

Über die gegenseitige Abhängigkeit von Schleppergewicht und Pflugfurche

Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode

Die Motorleistung, nach der ein Schlepper in Deutschland und einigen anderen Ländern meistens beurteilt wird, ist für die Arbeiten maßgebend, bei denen der Motor hoch belastet ist, nämlich für den Betrieb von Sammelern und für die schwere Bodenbearbeitung. Die Höhe der erforderlichen Motorleistung hängt von der arbeitswirtschaftlich jeweils notwendigen Flächenleistung und der für die Arbeit günstigen Fahrgeschwindigkeit, die das Getriebe des Schleppers ermöglichen sollte, ab [1].

Das Gewicht, der andere Faktor, der bei der Auslegung eines Schleppers berücksichtigt werden muß, ist für alle Zugarbeiten, vor allem bei der Bodenbearbeitung und bei der Ernte entscheidend. Die Hoffnung, das Schleppergewicht durch den Antrieb von Arbeitswerkzeugen verringern zu können, wird sich nach den bisherigen Untersuchungen nicht in vollem Umfang erfüllen lassen, auch seiner Herabsetzung durch Verkleinerung der Arbeitsbreite bei Erhöhung der Geschwindigkeit sind Grenzen gesetzt.

Andererseits ist eine Senkung des Betriebsgewichtes des Schleppers infolge der zusätzlichen Belastung der Triebachse durch den Anbaupflug am Dreipunktbau gegenüber dem Anhängepflug an der Ackerschleife und durch das völlige oder teilweise Tragen des Pfluges mit den bekannten Einrichtungen zur Achslasterhöhung möglich geworden.

Diese Gewichtsverminderung ist aber begrenzt: Das Mindestgewicht eines Schleppers ist in absehbarer Zukunft immer noch von der Pflugfurche abhängig, das heißt von der notwendigen Furchentiefe, der erforderlichen Arbeitsbreite beziehungsweise Scharzahl, von den vom Pflug auf den Schlepper wirkenden Kräften und schließlich von der Zugfähigkeit des Schlepperlaufwerkes.

Für Anhängepflüge wurden bereits Untersuchungen über die notwendigen Schleppergewichte vorgenommen [2]. Während bei diesen die resultierende Zugwiderstandskraft fast horizontal verläuft, ist ihre Wirkungslinie bei Anbaupflügen schräg nach unten zum Pflug gerichtet. Bei Anbaupflügen besteht die Aufgabe darin, ein Verfahren zur Berechnung des Schleppergewichts anzuwenden, das die Größe und Lage dieser Widerstandskraft berücksichtigt. Die Schwierigkeiten liegen in der Wahl der Koeffizienten, die infolge der verschiedenen Eigenschaften des Bodens große Streubreite aufweisen. Es handelt sich vor allem um den Triebkraftbeiwert bei der Abstützung der Triebräder am Boden und den Bodenwiderstand beim Pflügen.

Der Triebkraftbeiwert κ

Um Erfahrungswerte für κ auf verschiedenen Bodenarten und -zuständen zu erhalten, sind eine Reihe von Zugkraft-Schlupfmessungen durchgeführt worden [3 + 5]. Dabei wurden außer den Zugwiderständen, die im allgemeinen durch einen Bremswagen erzeugt werden, auch die Rollwiderstände der Vorderräder R_v des Schleppers festgestellt. Die Summe aus dem Zugwiderstand Z und dem Rollwiderstand R_v ergibt die Triebkraft T . Wenn man die beim Pflügen auftretende Triebachslast G'_h grafisch bestimmt, läßt sich daraus der Triebkraftbeiwert $\kappa = \frac{T}{G'_h}$ errechnen, der für den Vortrieb des Schleppers notwendig ist. Ob dieser Wert tatsächlich vorhanden ist, hängt vom Reifen und hauptsächlich von der Bodenbeschaffenheit ab.

Aus den genannten und anderen noch nicht veröffentlichten Messungen ergibt sich, daß der Triebkraftbeiwert in der Praxis häufig zu hoch geschätzt wird. Das liegt wohl daran, daß auf einem festen, gut tragfähigen Boden günstige Werte für κ zum Beispiel bis 0,65 erreicht werden können, aber bei einem verhältnismäßig großen Schlupf von 50% und mehr, mit dem nur ausnahmsweise, wenn die Witterung ungünstig ist und die Zeit drängt, gefahren werden sollte. Bei einem Schlupf von 15 bis 20%, der bei längeren Feldarbeiten noch erträglich ist, wurden für κ Werte von 0,45 bis 0,52 auf schwerem, festem, von 0,40 bis 0,45 auf mittlerem und noch geringere auf lockerem oder schmierigem Boden gemessen.

Der Zugwiderstand

Der Zugwiderstand Z kann bei angehängten Geräten durch ein zwischen Schlepper und Zughaken des Gerätes eingeschaltetes Meßgerät, bei Anbaugeräten durch Meßeinrichtungen in der Anlenkung [6; 7] oder einen Meßrahmen am Schlepper [8] festgestellt werden. Ergebnisse über derartige Zugkraftmessungen liegen für verschiedene Geräte und auch für den Pflug vor [8; 9]. Dabei wurden infolge wechselnder Böden, verschiedener Pflugkörperformen, sowie nach der Art der Anlenkung und der Einstellung des Pfluges sehr unterschiedliche Werte festgestellt.

Bei den Feldversuchen mit dem Sechskomponentenpflug werden bekanntlich nur die Kräfte gemessen, die vom Boden auf den Pflugkörper beim Trennen, Wenden und Krümeln ausgeübt werden. Die Längskraft L ist hierbei die entgegen der Zugrichtung horizontal wirkende Komponente. Bei Messungen an einem angebauten Pflug treten noch die Reibungskräfte an der Schleifsohle S_w oder am Stützrad C_w und an der Anlage A_w auf; ihre Größe kann durch die Lage des Führungspunktes, die Änderung der Einstellung und durch Einwirkung mit dem Kraftheber oder mit ähnlichen Einrichtungen beeinflusst werden.

Längskraft L und Reibungswiderstände S_w ; C_w ; A_w ergeben den Zugwiderstand Z . Bezieht man die Längskraft L auf den Furchenquerschnitt Q , so erhält man den spezifischen Bodenwiderstand $p_L = \frac{L}{Q}$ für den Pflugkörper allein, während der spezifische Zugwiderstand $p_z = \frac{Z}{Q}$, der im allgemeinen bei Messungen mit Zugkraftmessern festgestellt wird, bereits Faktoren enthält, die teils durch das System, teils durch die Einstellung des Pfluges vom Schlepperfahrer bedingt sind.

