

## Die Hubkraft-Kennlinien eines Dreipunkt-Systems

Henrik Have und Svend Sonne Kofoed\*)

Es ist wünschenswert, für das Kraftheber-System von Schleppern aussagekräftigere Funktionsdaten als bisher anzugeben. Durch Anwenden des hier beschriebenen Verfahrens gelingt es, bei Vorgabe der Werte der geometrischen und der hydraulischen Kenngrößen des jeweiligen Systems, mittels eines Rechenprogramms und eines Kurvenzeichners (plotter) unmittelbar die einem bestimmten Schleppertyp zugeordneten Hubkraft-Kennlinien aufzuzeichnen. Zwei auf diese Weise hergestellte Diagramme – die den maximal und den minimal nutzbaren Hubkräften entsprechen – dürften wahrscheinlich für das Bereitstellen der zum Prüfen von Schleppern erforderlichen Kennwerte geeignet sein und ausreichen.

### 1. Einleitung

In internationalen Normen, die das Prüfen von Ackerschleppern betreffen, widmete man bisher vor allem denjenigen Kenngrößen eine besondere Aufmerksamkeit, die sich auf die der Motor- und der Zapfwelle sowie der Zugkraft zugeordnete Leistung beziehen; die Prüfberichte enthalten verschiedene Diagramme, die sehr übersichtlich z.B. eine Leistung in Abhängigkeit von der Drehzahl angeben. Heute steht aber bereits fest, daß man zukünftig beim Bestimmen der Kenngrößen des Kraftheber-Systems die gleiche Sorgfalt aufwenden sollte. Der Dreipunktanbau und das Kraftheber-

System bilden sowohl für den Benutzer als auch den Geräte-Konstrukteur eine so wichtige Einheit, daß es sehr wünschenswert wäre, aussagekräftigere Funktionsdaten als bisher anzugeben. Eine in diesem Zusammenhang besonders wichtige Kenngröße ist die Hubkraft.

Hier soll ein Verfahren beschrieben und an einem Beispiel erläutert werden, das es ermöglicht, für einen vorgegebenen Schleppertyp ein Hubkraft-„Kennlinienfeld“ oder Schaubild anzufertigen, das von der gleichen Art ist, wie man es zuweilen zur Angabe eines spezifischen Kraftstoffverbrauchs verwendet. Durch Anwenden dieses Verfahrens und bei Vorgabe der Werte der geometrischen und der hydraulischen Kenngrößen des Systems gelingt es, mittels eines Rechenprogramms und eines Kurvenzeichners (plotter) ein Diagramm zu zeichnen, das eine vollständige Übersicht über die Hubkraft in Abhängigkeit von bestimmten Parametern gibt.

In der Praxis bereitet die genaue Angabe der Hubkraft eines Dreipunkt-Systems oft Schwierigkeiten. Der Grund hierfür ist die Tatsache, daß vor allem ein Benutzer häufig den Zusammenhang nur schwer erkennen kann, der zwischen einem angegebenen Wert für die Hubkraft eines Schleppers und der tatsächlichen Tragkraft – der beim Heben einer Masse ein Gewicht entspricht – besteht. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Hubkraft auf die Kupplungspunkte, nicht jedoch auf den Lastschwerpunkt bezogen wird (und deshalb üblicherweise einen erheblich größeren Wert als der der tatsächlichen Tragkraft hat).

In den Normen der ASAE (American Society of Agricultural Engineers) und der OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) hat man versucht, diese Mehrdeutigkeit auszuschließen. In ihnen wird die Hubkraft stets auf einen Rahmen bezogen, bei dem sich der Lastschwerpunkt (in der Praxis der Meßort des Kraftfühlers) in einem Abstand von 610 mm (24") hinter dem Koppeldreieck befindet. Dies schränkt die Mehrdeutigkeit ein; allerdings ist auch der in diesen Normen für die Hubkraft angegebene Wert auf einen ganz bestimmten Schwerpunktsabstand – und eine ganz bestimmte Schwerpunkts Höhe – bezogen. Benötigt wird deshalb ein Verfahren, das es erlaubt, den Wert der Hubkraft auf einfache Weise für beliebige Werte der Koordinaten des Lastschwerpunkts zu ermitteln.

