden Kraft für die beiden Körper B und D in Abhängigkeit von Bodenzustand und Körperstellung, geordnet nach der Grösse von  $\alpha_m$ .

**Bild 30 bis 33.** Resultierende Kräfte R für die Häufelkörper B und D bei um  $8^\circ$  abwärts geneigten Körpern. In Bild 33 sind die Streubereiche von Bild 30 bis 32 übereinandergezeichnet Häufelhöhe  $h = 20$  bis  $24$  cm



**Bild 35.** Der Streubereich des Neigungswinkels  $\alpha$  der resultierenden Kraft für die fünf Häufelkörper, getrennt nach verschiedenen Arbeitsbedingungen. Häufelhöhe  $h = 22$  bis  $24$  cm



**Bild 36.** Mittelwerte des Neigungswinkels  $\alpha_m$  der resultierenden Kraft für die fünf Häufelkörper, geordnet nach der Grösse von  $\alpha_m$  bei normalem Bodenzustand und normaler Körperstellung.

Körperformen in der Rangfolge steigender Winkel  $\alpha_m$  bei normalem Bodenzustand und normaler Körperstellung geordnet wurden. Aus diesen Darstellungen ergibt sich folgendes:

- Die geringsten Vertikalkräfte traten bei Körperform C auf. Sie waren sogar leicht negativ gerichtet ( $\alpha_m \approx -2^\circ$ ).
- Die größten Vertikalkräfte traten bei den Formen D und E auf ( $\alpha_m = 5^\circ$  bis  $6^\circ$ ).
- Form A fällt durch besonders große Streuung von  $\alpha$  auf.

Die Ursachen für die geringe Richtwirkung bei Körper C wird in erster Linie in der runden Form

Tafel 4. Kennzeichnende, resultierende Kräfte und Momente.

Vektor (Bild 37)	Häufelkörperform	$v$ m/s	Bodenzustand	Körperstellung	$R$ kg	$M_y$ kgm	Lage im Vektorenstreuungsfeld Bild 18-33
a	E	1,2	normal	normal	150	35	$V_{max}$
b	A	"	"	"	105	25	$V_{min}$
c	C	"	"	"	180	65	$V_{min}$
d	A	"	"	"	80	30	—
e	C	1,6	"	"	265	85	$V_{min}$
f	B	"	verdichtet	"	170	55	$V_{min}$
g	A	"	"	"	280	110	$V_{max}$
h	D	"	"	8° geneigt	355	155	$V_{min}$
i	B	"	"	"	300	140	$V_{max}$
k	B	"	"	"	780	355	L-Spitze

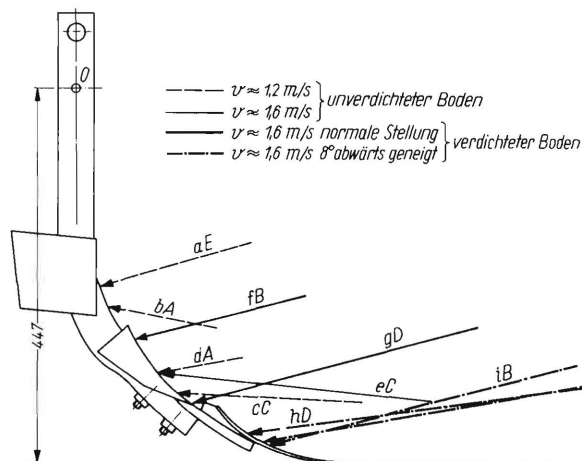


Bild 37. Beispiele für Lage und Grösse der resultierenden Kraft zur Arbeitsfläche des Häufelkörpers. Die zugehörigen Drehmomente  $M_y$  um O sind in Tafel 4 zusammengestellt. Die resultierenden Kräfte a bis i sind mit den in Bild 18 bis 32 eingetragenen identisch (s.a. Tafel 4) O Momentenbezugspunkt

des Schar und den Rundstäben des „Streichbleches“ zu suchen sein. Bei der Form A ist zwar eine große, schräge Fläche vorhanden, aber durch ein darunter angebrachtes, hakenförmig gebogenes Rundeisen als Sohle wird ein großer Teil der Vertikalkräfte abgestützt. Die Häufelwirkung der Körperform A war deutlich schwächer als bei den anderen Formen. Die beste Häufelwirkung wurde mit der Körperform D erzielt.

