

Beziehung zwischen Traktorgewicht und Zugleistung in Verbindung mit der hydraulisch gesteuerten Aufhängevorrichtung für die Geräte

1 Traktor mit einer Triebachse und Pflugerät kopplung durch eine Dreipunkt-Aufhängevorrichtung

1.1 Traktorabmessungen und Gewichte

Nachfolgend sollen für eine bestimmte Traktorgröße nach Bild 1 und 2 die Anordnung der Dreipunktanlage von der Aufhängevorrichtung, das betriebsfertige Gewicht und die Schwerpunktlage mit Fahrer festgelegt werden.

Triebräder 2,

Größe 8-36 AS Ackerschlepperreifen T 4 für Breitfelgen,

Konstruktionsradius	$r_2 = r_{\text{konst}} = 660 \pm 5 \text{ mm}$,
statischer Radius ¹⁾	$r'_2 = r_{\text{stat}} = 605 \pm 5 \text{ mm}$,
dynamischer Radius ²⁾	$r''_2 = r_{\text{dyn}} = 615 \pm 5 \text{ mm}$,
Reifenbreite	$b_2 = 203 \pm 6 \text{ mm}$.

Lenkräder 2,

Größe 5,10-16 AS Ackerschlepperfrontreifen T 6 bis T 10,

Konstruktionsradius	$r_1 = r_{\text{konst}} = 347,5 \pm 3 \text{ mm}$,
statischer Radius ¹⁾	$r'_1 = r_{\text{stat}} = 323 \pm 3 \text{ mm}$,
dynamischer Radius ²⁾	$r''_1 = r_{\text{dyn}} = 326 \pm 3 \text{ mm}$,
Reifenbreite	$b_1 = 147 \pm 4 \text{ mm}$.

Radstand $x_2 = 1700 \text{ mm}$,

Radspur $a_1 = 1330 \pm 170 \text{ mm}$,

$a_2 = 1250 \pm 300 \text{ mm}$,

Schwerpunktlage $x_1 = 602 \text{ mm}$,

Sitzlage $x_3 = 340 \text{ mm}$,

$y_3 = 1200 \text{ mm}$,

$a_3 = 105 \text{ mm}$,

Unterlenker, 2 Stück $x_5 = 825 \text{ mm}$,

$y_2 = 470 \text{ mm}$,

$a_5 = 718 \text{ mm}$ (DIN 9674),

Oberlenker, 1 Stück $x_6 = 560 \text{ mm}$,

$y_1 = 560 \text{ mm}$,

$x_4 = 300 \text{ mm}$,

Anhängeschiene $x_7 = 490 \text{ mm}$,

$y_4 = 375 \text{ mm}$,

$a_4 = 100 \text{ mm}$,

Traktorgewicht, betriebsfertig $G_1 = 1585 \text{ kg}$,

Fahrgewicht $G_2 = 80 \text{ kg}$,

Auflagedruck, hinten $G_H = 1120 \text{ kg}$,

Auflagedruck, vorne $G_V = 545 \text{ kg}$.

1.2 Laufwiderstand

Das Moment der rollenden Reibung

$$M = N \cdot f \quad [\text{cmkg}] \quad (1)$$

wirkt der Drehung entgegengesetzt.

N ist gleich der auf die Achse wirkenden Vertikallast in kg,

f ist der Arm der rollenden Reibung in cm.

Sein Zustandekommen hat man sich so vorzustellen, daß beim Eindrücken des Rades in die Unterlage das Material wegen seiner unvollkommenen Elastizität hinter dem Rade die Formänderung nicht vollständig in derselben Weise rückgängig macht wie sie vorn entsteht, die Kräfte also nicht symmetrisch wirken und daher ein Drehmoment ergeben. Durch die ungleiche Längenänderung von Boden und Rad entsteht außerdem ein teilweises Gleiten, ein Schlüpfen des Rades. Im Bild 3 ist die Schlupfwertgröße graphisch dargestellt. Sind Rad und Boden elastisch, so werden beide elastisch zusammen-

gedrückt. Je kleiner die bleibenden Formänderungen ausfallen, desto kleiner wird f .

Die Größe des Laufwiderstandes bzw. die Länge des Armes der rollenden Reibung ist noch von anderen Faktoren abhängig, und zwar von der Unebenheit der Fahrbahn, der Stoßwirkung, der Schwingung und der Geschwindigkeit des Fahrzeuges, dem Luftwiderstand, dem Lagerreibungswiderstand, dem Raddurchmesser, der Radbelastung und dem Luftdruck im Gummiluftreifen. Die f -Werte für gummiluftbereifte Räder haben nur ihre Gültigkeit, wenn entsprechend der schlechteren Fahrbahn auch der Luftdruck vermindert wird, bei Nr. 8 z. B. $p = 0,5 \text{ atü}$.

