

Rechnerisch-grafisches Verfahren zur Ermittlung der räumlichen Kräfte zwischen Dreipunktanbau-Pflügen und Schleppern mit schwimmendem oder regelndem Kraftheber

(Bericht über eine Veröffentlichung von J. KUCZEWSKI [1])

Die Kenntnis der Kräfte zwischen Schlepper und Pflug bildet die Voraussetzung für die Bewertung von Anlenkungen oder Regelsystemen. Deshalb sind alle Bemühungen zur Feststellung dieser Kräfte oder zum Vergleich verschiedener Anbausysteme zu begrüßen. Die Folgerungen, die in solchen Arbeiten gezogen werden, helfen mit, die allgemeinen Erkenntnisse zu ergänzen, die zur Zeit noch recht spärlich über den Komplex des regelnden Krafthebers vorhanden sind. KUCZEWSKI versucht, sowohl von der praktischen Seite der Beobachtung beim Pflügen und den Meßmöglichkeiten [2] als auch über rechnerisch-grafische Verfahren den Dingen auf den Grund zu gehen. Bei dieser rechnerisch-grafischen Methode können die Kräfte in allen drei Ebenen ohne Vereinfachung oder Voraussetzungen ermittelt werden; sie wird im folgenden auszugsweise wiedergegeben:

KUCZEWSKI unterscheidet [3] „freie Systeme“, bei denen der Gang des Pfluges durch den Kraftheber nicht beeinflusst wird („schwimmender Kraftheber“), und „gebundene Systeme“, bei denen der Kraftheber mehr oder weniger auf den Pflug einwirkt („regelnde Kraftheber“). Für die am Pflug wirkenden Kräfte werden sechs Gleichgewichtsbedingungen aufgestellt, zu denen für die „freien Systeme“ noch eine siebente hinzukommt. Außer den bekannten Kräften, nämlich dem Pfluggewicht und der angenommenen auf den Pflugkörper wirkenden Kraft, lassen sich Längen und Größen aus den Zeichnungen in den drei Ebenen (Bilder 1...3) messen beziehungsweise berechnen. Die Bodenkraft R wird dabei in ihrer Lage in jedem Riß besonders festgelegt, nicht wie bei den meisten deutschen Arbeiten als Resultierende mit einem Moment [4].

Die Gleichungen lauten:

$$\begin{aligned} \Sigma X &= R_x + A \cdot \sin \mu_A + S \cdot \sin \mu_S + O'' \cdot \cos \beta'' - U_1'' \cdot \cos \gamma'' - U_2'' \cdot \cos \delta'' - K_1'' \cdot \cos \eta'' - K_2'' \cdot \cos \theta'' = 0 \\ \Sigma Y &= -R_x \cdot \operatorname{tg} \alpha'' - G_p + S \cdot \cos \mu_S + O'' \cdot \sin \beta'' + U_1'' \cdot \sin \gamma'' + U_2'' \cdot \sin \delta'' + K_1'' \cdot \sin \eta'' + K_2'' \cdot \sin \theta'' = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Z &= R_x \cdot \operatorname{tg} \alpha' - A \cdot \cos \mu_A + O'' \cdot \cos \beta'' \cdot \operatorname{tg} \beta' - U_1'' \cdot \cos \gamma'' \cdot \operatorname{tg} \gamma' + U_2'' \cdot \cos \delta'' \cdot \operatorname{tg} \delta' - K_1'' \cdot \cos \eta'' \cdot \operatorname{tg} \eta' - K_2'' \cdot \cos \theta'' \cdot \operatorname{tg} \theta' = 0 \\ \Sigma M_{Axy} &= -\frac{R_x \cdot r''}{\cos \alpha''} + G_p \cdot g'' - A \cdot \sin \mu_A \cdot k'' - S \cdot s'' + U_1'' \cdot e'' + U_2'' \cdot f'' + K_1'' \cdot m'' + K_2'' \cdot n'' = 0 \\ \Sigma M_{Azz} &= \frac{R_x \cdot r''}{\cos \alpha'} - A \cdot k - S \cdot \sin \mu_S \cdot s' + U_1'' \cdot \frac{\cos \gamma''}{\cos \gamma'} \times e' - U_2'' \cdot \frac{\cos \delta''}{\cos \delta'} \cdot f' + K_1'' \cdot \frac{\cos \eta''}{\cos \eta'} \cdot m' - K_2'' \times \frac{\cos \theta''}{\cos \theta'} \cdot n' = 0 \\ \Sigma M_{Ayz} &= R_x \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha''}{\sin \alpha''} \cdot r''' + G_p \cdot g''' - A \cdot \cos \mu_A \cdot k''' + S \cdot \cos \mu_S \cdot s''' - U_1'' \cdot \frac{\sin \gamma''}{\sin \gamma'''} \cdot e''' + U_2'' \cdot \frac{\sin \delta''}{\sin \delta'''} \times f''' + K_1'' \cdot \frac{\sin \eta''}{\sin \eta'''} \cdot m''' - K_2'' \cdot \frac{\sin \theta''}{\sin \theta'''} \cdot n''' = 0 \\ K_1'' \cdot \frac{\sin \eta'' \cdot \cos \varrho_1}{\sin \eta'' \cdot \cos (\varrho_1 + \omega)} &= -K_2'' \cdot \frac{\sin \theta'' \cdot \cos \varrho_2}{\sin \theta'' \cdot \cos (\varrho_2 + \omega)} \end{aligned}$$