Der *Bodenwiderstand* wechselt häufig, sogar auf einem Schläge [10]; es ist dann notwendig, einen so schweren Schlepper zu wählen oder bei einem leichteren die Triebachslast kurzzeitig so erhöhen zu können, daß auch die schwierigen Stellen in der erforderlichen Tiefe durchgezogen werden. Das Zurückgehen auf eine geringere Tiefe, als es ackerbaulich erwünscht ist, sollte man bei technischen Lösungen nicht ins Auge fassen.

Für die verschiedenen *Pflugkörperformen* sind bisher noch nicht genügend Messungen durchgeführt worden. Die bisherigen Veröffentlichungen [6; 11; bei 11 weiteres Schrifttum] zeigen, daß auf gleichem Boden erhebliche Unterschiede infolge der Pflugkörperform auftreten können. Auch die Differenz des Zugwiderstandes zwischen scharfen und stumpfen Scharen ist erheblich [12].

Einen großen Einfluß hat die *Anlenkung* und *Einstellung* des Pfluges. Schon bei den Anhängepflügen können durch falsche Einstellung der Zugschere hohe Anlagekräfte und damit eine Vergrößerung des Zugwiderstandes entstehen; besonders stark machen sich Einstellungsfehler an Anbaupflügen bemerkbar, deren Kräfte sich infolge der engen Verbindung von Schlepper und Gerät leicht in ungünstigem Sinne ändern können.

Beim Vergleich verschiedener Systeme sollte deshalb vom spezifischen Bodenwiderstand p_L ausgegangen werden. Seine Werte streuen in Abhängigkeit von der Textur, der Struktur, zum Beispiel durch die vorangegangene Bearbeitung oder den Bewuchs in verschiedenen Tiefen, von der Feuchtigkeit und etwaigen Steineinschlüssen. Dadurch können gelegentlich auch extreme Werte entstehen. Nach GETZLAFF [11] liegt der spezifische Bodenwiderstand bei leichten oder lockeren Böden zwischen 15 und 30 kg/dm², bei mittleren Böden zwischen 20 und 53 kg/dm² und bei schweren Böden zwischen 45 und 60 kg/dm². Im folgenden werden der Untersuchung Bodenwiderstände von 40, 50 und 60 kg/dm² zugrundegelegt.

Die Stützkkräfte C und S hängen bei freipendelndem Pflugkörper (*FP*) und bei schwimmendem Kraftheber von der Lage des Führungspunktes, bei Einrichtungen zur Achslasterhöhung (*ALE*) von

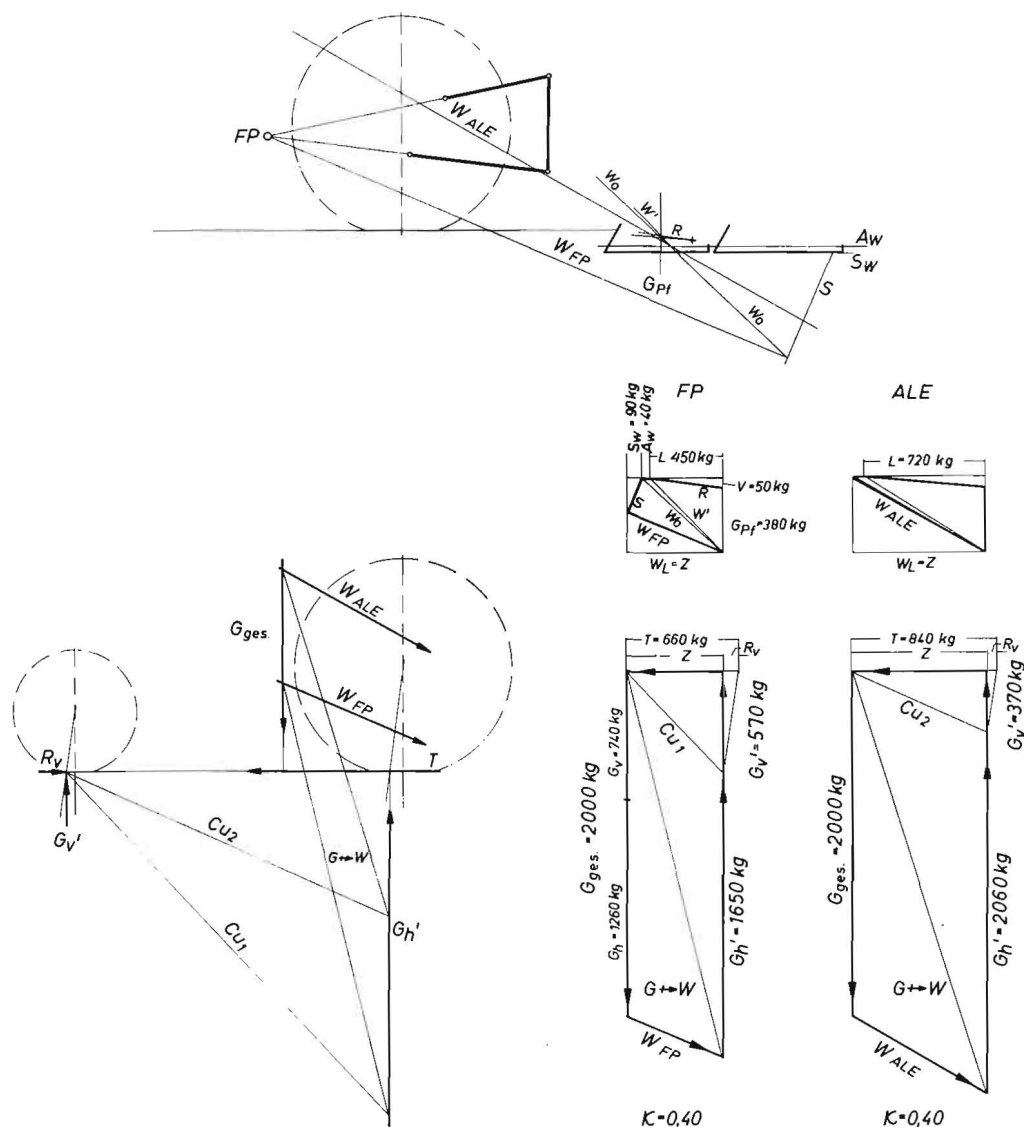


Bild 1: Grafische Ermittlung der Kräfte am Pflug und am Schlepper unter Berücksichtigung der Maße nach DIN 0674, Dreipunktanbau von Geräten und Verwendung üblicher Abmessungen für die Lage der Kupplungspunkte an Pflügen

der Wirkung des Krafthebers oder anderer, federnder Verbindungen zwischen Schlepper und Pflug ab [15]. Die Schleifsohle sollte beim freipendelnden Pflug (FP) allein die Stützkkräfte am Boden infolge des Momentes um den Führungspunkt aufnehmen, während die Stützräder nur bei Einsinken der Schleifsohle zum Tragen kommen. Wenn ein großer Teil der senkrechten Kräfte von den Stützrädern aufgenommen wird, verringert sich die zusätzliche Triebachsbelastung. Die Stützkraft C ist deshalb in der folgenden Untersuchung = 0 angesetzt.