Die Abhängigkeit der Länge des Reibungsarms f von der Geschwindigkeit dürfte darin zu suchen sein, daß die elastische Rückverformung auf der Ablaufseite mit wachsender Geschwindigkeit weniger zur Geltung kommt. Der Einfluß der Geschwindigkeit von 0,75 bis 3,00 m/s bei landwirtschaftlichen

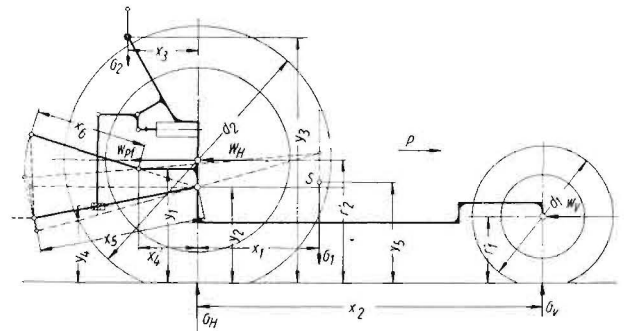


Bild 1. Traktor, Seitenansicht

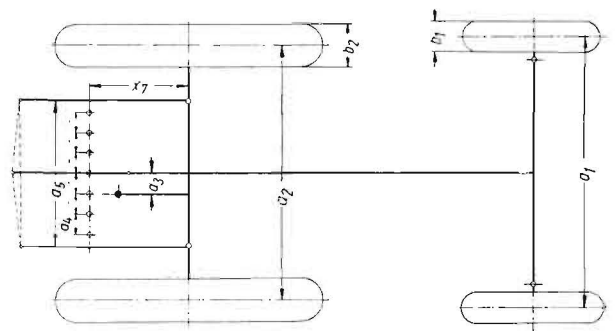


Bild 2. Traktor, Draufsicht

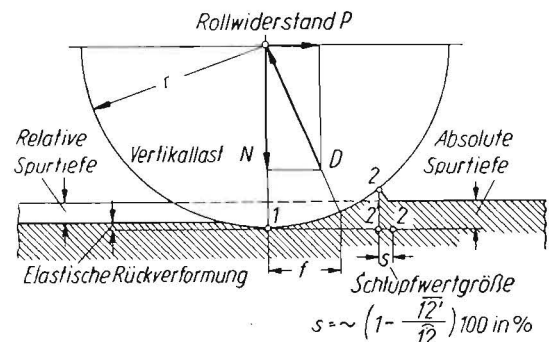


Bild 3. Rollwiderstand

¹⁾ Der statische Reifenradius r_{stat} ist gleich dem Abstande von dem Radmittelpunkt bis zur Auflageebene, bei dem der Tragfähigkeit zugeordneten Luftdruck nach DIN 70020 und der für die Höchstgeschwindigkeit geltenden Tragfähigkeit nach DIN 7805.

²⁾ Der dynamische Reifenradius r_{dyn} ist die bei abrollendem Rad zurückgelegte Wegstrecke je Radumdrehung, geteilt durch 2π , wenn die Bedingungen nach DIN 70020 und 7805 erfüllt werden.

Maschinen ist nicht nennenswert. Bezüglich der Radgröße haben die f -Werte ihre Gültigkeit bei $r = 500 \pm 250$ mm (Tabelle 1).

Tabelle 1. f -Werte

Nr.	Fahrbahn	Stahlbereifte Räder [f in cm] Mittelwerte	Gummiluftbereifte Räder [f in cm] Mittelwerte
1	Stahlbahn	0,05	0,5
2	Betonstraße	0,75	1,0
3	Asphaltstraße	1,5	1,5
4	Pflaster	3	2
5	Makadamstraße	4	3
6	Gute Erdwege	6	4
7	Mittelgute Erdwege	8	6
8	Schlechte Erdwege	10	8

Da man bei Radlagerungen von Traktoren überwiegend Wälzlager verwendet, soll nachfolgend das Moment der Wälzlagerreibung festgelegt werden. Der Reibungswiderstand eines Wälzlagers setzt sich aus dem reinen Wälzwiderstand, dem Gleitwiderstand des Käfigs und dem Gleitwiderstand der Lagerabdichtung zusammen.

Hierzu kommen noch bei Zylinder- und Kegelrollenlagern der durch etwa auftretenden Axialdruck ausgelöste Gleitwiderstand. Das Moment der Wälzlagerreibung ist

$$M_1 = \mu \cdot D \cdot r_0 \quad [\text{cmkg}]. \quad (2)$$

μ Reibungskoeffizient eines Wälzlagers

$$\mu = 0,002 \quad (\text{Mittelwert}),$$

D resultierende Lagerbelastung (siehe Bild 3),

$$D^2 = P^2 + N^2,$$

r_0 Radius des Zapfens in cm.

Der Laufwiderstand W nach Gl. (1) und (2) ist

$$W = N (f + r_0 \mu \sqrt{f^2/r^2 + 1})/r \quad [\text{kg}].$$

Nach den technischen Daten des Traktors ist der Laufwiderstand der beiden Hinterräder (Triebräder), auf mittelguten Erdwegen

- bei $r_{0H} = 3$ cm Radius der Hinterachse,
- $r'_2 = 60,5$ cm statischer Radius der Hinterräder,
- $G_H = 1120$ kg Hinterachsbelastung,
- $\mu = 0,002$,
- $f = 6$ cm,
- $W_H = 111$ kg,

und der Laufwiderstand der beiden Vorderräder (Lenkräder), auf mittelguten Erdwegen bei

- $r_{0V} = 1,75$ cm, $\mu = 0,002$,
- $r'_1 = 32,3$ cm, $f = 6$ cm,
- $G_V = 545$ kg, $W_V = 101$ kg.