Die Bezeichnungen der Kräfte und Längen sind aus den Bildern 1...3 zu entnehmen, auf denen ein Beetpflug am Dreipunktanbau dargestellt ist. Die Kräfte an den unteren Kupplungspunkten sind in Richtung der unteren Lenker und parallel zu den Hubstangen aufgeteilt. Die letzte Gleichung gibt die Beziehung zwischen den Hubstangenkräften beim „freien System“.

Bei der den Bildern zugrunde gelegten Lenker- und Pflugauführung ergeben sich bei einer Widerstandskraft R_x von ~ 750 kp und einem Gewicht des Beetpfluges G_p von 220 kp bei gleicher Lage der Bodenkraft am Pflugkörper für den schwimmenden Kraftheber mit Schleifsohle oder mit Stützrad und für den regelnden ohne Stützrad die in Tafel 1 zusammengestellten Werte.

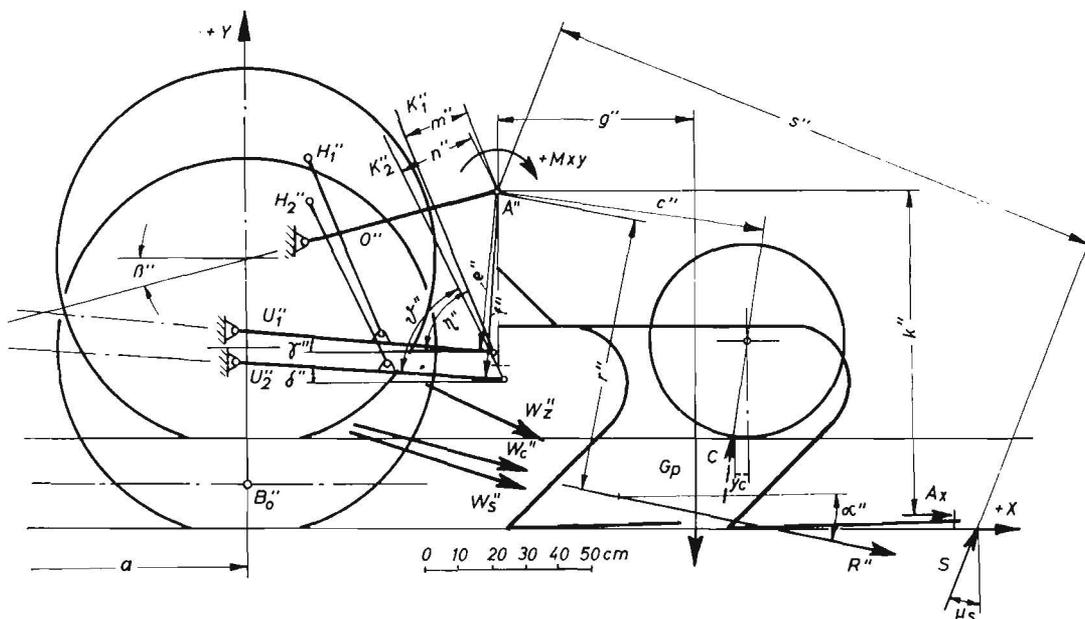


Bild 1: Kräfte zwischen Schlepper und Pflug bei verschiedenen Regelungsarten — Aufrißebene
 W_S = frei pendelnd, Abstützung auf Schleifsohle; W_C = frei pendelnd, Abstützung auf Rolle; W_Z = geregelt, ohne Stützkkräfte am Pflug

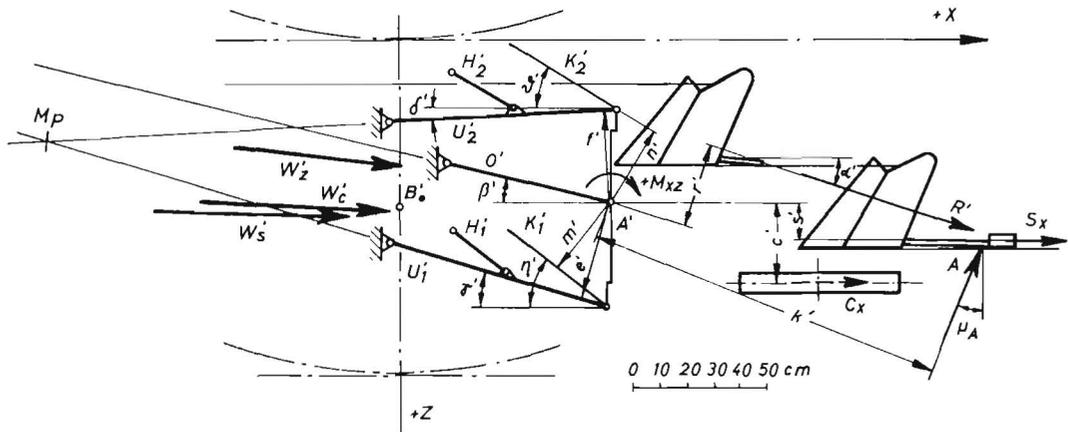


Bild 2 (oben): Kräfte zwischen Schlepper und Pflug bei verschiedenen Regelungsarten — Grundrißebene

W_s = frei pendelnd, Abstützung auf Schleifsohle,
 W_c = frei pendelnd, Abstützung auf Rolle;
 W_z = geregelt, ohne Stützkkräfte am Pflug