Bei Einrichtungen zur Achslasterhöhung (ALE) wird angenommen, daß noch eine kleine Restkraft von 10 kg an der hinteren Abstützung verbleibt (beim Überfahren von Unebenheiten kann diese Kraft sich vergrößern, und die Achslasterhöhung wird dann wesentlich kleiner). Die Lage der Resultierenden W ist dabei unabhängig von der Lage und Länge der Lenker des Dreipunktanbaues.

Während die Stützkkräfte C und S grafisch für jede Anlenkung bestimmt werden können, ist dies für die Anlagekraft A schwieriger. Die Anlagenreibung A_w kann nur in gewissen Grenzen, zum Beispiel bei Pflügen, die zugleich eine Parallel- und Winklereinstellung besitzen, oder durch eine seitliche Verstellung des oberen Lenkers beeinflußt werden [14]. Zur Vereinfachung der Untersuchung wird sie nach Meßergebnissen von GETZLAFF für die Seitenkraft am Pflugkörper (dort S genannt) mit 40 kg eingesetzt. Der Reibbeiwert von Stahl auf Boden schwankt nach früheren Veröffentlichungen (bei [14]) zwischen 0,3 und 0,5, kann aber auch bis 0,8 ansteigen. Bei einem Reibbeiwert von 0,4 wäre die Anlagekraft A etwa 100 kg; diese Werte können besonders am Hang und bei einfurchigem Pflügen mit größerer Spur als 1,25 m

wesentlich (bis 350 kg gemessen) überschritten werden, wodurch bisweilen Einbrüche der seitlichen Furchenkante entstehen.

Einfluß des Pfluggewichtes

Die Größe der Zusatzbelastung hängt wesentlich vom Pfluggewicht und dem Abstand der Schwerpunktlinie von der Aufstandslinie der Schlepperhinterräder a und e ab. Es ist vorteilhaft, den Pflug nicht zu leicht zu wählen. Aus Unterlagen der Pflugfirmen [16] wurde ein Diagramm zusammengestellt [17], aus dem sich ein Verhältnis des Pfluggewichtes zur statischen Hinterachslast des Schleppers von 0,3 bis 0,32 als günstig ergibt.

Auch die Vertikalkraft V des Bodens auf den Pflugkörper beeinflusst die Größe der Zusatzlast; aus Messungen von GETZLAFF [11] geht hervor, daß die Vertikalkraft bei schwerem Boden etwas kleiner ist als bei mittlerem Boden. Zur Vereinfachung der Rechnung wurde sie hier für alle Bodenarten und Tiefen mit einem Durchschnittswert von 25 kg je Schar festgelegt.

Da es sich bei der Ermittlung des kleinstmöglichen Schleppergewichtes um die Grenzen der Zugfähigkeit handelt, wird im folgenden mit der Annahme gearbeitet, daß der Schlepper mit Differentialsperre fährt, so daß sich die unterschiedliche Belastung von Land- und Furchenrad nicht auswirkt.

Berechnung des Schleppergewichtes

Das Schleppergesamtwgewicht, das beim Pflügen eines bestimmten Furchenquerschnittes erforderlich ist, läßt sich nicht ohne weiteres unter den obengenannten Voraussetzungen ermitteln. Jedoch ist

Tafel 1: Einfluß verschiedener Faktoren auf den erreichbaren Furchenquerschnitt

Tafel 1a: $G_{ges} = 1000$ kg; Radstand $l = 1,6$ m; $G_h = 0,625 \cdot G_{ges} = 625$ kg; $G_v = 375$ kg; $G_{vmin} = 155$ kg; $G_{pflug} = 0,3 \cdot G_h = 190$ kg
 $a + e = 1,3$ m; einfurchtig

κ	FP						ALE			
	0,4			0,5			0,4		0,5	
p_L kg/dm ²	40	50	60	40	50	60	50	60	50	60
Q dm ²	5,5	4,35	3,67	8,0	6,4	5,3	7,2	6,0	8,5	7,2
t cm	22	18	15	25	20	22	24	20	28	24
b cm	25	24	24	32	32	24	30	30	30	30
L kg	220	220	220	320	320	320	360	360	430	430
G_{ges}/L	4,55	4,55	4,55	3,14	3,14	3,14	2,80	2,80	2,33	2,33
T'/L	1,48	1,48	1,48	1,29	1,29	1,29	1,14	1,14	1,19	1,19
G'_h/G_h	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,65	1,65	1,64	1,64
G'_v kg	290	290	290	300	300	300	180	180	210	210
p_z kg/dm ²	53	66,5	79	46	58	70	53	64	56	66,5

es umgekehrt möglich, für einen Schlepper mit gegebenen Maßen und Gewichten den erreichbaren Furchenquerschnitt bei einem bestimmten Triebkraftbeiwert κ grafisch festzustellen.

Um zunächst einen Überblick über die Größe und den Einfluß der verschiedenen Faktoren auf den erreichbaren Querschnitt zu erhalten, wurden Schlepper unterschiedlichen Gewichtes mit durchschnittlichen Werten für Achslastverteilung und Radstand sowie die dazu passenden Pflüge mit Hilfe des grafischen Verfahrens untersucht. Als Beispiel zeigt Bild 1 die Lage- und Kräftepläne mit den verwendeten Bezeichnungen.

Auf der Tafel 1(a—e) sind einige weitere Ergebnisse zusammengestellt. Die Furchenquerschnitte wurden dabei so gewählt, daß die vorausgesetzten κ -Werte mit 0,4; 0,45 und 0,5 erreicht wurden. Will man nun umgekehrt aus dem Furchenquerschnitt Q und dem Triebkraftbeiwert κ das erforderliche Schleppergewicht für verschiedene Böden ermitteln, so muß man einige Verhältniszahlen

Tafel 1b: $G_{ges} = 1500$ kg; Radstand $l = 1,75$; $G_h = 0,625 \cdot G_{ges} = 935$ kg; $G_v = 565$ kg; $G_{vmin} = 235$ kg;

$G_{pflug} = 0,3 \cdot G_h = 280$ kg; $G_{pflug} = 0,35 \cdot G_h = 330$ kg;
 $a + e = 1,35$ m; einfurchtig. $a + e = 1,45$ m; zweifurchtig.