1.3 Anfahrwiderstand

Die Bewegung des Traktors soll mit der vorgegebenen konstanten Beschleunigung p in m/s^2 , von links nach rechts (siehe Bild 1), erfolgen. Der Pflugwiderstand $W_{Pf} = 815$ kg (im späteren Rechnungsgang ermittelt), der Laufwiderstand W_H und W_V ist 212 kg, mithin der gesamte Widerstand

$$W = W_{Pf} + W_H + W_V = 1027 \text{ kg}.$$

Durch die Dreipunkt-Aufhängung des Pfluggerätes wird die Hinter- und Vorderachsbelastung G_H und G_V sich ändern und damit auch der Laufwiderstand W_H und W_V . Diese Gewichts- und Kräfteänderung wird im nachfolgenden Rechnungsgang noch nicht berücksichtigt. Die Masse des Traktors ohne Triebräder sei M , die der beiden Triebräder m .

Das Trägheitsmoment der Triebräder sei

$$J_T = \vartheta \cdot m \cdot r_2^2.$$

Für Hohlräder ohne Speichen und Nabe (Hohlzylinder),

$$\vartheta = 1,0,$$

für Felgenräder mit Speichen und Nabe $\vartheta = 0,8$,

für Vollräder (Vollwalzen) $\vartheta = 0,5$.

Jedes Triebrad beschreibt eine ebene Bewegung, das Traktorgestell eine Parallelverschiebung.

Die Bewegungsgleichung für das Triebradpaar ist

$$m \cdot p = Q - (W_H + W_V). \quad (3)$$

Q Haftreibung der Gummiluftbereifung auf dem Boden.

Die Bewegungsgleichung für das Traktorgestell ist

$$M \cdot p = -W_{Pf}. \quad (4)$$

Aus Gl. (3) und (4) folgt

$$(M + m) p = Q - W_{Pf} - W_V - W_H. \quad (5)$$

Die *Haftreibung* ist absolut notwendig, um den Traktor in Bewegung zu setzen, da sonst keine *positive Beschleunigung* p auftreten könnte.

Entsprechend dem Reibungsgesetz für Haftreibung gilt

$$Q \leq \mu_g \cdot G_H. \quad (6)$$

μ_g Reibungskoeffizient der haftenden Reibung.

Aus Gl. (5) und (6) ergibt sich

$$\begin{aligned} W_{Pf} + W_V + W_H &= Q - (M + m) p, \\ W_{Pf} + W_V + W_H &= \mu_g G_H - G \cdot p/g. \end{aligned} \quad (7)$$

Das Gesamtgewicht ist $G = G_1 + G_2 = G_V + G_H = 1665$ kg. Ist der Reibungskoeffizient der haftenden Reibung μ_g zwischen Gummiluftreifen und Fahrbahn nach Tabelle 2:

Tabelle 2

Nr.	Fahrbahn	trocken	naß
1	Stahlbahn	0,9	0,15
2	Betonstraße	0,5	0,45
3	Asphaltstraße	0,4	0,15
4	Pflaster	0,5	0,20
5	Makadamstraße	0,6	0,40
6	Gute Erdwege	0,9 . . . 1,0	0,20 . . . 0,40
7	Mittelgute Erdwege	0,8	0,15 . . . 0,30
8	Schlechte Erdwege	0,7	0,15 . . . 0,30

dann ist die Traktorenbeschleunigung auf mittelguten Erdwegen, trocken, nach Gl. (7)

$$\begin{aligned} p &= g (\mu_g \cdot G_H - W_{Pf} - W_V - W_H)/G \\ p &= -0,772 \text{ m/s}^2, \end{aligned} \quad (7a)$$

also negativ, d. h. der Traktor kann sich bei eingesetzten Pflugkörpern *nicht* fortbewegen. Um aber auch bei eingesetzten Pflugkörpern eine Fortbewegung des Traktors zu erreichen, muß bei den gleichen Fahrbahnverhältnissen die Hinterradbelastung größer werden. Wie man dies durch die Dreipunkt-Aufhängevorrichtung erreicht, ohne dabei das Traktorgewicht G zu vergrößern, wird im Abschnitt 1.6 gezeigt.

Bei einem Traktor mit *Allradantrieb* und gleichmäßig verteilter Last auf die Vorder- und Hinterräder geht Gl. (7) über in

$$W_{Pf} + W_V + W_H = G (\mu_g - p/g). \quad (8)$$

Die Beschleunigung des Traktors mit Allradantrieb ist dann bei gleichem Gewicht

$$\begin{aligned} p/g &= [\mu_g - (W_{Pf} + W_V + W_H)/G] \\ p &= (0,8 - 1027/1665) 9,81 = 1,81 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

Der Traktor mit Allradantrieb und gleichem Gewicht und eingesetzten Pflugkörpern bewegt sich vorwärts, da die Beschleunigung p positiv ist.

Es ist also zum Anfahren nicht nur eine Reibung notwendig, sondern es muß auch der Reibungskoeffizient der haftenden Reibung μ_g größer als das Verhältnis der Beschleunigungen p/g sein.