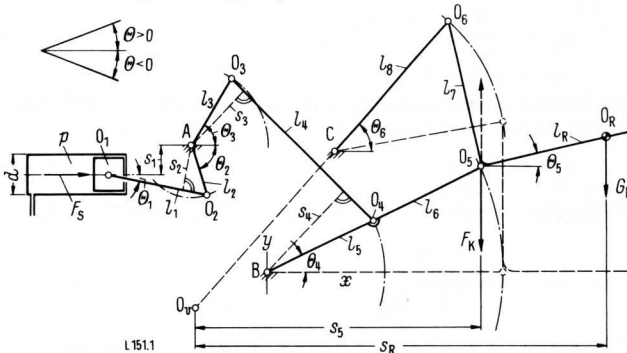
Die Hubkraft kann gemessen oder berechnet werden; vermutlich ist die beim Berechnen erreichbare Unsicherheit kleiner als die beim Messen. Verfügt man über ein geeignetes Rechenverfahren, so genügt es, beim Prüfen festzustellen, ob die Kenngrößen der hydraulischen Anlage die vorgesehenen Werte haben, ob der hydraulische Zylinder dicht ist, usw. In den Berechnungen kann allerdings der Wirkungsgrad des Systems nicht unmittelbar berücksichtigt werden. Dieser Wirkungsgrad läßt sich jedoch u.U. erfassen, wenn man die Berechnungen auf 80% vom Ansprechdruck des Höchstdruckventils bezieht, wie dies in den schon vorliegenden Prüfgeln geschieht.

\*) Henrik Have ist Dipl.-Landwirt und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Landwirtschaftlichen Hochschule Kopenhagen; Svend Sonne Kofoed ist Dipl.-Ing. und Abteilungsleiter am selben Institut.

## 2. Berechnung der Hubkraft

Um überhaupt die Hubkraft berechnen zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Hier werde angenommen, daß die dem Koppeldreieck zugeordnete Ebene stets dann lotrecht gerichtet ist, wenn die unteren Lenker horizontal gerichtet sind. Dies dürfte in der Praxis üblicherweise mit guter Näherung zu treffen.

Außerdem wird beim Berechnen vorausgesetzt, daß der Geräteschwerpunkt in der durch die Achse des unteren Lenkers bestimmten Geraden liegt, wenn diese horizontal gerichtet ist; trifft dies nicht zu, so liegt er in einer die Kupplungspunkte durchsetzenden Geraden, die zu der dem Koppeldreieck zugeordneten Ebene orthogonal verläuft. Später wird gezeigt, daß man, ausgehend von diesen beiden Annahmen, die Hubkraft dann graphisch bestimmen kann, wenn die Koordinaten des Schwerpunkts Werte haben, die diesen Voraussetzungen nicht genügen.



**Bild 1.** Das Dreipunkt-System im „angehobenen“ Zustand.

Dem gestrichelt gezeichneten Dreipunkt-System entspricht die Ausgangslage; dabei liegen die Achsen der unteren Lenker und der Geräteschwerpunkt  $O_R$  in einer Geraden ( $\theta_4 = \theta_5 = 0$ ).

**Tafel 1.** Zusammenstellung der benutzten Symbole.

A	Drehpunkt der Hubwelle
B	Anlenkpunkt der unteren Lenker
C	Anlenkpunkt des Oberlenkers
$F_K$	Hubkraft, bezogen auf die Kupplungspunkte der unteren Lenker
$F_S$	Kolbenkraft
$G_h$	Hinterachsbelastung des Schleppers
$G_{h\max}$	maximal zulässige Hinterachsbelastung
$G_R$	Gerätegewicht
$G_{R\max,h}$	maximal zulässiges Gerätegewicht, bedingt durch die maximal zulässige Hinterachsbelastung $G_{h\max}$
$G_{R\max,v}$	maximal zulässiges Gerätegewicht, bedingt durch die minimal zulässige Vorderachsbelastung $G_{v\min}$
$G_t$	Schleppergewicht
$G_v$	Vorderachsbelastung des Schleppers
$G_{v\min}$	minimal zulässige Vorderachsbelastung
$M_A, M_B$	Momente, bezogen auf die Punkte A und B
$O_R$	Geräteschwerpunkt
$O_v$	virtueller Momentanpol
$O_1, \dots, O_6$	bewegliche Drehpunkte
$a_1$	Achsabstand des Schleppers
$a_2$	auf die Horizontale bezogener Abstand des Hinterachsmittelpunkts vom Punkt B
$d$	Kolbendurchmesser
$l_R$	Abstand des Geräteschwerpunkts $O_R$ vom Punkt $O_5$
$l_1, \dots, l_8$	Gestängellängen nach Bild 1
$p$	Öldruck
$s_R$	auf die Horizontale bezogener Abstand des Geräteschwerpunkts vom Momentanpol $O_v$
$s_1, \dots, s_5$	Abstände nach Bild 1
$v_S$	Kolbengeschwindigkeit
$v_{Rv}$	vertikal gerichtete Geschwindigkeitskomponente des Geräteschwerpunkts
$x, y$	Koordinaten (Ursprung im Pol B)
$\alpha_R, \alpha_1, \dots, \alpha_7$	Richtungskoeffizienten
$\theta_1, \dots, \theta_6$	Winkel nach Bild 1

Das mechanische System, auf das sich die Berechnung bezieht, zeigt **Bild 1** mit den Bezeichnungen gemäß **Tafel 1**. Dabei wurde angenommen, daß der hydraulische Zylinder horizontal gerichtet ist; dies bedeutet keine einschränkende Bedingung, da sich die gemachte Voraussetzung durch Ändern des Winkels  $\theta_2$  stets erfüllen läßt.