κ	FP		ALE	FP	ALE
	0,4		0,5	0,4	0,4
p_L kg/dm ²	50	60	60	40	40
Q dm ²	6,8	5,7	8,0	9,5	14,5
t cm	24	22	25	20	24
b cm	28	26	32	24	30
L kg	340	340	480	380	580
G_{ges}/L	4,45	4,45	3,14	3,95	2,60
T'/L	1,5	1,5	1,31	1,30	1,12
G'_h/G_h	1,36	1,36	1,32	1,31	1,76
G'_v kg	420	420	440	480	230
p_z kg/dm ²	66	80	71,5	44	41,5

Tafel 1c: $G_{ges} = 1500$ kg; Radstand $l = 1,75$ m; $G_h = 0,625 \cdot G_{ges} = 935$ kg; $G_v = 565$ kg; $G_{vmin} = 235$ kg; $G_{pflug} = 0,3 \cdot G_h = 280$ kg.
 $a + e = 1,45$ m; zweifurchtig.

κ	FP			ALE					
	0,4	0,5		0,4			0,5		
p_L kg/dm ²	40	40	50	40	50	60	40	50	60
Q dm ²	8,5	12	9,6	13,5	10,8	9,0	16,3	13,0	10,9
t cm	18	22	20	24	18	18	25	23	21
b cm	24	28	24	28	30	25	32	28	26
L kg	340	480	480	540	540	540	650	650	650
G_{ges}/L	4,44	3,14	3,14	2,79	2,79	2,79	2,31	2,31	2,31
T'/L	1,46	1,33	1,33	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
G'_h/G_h	1,34	1,37	1,37	1,68	1,68	1,68	1,63	1,63	1,63
G'_v kg	420	420	420	250	250	250	270	270	270
p_z kg/dm ²	52	47	59	43,6	54	65	44	55	66

Tafel 1d: $G_{ges} = 2000$ kg; Radstand $l = 1,9$ m; $G_h = 0,625 \cdot G_{ges} = 1260$ kg; $G_v = 740$ kg; $G_{vmin} = 265$ kg; $G_{pflug} = 0,3 \cdot G_h = 380$ kg;
 $a + e = 1,45$ m; zweifurchtig.

κ	FP									ALE								
	0,4			0,45			0,5			0,4			0,45			0,5		
$p_L = \frac{L}{Q}$ kg/dm ²	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
Q dm ²	11,2	9,0	7,5	14,4	11,4	9,5	16,0	12,8	10,7	18	14,4	12	20,0	16	13,3	21,5	17,2	14,4
t cm	20	18	15	24	22	20	25	23	21	28	24	20	30	25	21	30	27	26
b cm	28	25	25	30	26	24	32	28	26	32	30	30	32	33	32	36	32	28
L kg	450	450	450	570	570	570	640	640	640	720	720	720	800	800	800	860	860	860
G_{ges}/L	4,45	4,45	4,45	3,50	3,50	3,50	3,14	3,14	3,14	2,80	2,80	2,80	2,50	2,50	2,50	2,32	2,32	2,32
T'/L	1,46	1,46	1,46	1,35	1,35	1,35	1,33	1,33	1,33	1,17	1,17	1,17	1,18	1,18	1,18	1,14	1,14	1,14
G'_h/G_h	1,32	1,32	1,32	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,62	1,62	1,62	1,60	1,60	1,60	1,56	1,56	1,56
G'_v kg	570	570	570	580	580	580	590	590	590	360	360	360	390	390	390	420	420	420
$p_z = \frac{Z}{Q}$ kg/dm ²	52	64	77,5	49	61,5	73,5	47	58	70	43,2	54	65	44,5	55,5	67	45,5	56,5	66,5

Tafel 1e: $G_{ges} = 2500$ kg; Radstand $l = 2,1$ m; $G_h = 0,625 \cdot G_{ges} = 1560$ kg; $G_v = 940$ kg; $G_{vmin} = 300$ kg; $G_{pflug} = 0,3 \cdot G_h = 468$ kg
 $a + e = 1,50$ m; zweifurchtig.

κ	FP									ALE								
	0,4			0,45			0,5			0,4			0,45			0,5		
$p_L = \frac{L}{Q}$ kg/dm ²	40	50	60	40	50	60	40	50	60	50	60	50	60	50	60			
Q dm ²	14,0	11,2	9,4	17,6	14,0	11,7	20,2	16,2	13,5	18,0	15,0	20,0	16,6	21,5	18,0			
t cm	24	20	20	28	25	21	30	26	22	28	25	30	26	30	28			
b cm	30	28	24	32	28	28	34	32	31	32	30	33	32	36	32			
L kg	560	560	560	700	700	700	810	810	810	900	900	1000	1000	1080	1080			
G_{ges}/L	4,45	4,45	4,45	3,56	3,56	3,56	3,10	3,10	3,10	2,80	2,80	2,50	2,50	2,31	2,31			
T'/L	1,43	1,43	1,43	1,31	1,31	1,31	1,26	1,26	1,26	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13			
G'_h/G_h	1,28	1,28	1,28	1,30	1,30	1,30	1,34	1,34	1,34	1,60	1,60	1,60	1,60	1,56	1,56			
G'_v kg	760	760	760	770	770	770	780	780	780	500	500	530	530	550	550			
$p_z = \frac{Z}{Q}$ kg/dm ²	48,5	60,5	72,0	45,6	57,5	69,0	45,3	57,0	67,5	52,0	63,0	53,0	63,5	54,5	65,0			

aus Tafel 1 entnehmen: Das Verhältnis Triebkraft T zu Längskraft am Pflugkörper L ist der Faktor α , der anzeigt, welche Vorteile ein völliges oder teilweises Tragen des Pfluges bringt. Aus dem angenommenen Triebkraftbeiwert κ ist die Betriebsachslast der Hinterachse G'_h zu errechnen. Um die Hinterachslast im Stand zu erhalten, muß das Verhältnis $\frac{G'_h}{G_h}$ aus der Tafel 1 für die verschiedenen Fälle entnommen werden. Diese Verhältniszahl zeigt, wie groß die Zusatzbelastung im Falle des einfachen Anbaues mit schwimmendem Kraftheber bei dem mit üblichen Pflugmaßen und den genormten Anlenkpunkten des Dreipunktanbaues erhaltenen Führungspunkt und diejenige bei Einrichtungen zur Achslasterhöhung ist.