Außerdem muß das Gewicht des Traktors in einem richtigen Verhältnis zu Zugkraft W_{Pf} und Laufwiderstand $W_V + W_H$ stehen. Ist das nicht der Fall, so kann man auch durch beliebige Vergrößerung des treibenden Moments M_d nicht erreichen, daß sich der Traktor in Bewegung setzt.

1.4 Treibendes Moment

Das treibende Drehmoment M_d steht in Beziehung zu der Beschleunigung wie

$$M_d = r_2 \{ W_{Pf} + W_V + W_H + [M + m(I + \vartheta)] p \}. \quad (9)$$

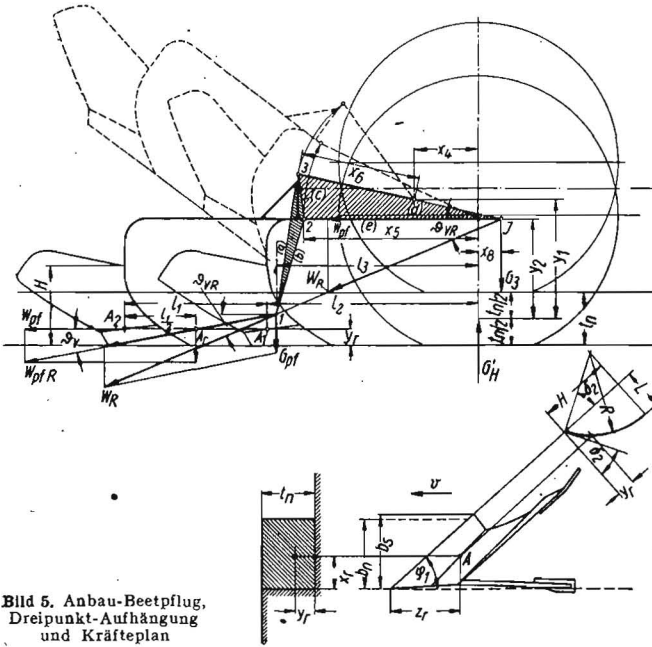


Bild 5. Anbau-Beetpflug, Dreipunkt-Aufhängung und Kräfteplan

Mit größerem Drehmoment M_d würde im Gegenteil dadurch nur nach Gl. (9) das p größer und der Klammerausdruck in Gl. (8) bzw. die rechtsseitige Differenz in Gl. (7) noch kleiner werden. Das größere Drehmoment ruft dann nur ein Gleiten der Räder auf dem Boden ohne Fortbewegung des Traktors hervor.

1.5 Lage der ideellen Aufhängeachse des Pfluggerätes

Zur Festlegung der ideellen Aufhängeachse des Pfluggerätes ist vorerst

- die Größe des Pflugwiderstands,
- die Richtungslage des resultierenden Pflugwiderstands,
- die Raumlage des Angriffspunktes von dem resultierenden Pflugwiderstand,
- die Größe des Gerätegewichts und
- die Raumlage des Geräteschwerpunktes zu berücksichtigen.

Zu a) Das Gerät, ein Anbau-Beetpflug, ist mit $i =$ zwei Pflugkörpern ausgestattet. Arbeitstiefe $l_n = 25$ cm, Arbeitsbreite $b_n = 1,3 l_n = 32,5$ cm, der spezifische Bodenwiderstand $k = 0,5$ kg/cm².

Der Pflugwiderstand ist $W_{Pf} = i b_n l_n k = 815$ kg.

Zu b) Der resultierende Pflugwiderstand sei um $\vartheta_V = 11^\circ$ geneigt zur Furchensohle und um $\vartheta_H = 13^\circ$ geneigt zur Furchenwand gerichtet.

Zu c) Die Raumlage des Angriffspunktes von dem resultierenden Pflugwiderstand ist bei einem Pflugkörper nach Bild 4 und 5

$$\begin{aligned} x_r &= 0,468 b_n = 152 \text{ mm,} \\ y_r &= 0,315 l_n = 78,8 \text{ mm,} \\ z_r &= 1,16 b_n = 377 \text{ mm,} \end{aligned}$$

wenn der Schnittwinkel $\delta_2 = 30^\circ$ und der Scharschneidwinkel $\varphi_1 = 42^\circ$ ist. Der Konstruktionsradius vom Streichblech ist

$$R = b_n \left(\frac{\pi}{2} - \text{arc} \delta_2 \right) \cos \varphi_1 = 1,285 b_n = 418 \text{ mm,}$$

die Streichblechsausladung $L = R(1 - \sin \delta_2) = 0,6425 b_n = 209$ mm,

die Höhe der Streichblechoberkante über der Furchensohle an der Furchenwand gemessen $H = R \cos \delta_2 = 0,955 b_n = 310$ mm, die Entfernung der Pflugkörper in Fahrtrichtung gemessen $l_1 = L/\sin \varphi_1 + b_n/\text{tg} \varphi_1$, $l_1 = 2,07 b_n = 672,5$ mm, $l_2 = 1000$ mm, $l_3 = 950$ mm (Schwerpunktentfernung von der Hinterachse).