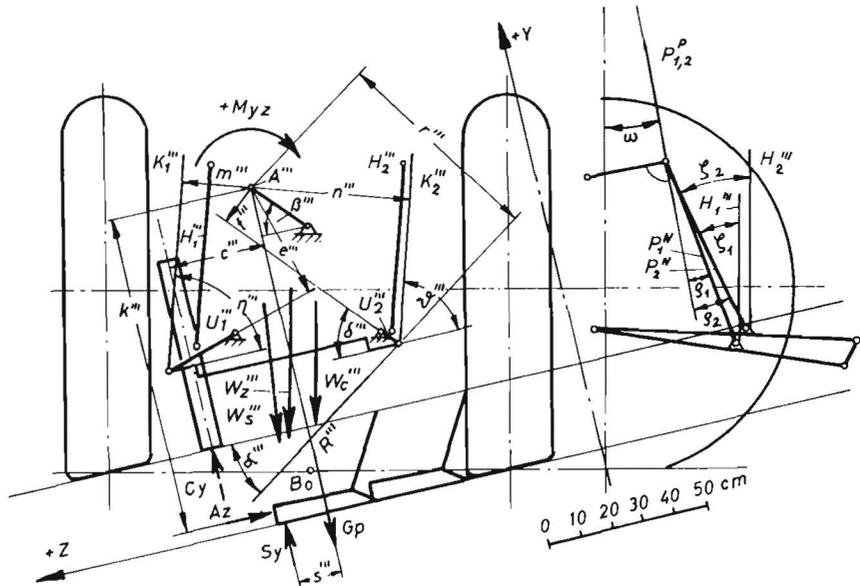


Bild 3 (rechts): Kräfte zwischen Schlepper und Pflug bei verschiedenen Regelungsarten — Seitenrißebene (Heckansicht des Schleppers), daneben Skizze zur Ermittlung von H bzw. K

W_s = frei pendelnd, Abstützung auf Schleifsohle;
 W_c = frei pendelnd, Abstützung auf Rolle;
 W_z = geregelt, ohne Stützkkräfte am Pflug

Dazu weist KUCZEWSKI darauf hin, daß durch Änderung der Bodenwiderstandskraft $R_x (= L$ in deutschen Veröffentlichungen) auf 500 kp und G_p auf 260 kp (also schwererer Pflug) Zug im oberen Lenker auftritt und in dem einen unteren Lenker eine Druckkraft. Es ergeben sich bei dieser Rechnung $U_2'' = 264$ kp; $U_1'' = -77$ kp; $O'' = -135$ kp; $A = 13$ kp.

Die Anlagekraft wird bei dem gebundenen System infolge der hier gewählten Anordnung kleiner als beim freien und damit auch die Reibung geringer, was sich im Zugwiderstand auswirkt, aber dazu führen muß, daß die Schleppervorderräder gegenüber dem herumziehenden Moment stärker eingeschlagen werden müssen. Die Kräfte, die auf den Schlepper wirken, sind in Tafel 2 aufgeführt.

Der Gesamtwiderstand des Pfluges ist beim freien System um 8% größer bei Abstützung nur auf der Schleifsohle, um 5% bei Verwendung des Stützrades; im allgemeinen werden jedoch von beiden Abstützungen Kräfte aufgenommen werden, so daß eine Kraft zwischen beiden anzunehmen ist.

Die zusätzliche Belastung der Triebräder beträgt beim „freien System“ mit Schleifsohle rund 63% und mit Stützrad rund 56% der Belastung beim „gebundenen System“.

Die Zusatzlast auf dem linken (das heißt dem auf dem „Ungepflügten“ fahrenden) Rad ist beim gebundenen System am höchsten, weil die Gesamtzusatzlast sehr hoch ist. Beim freien System wird sie größer bei Abstützung auf der Schleifsohle als auf dem Stützrad, wie bereits bekannt [5].

Tafel 1: Ergebnisse der Rechnung (Kräfte in kp)

Anbauart	U_1''	U_2''	O''	K_1''	K_2''	A	S	C
„frei“ mit Schleifsohle	727	759	622	122	-124	226	112	—
„frei“ mit Stützrad	663	676	501	49	-50	212	—	150
„gebunden“	377	575	252	175	93	159	—	—

Tafel 2: Errechnete Kräfte am Pflug und Schlepper (Kräfte in kp)

Anbauart	Bodenwiderstand	Reibungswiderstand der Stützkkräfte		Gesamter Zugwiderstand	Senkr. Komponente	Entlastung der Vorderachse	Zusatzlast gesamt	Zusatzlast auf linkem Trieb-rad
	R_x	A_x	S_x	W_L	W_s	ΔG_V	ΔG_H	ΔG_{HL}
„frei“ mit Schleifsohle	750	85	42	877	276	120	396	207
„frei“ mit Stützrad	750	80	22	852	232	122	354	163
„gebunden“	750	59	—	809	380	246	626	310

Die Ergebnisse wurden von KUCZEWSKI mit grafischen Methoden nachgeprüft und zeigten nur geringe Abweichungen gegenüber der durchgeführten rechnerisch-grafischen Methode.