Faßt man die genannten Beziehungen zusammen, so ergibt sich die Formel:

$$G_{ges} = \frac{p_L \cdot Q \cdot \alpha}{k \cdot \kappa \cdot \beta}$$

dabei bedeutet:

p_L den spez. Bodenwiderstand (hierin ist nur die auf den Pflugkörper wirkende Längskraft L , nicht aber der durch Anlenkung und Einstellung bedingte Reibungswiderstand an der Schleifsohle und der Anlage oder die Rollreibung am Stützrad enthalten);

Q den Querschnitt der Pflugfurche (er wird durch die landwirtschaftlichen Forderungen bestimmt);

α den Quotient $\frac{T}{L}$, wobei T die Triebkraft an den Hinterrädern und L die auf den Pflugkörper wirkende Längskraft sind (der in T enthaltene Rollwiderstand der Vorderräder R_v ist in allen Fällen mit 15% angenommen);

κ den Quotient $\frac{T}{G'_h}$, den Triebkraftbeiwert;

β den Quotient $\frac{G'_h}{G_h}$, wobei G'_h die Hinterachslast bei der Arbeit und G_h die Hinterachslast im Stand ist;

k das Verhältnis der Hinterachslast im Stand zum Schleppergewicht [es ist üblicherweise im Mittel 0,625, kann unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. bei Geräteträgern) auf 0,7 steigen, so daß die Grenzen für k mit 0,6 bis 0,7 einzusetzen sind].

Faßt man für die zwei Triebkraftbeiwerte $\kappa = 0,4$ und $0,5$ die konstanten Faktoren zusammen, so erhält man für die beiden Fälle FP und ALE je zwei Parameter $\frac{G_{ges}}{L} = \frac{\alpha}{k \cdot \kappa \cdot \beta}$.

Das Verhältnis $G_{ges} : L$ ist für die vier Fälle ($\kappa = 0,4$ und $0,5$ sowie für FP und ALE) jeweils konstant, wie Bild 2 zeigt; zu einem Schleppergewicht G_{ges} gehört also eine bestimmte Längskraft L , die unter den angegebenen Voraussetzungen vom Schlepper überwunden werden kann. Um die Abhängigkeit zwischen dem Gesamtgewicht und dem Querschnitt herzustellen, ist nur noch die Multiplikation mit dem angenommenen spezifischen Bodenwiderstand p_L notwendig. Die Tafel 2 gibt die Werte für $G_{ges} : L$ und $G_{ges} : Q$ an, wobei $G_{ges} : L$ aus dem Bild 2 abgelesen und $G_{ges} : Q$ dann durch Multiplikation mit p_L berechnet wurde.

Daraus läßt sich nun ein Diagramm (Bild 3) zeichnen, das einen Überblick über den Einfluß der verschiedenen Faktoren zuläßt. Auf der Abszisse ist der Furchenquerschnitt aufgetragen, darunter die entsprechende Tiefe und Breite beim einfurchigen und zweifurchigen Pflügen. Für die κ -Werte 0,4; 0,45 und 0,5 sind die durch den Nullpunkt gehenden Geraden bei der freipendelnden (FP) und der zur Achslasterhöhung (ALE) gesteuerten Anlenkung eingezeichnet, von denen aus auf den Ordinaten je nach dem angenommenen spezifischen Bodenwiderstand $p_L = 40; 50; 60$ und 70 kg/dm^2 das erforderliche Schleppergewicht einschließlich Zusatzgewichten abgelesen werden kann. Bei speziellen Erfahrungen über Boden- und Haftbeiwerte kann man in gewissen Grenzen extrapolieren, zum Beispiel auf $p_L = 30 \text{ kg/dm}^2$ (Tafel 3).

Bei Benutzung des Diagramms ist an die Voraussetzungen zu denken, nämlich daß das Pfluggewicht 0,3 der Hinterachslast beträgt und die Hinterachslast 0,625 des Gesamtgewichtes des Schleppers. Wenn das Pfluggewicht im Verhältnis zur Hinterachslast größer ist (in Tafel 1 sind z. B. beim Schlepper mit einem Gesamtgewicht von 1500 kg für einen Pflug mit $0,35 \cdot G_h = 330 \text{ kg}$ die Werte angegeben), kann ein größerer Querschnitt bei gleichem Triebkraftbeiwert κ erreicht, beziehungsweise bei gleichem Gewicht unter ungünstigeren Verhältnissen gearbeitet werden. Es ist aber darauf zu achten, daß nicht durch zu schwere Pflüge

Tafel 2: Relationen zwischen Schleppergewicht, Längskraft, Querschnitt und spezifischem Bodenwiderstand

	κ	$\frac{G_{ges}}{L}$	p_L kg/dm ²	$\frac{G_{ges}}{Q}$ kg/dm ²
<i>FP</i>	0,4	4,45	40	178
			50	223
			60	268
	0,5	3,14	40	126
			50	157
			60	188
<i>ALE</i>	0,4	2,80	40	112
			50	140
			60	168
	0,5	2,34	40	93
			50	117
			60	140
			70	164