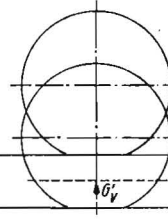
Zu d) Das Gewicht des Pfluggerätes ist $G_{Pf} = 190$ kg.

Zu e) Die Schwerpunktentfernung des Anbau-Beetpfluges liegt l_3 hinter der Hinterachse des Traktors.

Im ideellen Anhängpunkt J schneidet der Richtungsstrahl der Kraft W_R die Richtungsstrahlen der Lenker x_5 und x_6 . Die zusätzliche, vertikal gerichtete Belastung G_3 , durch das Gerätegewicht G_{Pf} und den resultierenden Pflugwiderstand W_{PfR} ist

$$\begin{aligned} G_3 &= W_{Pf} \text{tg} \vartheta_V + G_{Pf} \\ &= 348,5 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Bild 4. Angriffspunkt des resultierenden Pflugwiderstands



Der Zugrichtungswinkel ϑ_{VR} ist

$$\begin{aligned} \text{tg} \vartheta_{VR} &= \text{tg} \vartheta_V + G_{Pf}/W_{Pf} = 0,4274, \\ \vartheta_{VR} &= 23^\circ 9'. \end{aligned}$$

Die Entfernung x_8 des ideellen Anhängpunktes J vor der Hinterachse ist

$$\begin{aligned} x_8 &= y_2 + l_n/2 - y_r - (l_2 + l_1/2 - l_3) \text{tg} \vartheta_V/\text{tg} \vartheta_{VR} - l_3 \\ &= 80 \text{ mm.} \end{aligned}$$

1.6 Anfahrwiderstand mit Berücksichtigung der Dreipunkt-Aufhängung des Anbau-Beetpfluges

Die zusätzliche Hinterachsbelastung ist

$$G'_H = G_3 (x_2 - x_8)/x_2 = 332 \text{ kg.}$$

Die zusätzliche Vorderachsbelastung ist

$$G'_V = G_3 - G'_H = 16,5 \text{ kg.}$$

Mithin der Laufwiderstand der beiden Hinterräder

$$W'_H = W_H (G_H + G'_H)/G_H = 144 \text{ kg}$$

und der der beiden Vorderräder

$$W'_V = W_V (G_V + G'_V)/G_V = 104 \text{ kg.}$$

Die Traktorbeschleunigung nach Gl. (7a) ist dann

$$\begin{aligned} p &= g [\mu_g (G_H + G'_H) - W_{Pf} - W'_V - W'_H]/G + G_{Pf} \\ &= + 0,522 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

Durch die Dreipunkt-Aufhängung des Pfluggerätes kann der Traktor sich also auch bei eingesetzten Pflugkörpern fortbewegen.

Ein Traktor mit Allradantrieb, der mit einer Dreipunkt-Aufhängung des Pfluggerätes ausgerüstet ist und mit auf alle vier Räder gleichmäßig verteilter Last arbeitet, kann bedeutend leichter gebaut werden und erzielt eine größere Anfahrbeschleunigung bei voll eingesetzten Pflugkörpern.

Ist z. B. das Gewicht des Allradtraktors

$$G' = G'_1 + G'_2 = 1200 \text{ kg (mit Fahrer).}$$

also um $\Delta G = (G_1 + G_2 - G'/G_1 + G_2) 100 = 28\%$ kleiner, so wird bei konstanter Kraftgröße $G_3 = 348,5$ kg und mittlerer Lage des ideellen Aufhängpunktes J , bei vier gleich großen Rädern mit

$$\begin{aligned} r_0 &= 2 \text{ cm} && \text{Radius der Vorder- und Hinterachse,} \\ r' &= 50 \text{ cm} && \text{statischer Radius der Räder,} \\ \mu &= 0,002 && \text{Wälzlagerkoeffizient,} \\ j &= 6 \text{ cm} && \text{Arm der rollenden Reibung,} \end{aligned}$$

der Laufwiderstand von allen vier Rädern

$$W = (G_3 + G') (j + r_0 \mu \sqrt{j^2/r'^2 + 1})/r' = 185,82 \text{ kg.}$$

Die Beschleunigung des Allradtraktors bei gleichem Pflugwiderstand $W_{Pf} = 815$ kg, ist nach Gl. (8)