Interessant ist besonders eine Folgerung, die KUCZEWSKI am Schluß der Arbeit zieht und die für die Beurteilung von Regelsystemen von Wichtigkeit ist:

„Beim Übergang vom freien zum gebundenen System, das heißt von den höchsten Werten der senkrechten Reaktion der Schleifsohle oder des Stützrades zu dem Nullwert dieser Reaktion (Pflug getragen), bei gleichen Bodenverhältnissen und gleicher Tiefe, ändert sich die Kraft im oberen Lenker wesentlich. Bei den gebundenen Systemen kann sie sowohl eine Druck- als auch eine Zugkraft sein beziehungsweise in bestimmten Fällen auch wechseln. Daraus geht hervor, daß die tatsächliche Größe der Kraft im oberen Lenker in beträchtlichem Maße von dem jeweiligen Wert der teilweisen Reaktion der senkrechten Stützkräfte abhängig sein wird, die bei der Fahrt auf Unebenheiten des Feldes entstehen. Dies kann die Empfindlichkeit des Systems und die Güte

der geforderten Pflugtiefe beeinflussen.“ Diese Ausführungen stimmen mit unseren Erfahrungen durchaus überein [6], soweit es sich um starre Stützflächen handelt.

Schrifttum

- [1] KUCZEWSKI, J.: Niektóre spostrzeżenia z pracy pługów i analizy układu trzypunktowego przy związonym i swobodnym systemie zawieszania. (Einige Beobachtungen bei der Pflugarbeit und Analysen des Dreipunktsystems bei gebundenem und freiem Anbausystem). *Maszyny Rolnicze* 9 (1962), S. 58—63
- [2] KUCZEWSKI, J.: Pomiar sił działających na ciągnik przy trójpunktowym zawieszaniu narzędzi. (Messung von Kräften in den Lenkern des Dreipunktanbaues). *Maszyny Rolnicze* 8 (1961), S. 86—91
- [3] KUCZEWSKI, J.: Próba systematyki trzypunktowych układów zawieszania narzędzi na ciągniku. (Versuch einer Systematik von Anlenk- und Regelsystemen an Schleppern mit Dreipunktanbaugeräten). *Maszyny Rolnicze* 6 (1959), S. 117—128
- [4] GETZLAFF, G.: Kräfte beim Pflügen von steinigem Acker. In: 11. Konstrukteurheft, VDI-Verlag, Düsseldorf 1953. (Grundlagen der Landtechnik, H. 5), S. 7—13
- [5] SKALWEIT, H.: Einfluß der Pflugkräfte auf Schlepper mit Dreipunktaufhängung. *Landtechnische Forschung* 5 (1955), S. 6—11
- [6] SKALWEIT, H.: Bestimmung der Kräfte an Schlepper und Pflug bei regelndem Kraftheber. *Landtechnische Forschung* 12 (1962), S. 53—60

Helmut Skalweit

Leistungsaufnahme an der Zapfwelle beziehungsweise der Antriebsriemenscheibe von Feld- und Standhäckslern

Die Messung der Antriebsleistung wurde im Rahmen verschiedener Untersuchungen durchgeführt. Es war daher nicht möglich, mit allen Maschinen die gleichen Versuchsreihen einzuhalten. Es kommt hinzu, daß zwischen einzelnen Versuchen ein Zeitunterschied von einigen Jahren besteht.

Für die Versuche standen ein Scheibenrad-Standhäcksler, ein Scheibenrad-Feldhäcksler mit Aufsammlertrommel und drei verschiedenen Typen von Schlegel-Feldhäckslern zur Verfügung.

Bei den Feldhäckslern wurde mit einem am Zapfwellenstummel des Schleppers aufgebauten Drehmomentenschreiber das Zapfwellendrehmoment gemessen. Die Zapfwellendrehzahl konnte mit einem am Schlepper montierten Drehzahlmesser kontrolliert und konstant auf 540 U/min gehalten werden. Aus dem Meßschrieb wurden beim Auswerten das mittlere Drehmoment und die Spitzenwerte ermittelt. Dabei wurde die gesamte Länge des Meßschriebes in Teilstücke zerlegt, deren Länge einer Arbeitszeit von etwa 5 s entsprachen.