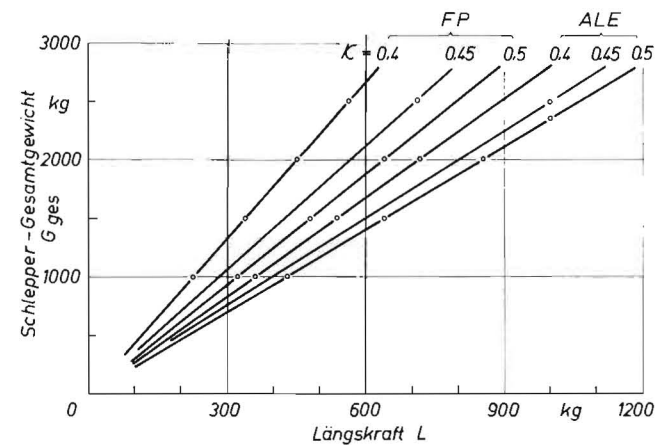


Bild 2: Schleppergesamtgewicht in Abhängigkeit von der Längskraft am Pflugkörper

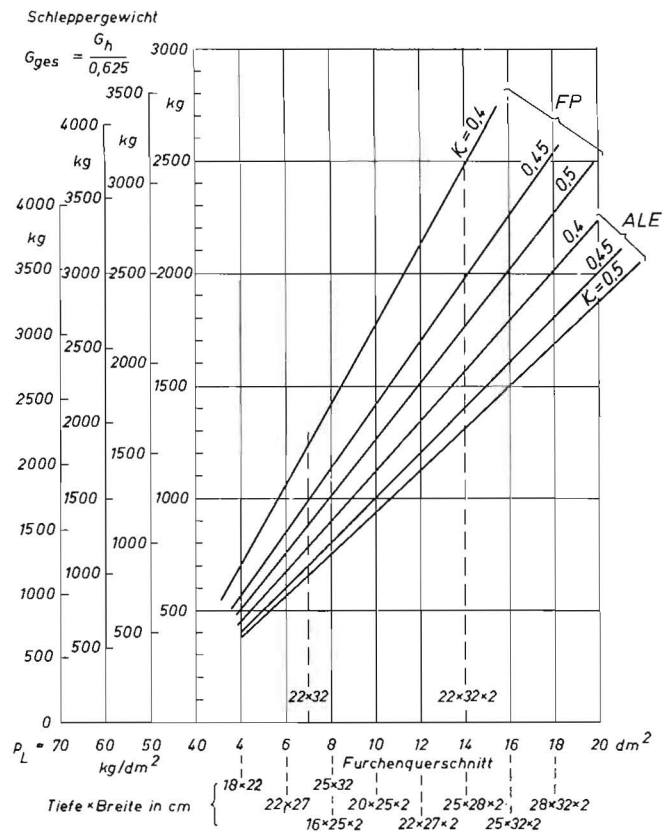


Bild 3: Schleppergesamtgewicht bei verschiedenen Bodenwiderständen in Abhängigkeit vom Furchenquerschnitt

eine unzulässige Entlastung der Vorderachse auftritt. Deshalb sind die mindestzulässigen Vorderachslasten ($G_{v \min} = 0,25 \frac{G_{ges}}{l}$) für die verschiedenen Schleppergewichtsklassen berechnet, die bei der Arbeit nicht unterschritten werden sollten. Das Pfluggewicht kann auch insofern nicht beliebig gesteigert werden, als das zulässige Gesamtgewicht des Schleppers bei der Straßenfahrt mit angebautem Pflug nicht überschritten werden darf.

Bei einer anderen Achslastverteilung als der angenommenen, zum Beispiel $G_h = 0,7 \cdot G_{ges}$ statt $G_h = 0,625 \cdot G_{ges}$, wird das erforderliche Gesamtgewicht kleiner. Aus den Werten der Tafel oder des Diagramms lassen sich die Gewichte proportional umrechnen. Während bei $\alpha = 0,4$, $p = 50 \text{ kg/dm}^2$, freipendelnder (FP) Anordnung und $\frac{G_h}{G_{ges}} = 0,625$ sich ein G_{ges} von 1000 kg ergibt, würde bei dem Verhältnis $\frac{G_h}{G_{ges}} = 0,7$ nur ein Gesamtgewicht von 890 kg notwendig sein. Voraussetzung für eine Erhöhung des Pfluggewichtes ist, daß die Vorderachslast G'_v beim Pflügen noch für die Lenkfähigkeit ausreicht. Im obigen Beispiel beträgt $G'_v = 280 \text{ kg}$ bei $\frac{G_h}{G_{ges}} = 0,625$, $G'_v = 200 \text{ kg}$ bei $\frac{G_h}{G_{ges}} = 0,7$; $G_{v \min}$ liegt bei etwa 150 kg.

Der erforderliche Pflugquerschnitt

Zur Bestimmung des Schleppergewichtes kann man nun von dem erforderlichen Pflugquerschnitt ausgehen: Wenn die Bodenverhältnisse, insbesondere der Untergrund, es zulassen, ist eine Pflugtiefe von 25 cm zu verlangen. Im Durchschnitt liegt die erwünschte Tiefe in Deutschland bei 22 cm, in Belgien, Holland und Frankreich bei 25 cm, in England bei 17 cm und in Italien bei 40 cm. Bei nicht jährlich vorkommenden Meliorationsarbeiten sollte eine Tiefe von 28 bis 30 cm mit Untergrundscharen durchgearbeitet werden [18].

Die Nenngrößen der üblichen Pflugkörper liegen zwischen 18 und 30 cm, dazu sind noch Pflugkörper mit einer größeren Tiefe für Exportzwecke vorhanden. Das Verhältnis Furchenbreite:Tiefe sollte 1,2 bis 1,5 betragen, um ein günstiges Wenden des Bodenbalkens zu erreichen. Daraus ergibt sich ein Querschnitt von 7 dm² für einfurchiges Pflügen, von 14 dm² für zweifurchiges Pflügen. Diese erwünschten Pflugquerschnitte sind in Bild 3 durch gestrichelte, senkrechte Linien besonders gekennzeichnet.

Der Einschlepperbetrieb, der mit seinem Pflug mindestens einfurchig unter allen vorkommenden Verhältnissen zu arbeiten hat, muß die Forderung an ein ausreichendes Schleppergewicht noch schärfer stellen als der Betrieb, der vom zweifurchigen Pflügen ausgeht. Beim Einfurchen-Schlepper kann unter schwierigen Verhältnissen nur noch der Arbeitsquerschnitt bis zur kleinstmöglichen Tiefe und der entsprechenden Breite verringert werden. Bei den größeren Einschlepperbetrieben, die zweifurchig pflügen müssen, kann man notfalls auf das einfurchige Pflügen zurückgehen, aber vom Standpunkt der schweren Vollerntemaschinen, deren Rollwiderstand die Zugfähigkeit der Schlepper ebenfalls

hoch in Anspruch nimmt, und der Kombination von Bodenbearbeitungsgeräten sollte das Gewicht nicht zu niedrig gewählt werden. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt Tafel 3.

Bei dem Entwurf eines Schleppers, der einen weiten Anwendungsbereich haben soll, dessen Gewicht wegen der Beeinflussung des Bodens möglichst niedrig liegen und der einen geringen Anschaffungspreis haben soll, kann man die extremen Werte unberücksichtigt lassen und von einem Triebkraftbeiwert $\alpha = 0,45$ bis 0,5 und einen spezifischen Bodenwiderstand von höchstens $p_L = 60 \text{ kg/dm}^2$ ausgehen. Man erhält bei einem Furchenquerschnitt von 7 dm² für den Einfurchen-Schlepper ein Gesamtgewicht von 1000 bis 1050 kg und bei 14 dm² für den Zweifurchen-Schlepper ein Gesamtgewicht von 2000 bis 2100 kg. Das Gesamtgewicht enthält alle am Schlepper gewöhnlich verbleibenden Ausrüstungsteile, die möglichen Zusatzgewichte und das Fahrergewicht.