$$p' = [u_g - (W_{Pf} + W)/(G' + G_{Pf})] g = 0,7648 \text{ m/s}^2.$$

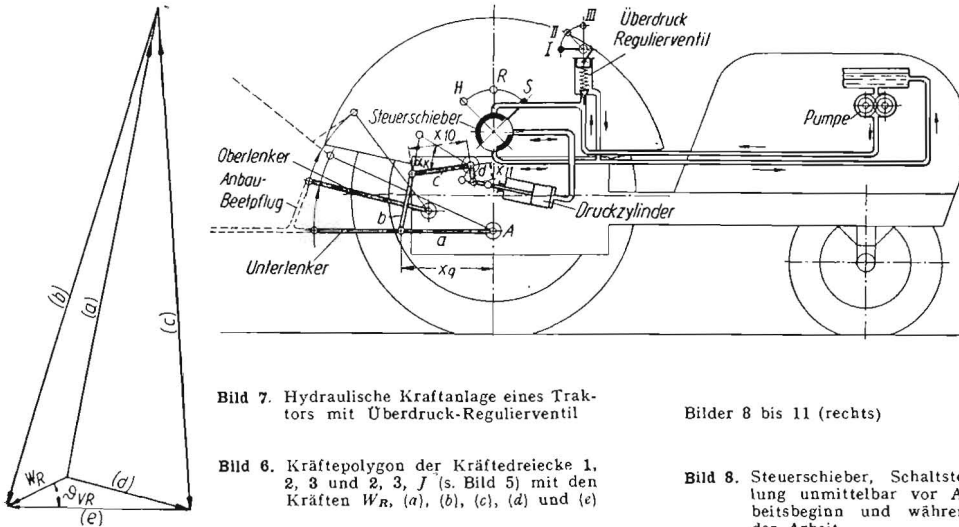


Bild 7. Hydraulische Kraftanlage eines Traktors mit Überdruck-Regulierventil

Bild 6. Kräftepolygon der Kräfte Dreiecke 1, 2, 3 und 2, 3, J (s. Bild 5) mit den Kräften W_R , (a), (b), (c), (d) und (e)

Bei gleichem Pflugwiderstand kann das Gewicht des Allradtraktors um 28% kleiner sein als das Gewicht eines Traktors mit Hinterradantrieb. Zugleich kann der Allradtraktor eine größere Anfahrbeschleunigung bei eingesetzten Pflugkörpern um

$$\Delta p = [(p' - p)/p'] \cdot 100 = 32,3\%$$

erreichen.

1.7 Drehmoment der Triebräder

In bezug auf Gl. (9) wird das Drehmoment der Hinterräder

$$M_d = r'_2 \{ W_{Pf} + W'_v + W'_H + [M' + m(1 + \vartheta)] p \} \text{ [cmkg]}.$$

M' Masse des Traktors und des Pfluggerätes ohne Triebräder

$$M' = (G_{Pf} + G - G_T)/g.$$

Das Gewicht der beiden Triebräder ist

$$G_T = 300 \text{ kg},$$

die Masse der beiden Triebräder ist

$$m = G_T/g,$$

$$M_d = 71100 \text{ cmkg}.$$

1.8 Antriebsleistung der Triebräder bei eingesetztem Pfluggerät und Anfahrt

Die Antriebsleistung der beiden Triebräder ist

$$N_T = M_d v / r'_2 \cdot 75 \eta_s \text{ [PS]}$$

Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von

$$v = 1,12 \text{ m/s}$$

und einem Übertragungs-Wirkungsgrad der Triebräder bei einem Schlupf von 13,5%, ist

$$\eta_s = 0,865,$$

also die Antriebsleistung der Triebräder

$$N_T = 71100 \cdot 1,12 / 60,5 \cdot 75 \cdot 0,865 = 20,2 \text{ PS}.$$

Mit einem Getriebewirkungsgrad von $\eta_g = 0,72$ wird die Motorleistung

$$N_M = N_T / \eta_g = 28 \text{ PS}.$$

Das Leistungsgewicht des Traktors mit zwei Triebrädern ist

$$q = G_T / N_M = 56,6 \text{ kg/PS}.$$

Das Drehmoment der vier Räder beim Allradtraktor ist

$$M'_d = r' \{ W_{Pf} + W + [M'' + m'(1 + \vartheta)] p' \} = 56500 \text{ cmkg},$$

wenn

$M'' = (G_{Pf} + G' - G'_T)/g = 111,1 \text{ kg s}^2/\text{m}$ Masse des Allradtraktors und Pfluggerät ohne Triebräder.

$G'_T = 300 \text{ kg}$ Das Gewicht der vier Triebräder vom Allradtraktor kann gleichgesetzt werden mit dem Gewicht G_T der beiden größeren Triebräder des Traktors mit zwei Triebrädern

$$m' = G'_T/g = 30,6 \text{ kg s}^2/\text{m}.$$

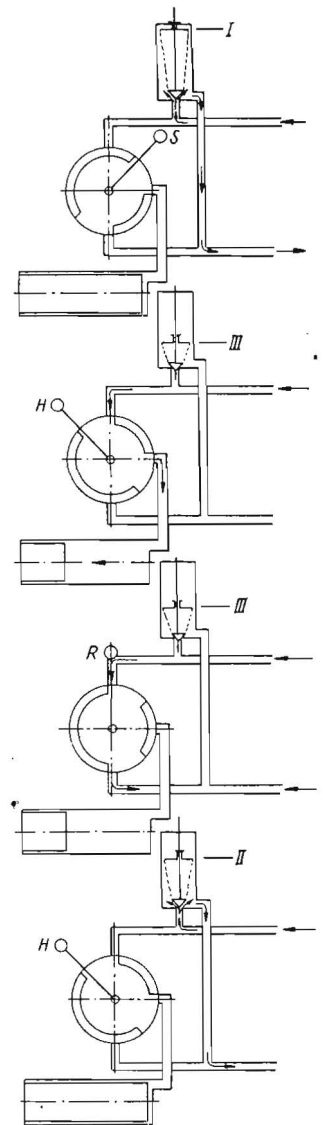
Bilder 8 bis 11 (rechts)