Der Scheibenrad-Standhäcksler wurde von dem angebauten Elektromotor angetrieben. Die vom Antriebsmotor aufgenommene elektrische Energie wurde mit einem kWh-Zähler bestimmt. Es war dadurch nur möglich, die mittlere Leistungsaufnahme des Antriebsmotors zu berechnen. Spitzenwerte oder kurzzeitige Schwankungen in der Antriebsleistung konnten daher nicht festgestellt werden.

Der Wirkungsgrad der Gelenkwelle bei den Feldhäckslern bzw. des Elektromotors beim Standhäcksler wurde bei der Ausarbeitung nicht berücksichtigt.

Tafel 1: Leistungsaufnahme eines Standhäckslers bei verschiedenen Erntegütern

Leerlaufleistung $N_{lcr} = 4,0$ PS

Häckselgut	Häcksel-länge [mm]	Häckselleistung je Sekunde q [kp/s]	Antriebs- leistung N_{mat} [PS]
Stroh	76	0,361	5,75
	76	0,417	6,10
	76	0,584	8,50
	76	0,598	7,75
	76	0,612	7,20
	76	0,860	9,45
	76	0,875	8,60
	132	0,763	8,70
	132	0,820	8,00
Heu	76	0,625	7,80
	76	0,975	9,45
Silomais	9	1,13	7,60
	9	1,36	7,90
	15	1,17	7,10
	15	1,39	7,20
Klee	9	1,20	7,90
	9	1,46	8,45
	15	0,765	6,80
Klee und Silomais	9	0,972	7,60
	9	1,32	8,30

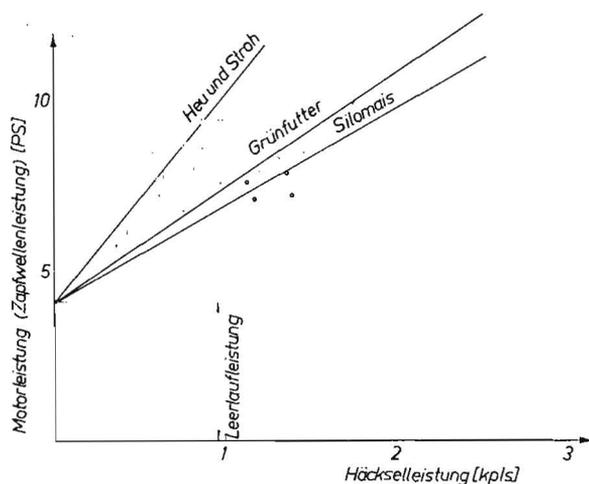


Bild 1: Leistungsaufnahme von Scheibenrad-Standhäcksler und Scheibenrad-Feldhäcksler bei verschiedenen Erntegütern

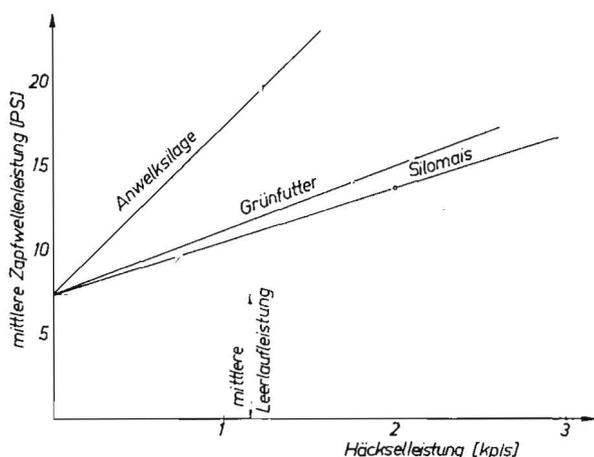


Bild 2: Zapfwellenleistung von Schlegel-Feldhäckslern bei verschiedenen Erntegütern