Die ermittelten Gewichte erscheinen zunächst recht hoch, doch ist zu bedenken, daß einerseits die Verhältnisse auf dem Acker häufig noch ungünstiger sind als hier angenommen, daß andererseits in der Praxis oft nicht tief genug oder mit zu hohem Schlupf gepflügt wird. So kann zum Beispiel der Triebkraftbeiwert bei schmierigem Boden kleiner sein ($\alpha = 0,4$ und weniger) und das Verhältnis T/L infolge ungünstiger Einstellung größer. Bei zu geringer Pflugtiefe wird die für das Pflanzenwachstum notwendige Krume nicht voll erfaßt. Bei zu hohem Schlupf wird der Boden ungünstig beeinflusst.

In den gewählten Werten für Pflugquerschnitt und Bodenwiderstand ist bei entsprechenden Verhältnissen eine Reserve für den gleichzeitigen Zug der erforderlichen Nachbearbeitungsgeräte enthalten. Bei den Beststellungs- und Pflegearbeiten kann der Schlepper ohne Zusatzgewichte arbeiten.

Das Ergebnis der Untersuchung kann damit als eine Erläuterung zum KTL-Schlepperbauprogramm [19] betrachtet werden, in dem ein Schlepper mit einem Gewicht von 1200 bis 1400 kg, zuzüglich einem Ballast von 300 kg, für das zweifurchige Pflügen unterstellt wird. Dieses Gewicht dürfte wohl nur bei günstigem Haftbeiwert und geringerem Bodenwiderstand — auch bei der Verwendung von Mitteln zur Achslasterhöhung — ausreichen.

Zusammenfassung

Der mögliche Pflugquerschnitt bei Anbaupflügen wird in Abhängigkeit vom Schleppergewicht nach einem Verfahren errechnet, das auf der Feststellung des Verhältnisses Schleppergesamtgewicht zu Längskraft am Pflugkörper bei freipendelnden und getragenen Pflügen, bei verschiedenen Triebkraftbeiwerten und Bodenwiderständen beruht. Nach einer Diskussion der verschiedenen Einflußfaktoren werden umgekehrt die notwendigen Gewichte für den Ein- und Zweifurchen-Schlepper anhand eines Diagramms bestimmt. Diese Ergebnisse führen zu dem Schluß, daß das Schleppergewicht nicht zu niedrig gewählt werden darf, da sonst die ackerbaulichen Forderungen nicht erfüllt werden können.

Schrifttum

- [1] MEYER, H., u. H. H. COENENBERG: Welche Stufung der Fahrgeschwindigkeiten sollte der Schlepper haben? Landtechnik 14 (1959), S. 710—713
- [2] KLIEFOTH, F.: Zugkraft, Fahrgeschwindigkeit und Gewicht des Schleppers. Landtechnische Forschung 3 (1953), S. 117—124
- [3] BOCK, G.: Feldversuche über die Zugfähigkeit von Ackerschlepperreifen. In: 10. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1952. S. 88—100 (Grundlagen der Landtechnik Heft 3)
- [4] BOCK, G.: Beobachtungen bei Feldversuchen über die Zugfähigkeit von Schleppern. In: 11. Konstrukteurheft (2. Teil) Düsseldorf: VDI-Verlag 1953. S. 42—48 (Grundlagen der Landtechnik Heft 5)
- [5] LANGE, H.: Über die Zugfähigkeit von Reifen gleichen Durchmessers. Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 103—105
- [6] SONNEN, F. J.: Einfluß der Profilierung von AS-Reifen auf die Zugfähigkeit. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 92—95 und unveröffentlichte Ergebnisse
- [7] ROGERS, J. C., u. G. M. JOHNSTEN: Measuring the forces in tractor linkage. Agricultural Engineering 34 (1953), S. 542—544
- [8] ROGERS, O. J. J., u. I. C. HAWKINS: Soil loads on plough bodies. Techn. Mem. 1955 No 105, NIAE, Sisco
- [9] THIEL, R.: Zugkraftmesser am Dreipunktanbau des Ackerschleppers mittels elektrischer Meßmethoden. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 132—134
- [10] SKALWEIT, H.: Messungen des Zugwiderstandes von Dreipunktanbaugeräten. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 108 (Mcßergebnisse noch nicht veröffentlicht)
- [11] ADAMS, R.: Der Leistungsanspruch von Landmaschinen und Forderungen an die Schlepper für die Arbeit mit Maschinensystemen. In: Vorträge der Wissenschaftlichen Jahrestagung 1958 des Instituts für Landtechnik Potsdam-Bornim. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin 1959. S. 25—44
- [12] BJERNINGER, S.: Pähängsplog — Pähängsdjup — Slirning. Ultuna 1956, Meddelande nr 266

Tafel 3: Die erforderlichen Schleppergewichte bei Dreipunkt-Anbaupflügen *)

α	p_L kg/dm ²	einfurchig		zweifurchig	
		FP kg	ALE kg	FP kg	ALE kg
0,5	70	1550	1175	3100	2350
	60	1300	1000	2600	2000
0,45	60	1450	1050	2900	2100
	50	1225	875	2450	1750
0,4	40	975	700	1950	1400
	30	725	525	1450	1050
	60	1820	1150	3640	2300
	50	1550	980	3100	1960
	40	1250	785	2500	1570
	30	910	575	1820	1150

*) Schleppergewichte einschließlich Ausrüstung, Zusatzgewichten und Fahrer; Pfluggewicht 18—20% des Schleppergewichtes; Furchenquerschnitt je Schar 7 dm² = 22 × 32 oder 25 × 28 cm.