Bild 8. Steuerschieber, Schaltstellung unmittelbar vor Arbeitsbeginn und während der Arbeit,

Bild 9. ... während des Wendens

Bild 10. ... den Transport und

Bild 11. ... bei schwieriger Pflugarbeit oder bei schwerem Pfluggerät



Bei gleicher Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1,12 \text{ m/s}$ und $\eta_s = 0,88$ wird die Antriebsleistung der vier Triebräder

$$N'_T = M'_d \cdot v / r' \cdot 75 \eta_s = 19,15 \text{ PS}.$$

Mit dem gleichen Getriebewirkungsgrad $\eta_g = 0,72$ wird die Motorleistung

$$N'_M = N'_T / \eta_g = 26,6 \text{ PS}$$

und das Leistungsgewicht des Allradtraktors

$$q' = (G' - G_2) / N'_M = 42,1 \text{ kg/PS}.$$

Der Allradtraktor hat ein um 26,6% kleineres Leistungsgewicht als der Traktor mit zwei Triebrädern.

1.9 Kräftepolygon

Im Bild 6 sind die Kräfte und Krafrichtungen der beiden Dreiecke 1, 2, 3 und 2, 3, J (Bild 5) dargestellt.

2 Hydraulische Kraftanlage mit einem Überdruck-Regulierventil

Im Bild 7 wird der Ölkreislauf des Hydrauliksystems gezeigt. Die Ölpumpe fördert das Öl aus dem Behälter in die Druckleitung, an die der Druckzylinder über dem Steuerschieber angeschlossen ist. Zwischen Druck- und Rücklaufleitung ist das Überdruck-Regulierventil geschaltet. Der Steuerschieber hat drei Schaltstellungen

H Heben, R Ruhe und S Senken.

Vor Arbeitsbeginn (Bild 8) stellt man den Steuerschieber in Stellung „Senken“ (S). Das volle Pfluggewicht bewirkt ein rasches Einziehen der Pflugschare und der Kolben drückt einen

Teil des Öls in die Rücklaufleitung. Bei dieser „Schwimmstellung“ des Kolbens ist auch die Feder des Überdruck-Regulierventils entspannt, Stellung I. In der Druckleitung entsteht daher nur ein schwacher Druck. Der Kolben im Zylinder kann praktisch ungehindert spielen. Der Pflug arbeitet in „Schwimmstellung“.

Während der Arbeit bleibt der Steuerschieber in Stellung S und das Regulierventil in Stellung I. Nur bei schwieriger Pflugarbeit oder schwerem Pfluggerät stellt man den Steuerschieber in Stellung H und das Regulierventil in Stellung II (Bild 11). Sind nur einige schwierige Stellen im Acker, so wird nur dort das Regulierventil in Stellung II geschaltet. Infolge der vergrößerten Federspannung steigt der Druck in der Druckleitung, also auch im Hubzylinder. Die Schwimmstellung des Pfluggerätes bleibt dabei erhalten. Durch diese begrenzte Hubkraft wird der Pflug entlastet, aber nicht ausgehoben.

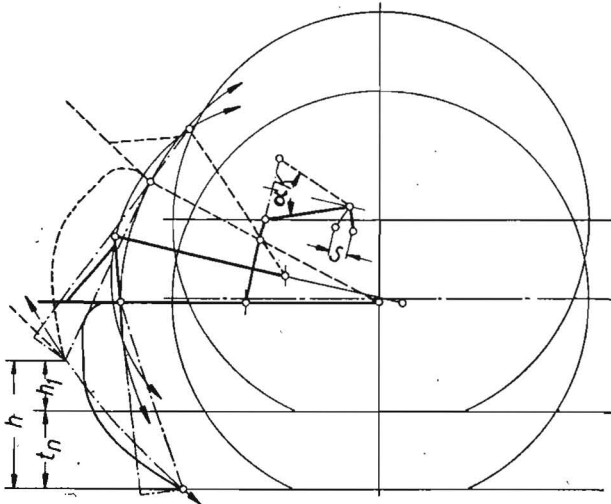


Bild 12. Kolbenhub S und Pflugkörperaushub h

Nach Arbeitsende wird der Steuerschieber in Stellung H und das Regulierventil in Stellung III geschaltet (Bild 9). Der Pflug wird also mit höchstem Druck ausgehoben.

Bei Transportstellung (Bild 10) stellt man den Steuerschieber in Stellung „Ruhe“ R. Jetzt zirkuliert der Ölstrom praktisch ohne Widerstand, also ohne Druck von der Pumpe über den Steuerschieber zum Behälter zurück. Das Regulierventil arbeitet jetzt nicht mehr. Der Zylinder ist mit Öl gefüllt und durch den Steuerschieber abgeschlossen. Der Pflug kann deshalb nicht absinken.

2.1 Ermittlung des Flüssigkeitsdruckes im hydraulischen System bzw. Ermittlung des Kolbendurchmessers

Vorerst soll der Kolbendurchmesser d ohne Berücksichtigung der Stulpreibung, der Widerstände im Leitungsnetz und ohne die mechanischen Reibungsverluste in den Gelenkstellen des Hebelmechanismus ermittelt werden.