Räumliche Lage und Momente der Resultierenden

Aus den Messungen wurden für verschiedene Körperformen, Bodenzustände und Geschwindigkeiten einige der Größe und räumlichen Lage nach kennzeichnende, resultierende Kräfte ausgewählt, bei denen die Vertikalkräfte vorzugsweise Minimal- oder Maximalwerte hatten (s. die Vektoren a bis i in Bild 18 bis 33 und Tafel 4). Sie sind in Bild 37 maßstäblich dargestellt.

Ferner wurde noch der Vektor einer hohen Kraftspitze k zum Vergleich eingetragen.

Die Durchstoßpunkte verteilen sich über die ganze Körpermittellinie von der Spitze bis zum oberen Ende des Häufelkörpers, ohne daß eine Zuordnung zwischen der Lage und einem der Parameter eindeutig erkennbar ist.

In Tafel 4 sind ferner die Drehmomente um die Querachse  $M_y$ , bezogen auf den Bezugspunkt O, der in der Nähe des unteren Einspannquerschnittes liegt, eingetragen. Sie schwanken stark und können bei ungünstiger Körperstellung und Bodenstruktur beträchtliche Werte, bis zu 155 kgm, annehmen. Die Storbeanspruchung (Vektor k) verursacht sogar ein Moment  $M_y = 353$  kgm.

Zusammenfassung

Auf schwerem, grobscholligem, tonigem Lehmboden wurden vergleichende Kraftmessungen an fünf verschiedenen Haufkörpern bei Arbeitsgeschwindigkeiten von etwa 1,2 und 1,6 m/s und einer annähernd konstanten Häufelhöhe (20 bis 24 cm) vorgenommen. Neben dem normal bearbeiteten (gepflügten und geeegten) Boden wurde auch das Verhalten bei ungünstigen Bodenzuständen (ungepflügte Bodenschwelle bzw. verdichteter Boden) untersucht, um Beanspruchungsgrenzwerte zu erhalten. Dabei hat sich folgendes ergeben:

- 1) Auf normal bearbeitetem Boden lagen die mittleren Lastkräfte mit 140 bis 160 kg je Häufelkörper bereits recht hoch (Tafel 2).
- 2) Eine Bodenverdichtung vergrößerte diese Werte um etwa 60 bis 65 % (Tafel 3).

- 3) Eine Abwärtsneigung des Körpers um  $8^\circ$  vergrößerte die Längskräfte auf normal bearbeitetem Boden nicht, auf verdichtetem Boden um etwa 20% (Tafel 3).
- 4) Die Spitzenkräfte der Längskraft betragen das 2,3 bis 3,3 fache der mittleren Längskraft und erreichten im Grenzfall Werte bis zu 880kg (Tafel 2).
- 5) Obwohl sich die Streubereiche der Längskraft für die fünf Körperformen im wesentlichen deckten, zeigten doch die Körper C und D auch größere und der Körper A kleinere Werte als die übrigen Häufelkörper (Bild 23, 29, 33).
- 6) Die Vertikalkraft  $V$  war im normalen Boden nur klein und zum Teil sogar nach oben gerichtet.
- Die Unterschiede zwischen den Formen waren teilweise sehr gut zu erkennen. So neigt der Körper C deutlich zu negativen Vertikalkräften (Bild 20 und 26).
- 7) Abwärtsneigung des Körpers bewirkte in keinem Fall eine Vergrößerung der positiven Vertikalkraft.
- 8) Die Vertikalkraft war bei Körperformen mit größeren, in der Nähe der Scharspitzen schräg stehenden Flächen deutlich größer, vorausgesetzt, daß keine Sohle vorhanden war.
- 9) Die mittlere Neigung der resultierenden Kraft bewegte sich je nach Körperform zwischen  $\alpha_m = -2^\circ$  bis  $+7^\circ$  auf normalem und  $\alpha_m = 12^\circ$  bis  $15^\circ$  auf verdichtetem Boden.

#### Schrifttum

- [1] *Bergmann, Walter*: Beanspruchung und Gestalt von Werkzeugschienen und Klauen für Hackgeräte. In: Grundlg. d. Landtechn. Heft 6, Düsseldorf 1955. S. 91 bis 105.
- [2] *Getzlaff, Günter*: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. In: Grundlg. d. Landtechn. Heft 1, Düsseldorf 1951. S. 16/24.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr. - Ing. Dr. h. c. W. Kloth