- [11] GETZLAFF, G.: Vergleichende Untersuchungen über Kräfte an Normpflugkörpern. In: 11. Konstrukteurheft, Düsseldorf: VDI-Verlag 1953, S. 16—35 (dort weiteres Schrifttum) (Grundlagen der Landtechnik Heft 5)
- [12] SÖHNKE, W.: Pflugkörper für erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit. In: 15. Konstrukteurheft, Düsseldorf: VDI-Verlag 1960, S. 14—22 (Grundlagen der Landtechnik Heft 11)
- SINEKOFF, G.: Nutz- und Verlustwiderstände am Pflug. Traktory i selchosmaschiny 2 (1959) Nr. 8, S. 14—17
- [13] GRABENHORST, D.: Zur Darstellung von Meßergebnissen, die von zwei Veränderlichen abhängen. Landtechnische Forschung 9 (1959), S. 25—26
- [14] SKALWEIT, H.: Einfluß der Pflugkräfte auf Schlepper mit Dreipunktaufhängung. Landtechnische Forschung 5 (1955), S. 1—6 (siehe dort weiteres Schrifttum)
- [15] HAIN, K., u. H. SKALWEIT: Dreipunktbau: Kompromiß zwischen Zugfähigkeit des Schleppers und Tiefenhaltung des Pfluges. Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 127—132
- [16] SKALWEIT, H.: Anbau-Scharpflüge für Schlepper. In: Das Gelbe Schlepperbuch 1957/58. Verlag „technie“ Wiesbaden 1958, S. 795—819
- [17] SKALWEIT, H.: Wechselwirkungen zwischen Pflug und Schlepper. Landtechnik 14 (1959), S. 20—23
- [18] FEUERLEIN, W.: Mündliche Mitteilung über übliche und erwünschte Pflügetiefen
- [19] FRANKE, R.: Ein Schlepperbauprogramm. Landtechnische Forschung 9 (1959), S. 57—62

Résumé

Helmut Skalweit: "The Relationship between Tractor Weight and Plough Furrows."

Possible cross-sections for ploughshares for ploughs attached to tractors are calculated with reference to tractor weights by means of a special method. This method depends on the determination of the relationship between the total working weight of the tractor and the longitudinal forces at the plough when the latter swings freely and when it is carried. Variations in tractive forces and soil conditions are also taken into consideration. A discussion of the various factors involved is followed by a determination of the weights required for single and double shared ploughs. This operation is performed by

the aid of a special chart. The results obtained lead to the conclusion that the weight of the tractor must not be kept too low, otherwise all demands made thereon cannot be met.

Helmut Skalweit: «Les rapports entre le poids du tracteur et la section de labour.

La section possible de labour des charrues portées dépend du poids du tracteur et est déterminée à l'aide d'une méthode basée sur la détermination du rapport poids total du tracteur/force longitudinale s'exerçant au corps des charrues flottantes ou portées au différents coefficients de traction et résistances du sol. Après avoir mentionné les différents facteurs d'influence, l'auteur détermine à l'aide d'un diagramme le poids nécessaire d'un tracteur à un et à deux corps de charrue. Les résultats montrent que le poids du tracteur ne doit pas être trop bas, car dans ce cas, le tracteur ne peut satisfaire aux exigences de l'agriculture.

Helmut Skalweit: «Relaciones entre el peso del tractor y el surco abierto por el arado.»

Se calcula la sección transversal admisible de arados de remolque en dependencia del peso del tractor, siguiendo un procedimiento basado en la relación que existe entre el peso total del tractor y el esfuerzo longitudinal en el cuerpo del arado, tratándose de arados de suspensión libre y de arados de enganche apoyado, con coeficiente del esfuerzo de tracción y de resistencias del terreno diferentes. Discutidos los diferentes factores que ejercen influencia, se establecen, a la inversa, los pesos necesarios del arado monosurco y del de dos surcos, con la ayuda de un diagrama. Los resultados conseguidos llevan a la conclusión de que el peso del tractor no debe ser demasiado reducido, puesto que así no sería posible cumplir las exigencias de la práctica agrícola.

Landtechnische Dissertationen

In den Heften 4/1955, 1/1957 und 5/1958 der „Landtechnischen Forschung“ wurden die neuen landtechnischen Dissertationen veröffentlicht. Wir setzen diese Reihe mit den in der Zwischenzeit abgeschlossenen Arbeiten fort:

Universität Bonn

- Hövelkamp, Alois: Untersuchungen über die Heubelüftung zur Ermittlung der Gesamtverluste und des Futterwertes von belüftetem Heu (1958)
Berichter: Prof. Havermann, Prof. Dencker
- Huber, Günther: Die Auswirkungen der Mechanisierung auf Kapital- und Arbeitskräftebesatz, Kosten der Arbeitserledigung und Betriebserfolge in landwirtschaftlichen Betrieben Nordrhein (1959)
Berichter: Prof. Böker, Prof. Dencker

- Lampe, Klaus: Entwicklung und Erprobung einer Methode zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit von Kartoffelknollen gegen Beschädigungen (1958)
Berichter: Prof. Dencker, Prof. Klapp

- Richarz, Werner: Aufbereitetes Zuckerrübensaatgut in Deutschland und in den USA (1959)
Berichter: Prof. Dencker, Prof. Klapp

- Stiemerling, Karsten: Der sowjetische Zuckerrübenbau und seine Mechanisierung (1959)
Berichter: Prof. Dencker, Prof. Klapp

- Treutler, Hans-Joachim: Werbung und Werbewirkung im Landmaschinenabsatz (1959)
Berichter: Dr. Gerl, Prof. Dencker

Universität Gießen

- Vorwerck, Karl Dieter: Experimentelle Untersuchung des Gebläseteiles einer landwirtschaftlichen Hof-Mehrzweckmaschine (1959)
Berichter: Prof. Stöckmann, Prof. Weber

Universität Göttingen

- v. d. Heyde, Heinrich: Die technischen und technologischen Probleme des Rübensamendrusches (1959)
Berichter: Prof. Gallwitz, Prof. Scheibe
- Kunze, Fritz: Untersuchungen über die Herstellung von Eiskristallen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimentation zu pflanzenschützenden Schneedecken (1959)
Berichter: Prof. Gallwitz, Dr. Kleinschmidt

Universität Kiel

- Schulte, Gerhard: Die Wirtschaftlichkeit der Landmaschinen im Kreise Borken (1959)
Berichter: Prof. Blohm, Prof. König
- Voß, Winfried: Umfang und Struktur der überbetrieblichen Maschinennutzung in Schleswig-Holstein (1959)
Berichter: Prof. König, Prof. Blohm

TH München

- Lührs, Hermann: Wirkungsgraduntersuchungen an Ackerschleppertreibradreifen, ihre Bedeutung für den Schlepperkonstrukteur (1958)
Berichter: Prof. v. Sybel, Prof. Endres, Prof. Brenner
- Neumann, Heinrich: Der Wirtschaftserfolg bäuerlicher Familienbetriebe in Abhängigkeit von ihrer Arbeitswirtschaft und Mechanisierung (1959).
Berichter: Prof. Rintelen, Prof. Brenner
- Wimmer, Ferdinand: Untersuchung über die Bodenaufschließung durch Fräsen mit starren Winkelmessern und gefederten Spitzhacken (1957)
Berichter: Prof. v. Sybel, Prof. Brenner