Die Hebellängen sind mit

$$x_9 = 425 \text{ mm}, x_{10} = 270 \text{ mm}, x_{11} = 80 \text{ mm}$$

festgelegt (Bild 7).

Die Hebelstellungen der Hebel und Stangen a, b, c und d wurden so festgelegt, daß bei mittlerer Hublage die Koppungsstange b (links und rechts je eine Stange), senkrecht zu den Hebeln a und b steht. Die Zylinderachse steht gleichfalls in der mittleren Hublage senkrecht zu dem Hebel d, der wieder zu dem Hebel c senkrecht steht und mit diesem fest verbunden ist. Das erforderliche Drehmoment um den Punkt A (Bild 7) (Aushub des Pfluggerätes von der Arbeitsstellung in die Transportstellung) ist

$$M_{g \max} = G_{Pf} l_3 + b_n \cdot L \cdot i \cdot \gamma_B \cdot (l_2 + l_1/2) t_n / 1000 \sin \varphi_1 \text{ [cmkg]}$$

Der erste Summand bezieht sich auf das Drehmoment des Gerätegewichtes, der zweite Summand gibt die Größe des Drehmoments an, um die Pflugkörper aus dem Boden auszuheben.

$$M_{g \max} = 18070 + 11000 = 29070 \text{ cmkg, wenn}$$

$$\gamma_B = 1,8 \text{ kg/dm}^3 \text{ spez. Gewicht des Bodens.}$$

Die Kolbenkraft ist dann

$$P_K = M_{g \max} \cdot x_{10} / x_9 \cdot x_{11} = 2300 \text{ kg.}$$

Bei einem Zylinder- bzw. Kolbendurchmesser von

$$d = 50 \text{ mm, Kolbenfläche } f = 19,64 \text{ cm}^2$$

ist der Öldruck

$$p_\delta = P_K / f = 117,1 \text{ kg/cm}^2.$$

Unter Berücksichtigung der Stulpreibung, der Widerstände im Leitungssystem und der mechanischen Reibungsverluste in den Gelenkstellen des Hebelmechanismus wird der effektive Öldruck $p_{\delta \text{eff}}$ größer als p_δ werden.

Die Stulpreibung ist

$$R_{St} = \mu_0 \cdot F \cdot \Delta p_{\delta \text{eff}} + R_0 \text{ [kg].}$$

Die Reibungszahl μ_0 der Stulpen auf der Zylinderwand (Gummi oder Buna auf Stahl geschliffen, poliert und mit Öl geschmiert), ist

$$\mu_0 = 0,01 \dots 0,03 = 0,02.$$

Für die Stulpreibungsfläche F kann

$$F = 8 d^{3/2} \text{ bis } 12 d^{3/2}$$

gesetzt werden. Bei $F = 10 d^{3/2} = 33,5 \text{ cm}^2$.

Der Druckunterschied zwischen Innen- und Außenseite der anliegenden Stulphaut ist $\Delta p_{\delta \text{eff}} = \sim 0,9 p_{\delta \text{eff}}$.

Die Leerlaufreibung, die auch bei einem Öldruck $p_{\delta \text{eff}} = 0$ vorhanden ist, kann mit

$$R_0 = 0,006 p_{\delta \text{eff}} F$$

gesetzt werden.

Für die Widerstände im Leitungssystem und für die mechanischen Verluste kann ein Zuschlag von etwa 2% gerechnet werden. Mithin ist der effektive, maximale Öldruck

$$p_{\delta \text{eff}} = P_K / 0,98 [f - f^{3/2} (\mu_0 9 - 0,06)] \text{ [kg/cm}^2\text{]},$$

$$p_{\delta \text{eff}} = 128 \text{ kg/cm}^2.$$

2.2 Pumpe

Durch die Winkelbewegung des Kipphebels c, d (Bild 7) um den Betrag von

$$\alpha_K = 45^\circ$$

wird die Aushubhöhe des Pfluggerätes bestimmt. Die vordere Scharspitze wird dann um die vertikale Höhe $h = 400 \text{ mm}$ ausgehoben und liegt nun um $h_1 = h - t_n = 150 \text{ mm}$ über dem Boden (Bild 12). Der Kolbenhub ist dann

$$S = 2 \cdot x_{11} \cdot \sin \alpha_K = 61,3 \text{ mm.}$$

Soll der Geräteaushub während eines Zeitintervalls von

$$t = 1 \text{ s}$$

erfolgen, dann muß die Pumpe bei einem volumetrischen Wirkungsgrad

$$\lambda = 0,70 \text{ (bei } 128 \text{ atü)}$$

ein Fördervolumen von

$$V_P = f S / t \lambda = 172,2 \text{ cm}^3/\text{s}$$

besitzen.

Bei einem mechanischen Wirkungsgrad der Pumpe einsch. Antriebsmechanismus von $\eta_{\text{mech}} = 0,90$ wird die Antriebsleistung der Pumpe $N_P = V_P \cdot p_{\delta \text{eff}} \cdot 10 \gamma_\delta / 1000 \cdot 75 \eta_{\text{mech}} = 3,00 \text{ PS}$, wenn für das spezifische Gewicht von Öl $\gamma_\delta = 0,925 \text{ kg/dm}^3$ gesetzt wird.

A 3001