Es gibt mehrere Verfahren, die sich dazu eignen, für das System nach **Bild 1** die Hubkraft  $G_R$  für einen vorgegebenen Schwerpunkt  $O_R$  zu bestimmen, wenn der Öldruck  $p$  auf den Kolben bekannt ist. Sieht man von dem Verlust ab, der dem Wirkungsgrad entspricht, so ergibt ein Leistungsvergleich die Beziehung

$$\frac{\pi}{4} (p d^2 v_S) = G_R v_{Rv} \quad (1)$$

mit den Bezeichnungen nach **Tafel 1**.

Da hier ein Kennlinienfeld mit Kurven konstanter Hubkraft ermittelt werden soll, dürfte es zweckmäßig sein, vom Gleichgewichtszustand des Systems auszugehen und – mit den Systemparametern (Lenkerlängen, Winkel) nach **Bild 1** – die Momente zu berechnen, die den verschiedenen Gelenken zugeordnet sind. Dabei werde der Ursprung des Koordinatensystems auf den Anlenkpunkt B der unteren Lenker bezogen. Die dem Drehpunkt A der Hubwelle entsprechenden Koordinaten seien mit  $x_a, y_a$  (Festwerte), und die des Anlenkpunktes C des Oberlenkers mit  $x_c, y_c$  (Festwerte) bezeichnet. Dann ergeben sich (mit den Bezeichnungen nach **Bild 1** und **Tafel 1**) für den Punkt  $O_2$  die Koordinaten

$$x_2 = x_a + l_2 \cos \theta_2 \quad (2)$$

sowie

$$y_2 = y_a + l_2 \sin \theta_2 \quad (3)$$

und für den Punkt  $O_1$  die Koordinaten

$$x_1 = x_2 - l_1 \cos \theta_1 \quad (4)$$

sowie

$$y_1 = y_a - s_1 \quad (5)$$

da

$$l_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (6)$$

gilt.

Die Gleichung der durch die Punkte  $O_1$  und  $O_2$  bestimmten Geraden, die der Kolbenstange zugeordnet ist, lautet

$$y - y_2 = \alpha_1 (x - x_2) \quad (7)$$

mit

$$\alpha_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (8)$$

als dem Richtungskoeffizienten der Geraden. Wird die Geradengleichung Gl. (7) auf die Normalform gebracht gemäß

$$\frac{y - y_2 - \alpha_1 (x - x_2)}{\sqrt{\alpha_1^2 + 1}} = 0 \quad (9)$$

so ergibt sich mit den Koordinaten  $x_a = x$  und  $y_a = y$ , die dem Punkt A entsprechen, die Länge

$$s_2 = \frac{|y_a - y_2 - \alpha_1 (x_a - x_2)|}{\sqrt{\alpha_1^2 + 1}} \quad (10)$$

der Strecke, die dem auf diesen Punkt bezogenen Moment zugeordnet ist.

Mit der Kolbenkraft

$$F_S = \frac{\pi}{4} (p d^2) \quad (11)$$

erhält man für die in Richtung der Kolbenstange wirkende Kraft  $F_1$  den Ausdruck

$$F_1 = \frac{F_S}{\cos \theta_1} = \frac{\pi}{4} \frac{p d^2}{\cos \theta_1} \quad (12)$$

mit

$$\theta_1 = \arctan \alpha_1 \quad (13);$$

hierbei ist  $\alpha_1$  der Richtungskoeffizient nach Gl. (8). Also lautet das auf den Punkt A bezogene Moment

$$M_A = F_1 s_2 = \frac{\pi p d^2}{4 \cos \theta_1} s_2 \quad (14),$$

mit  $s_2$  als der Streckenlänge nach Gl. (10).

Nach Bild 1 sind die Koordinaten  $x_3$  und  $y_3$  des Punktes  $O_3$  durch

$$x_3 = x_a + l_3 \cos \theta_3 \quad (15)$$

sowie

$$y_3 = y_a + l_3 \sin \theta_3 \quad (16)$$

bestimmt.

Die beiden Gleichungen

$$(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2 = l_4^2 \quad (17)$$

und

$$x_4^2 + y_4^2 = l_5^2 \quad (18)$$

definieren zwei Kreise (mit den Kreismittelpunkten  $O_3$  und B), deren Schnittpunkt den Punkt  $O_4$  ergibt.

Die Gleichung der durch die Punkte  $O_3$  und  $O_4$  bestimmten Geraden ist in ihrer Normalform durch

$$\frac{y - y_3 - \alpha_2 (x - x_3)}{\sqrt{\alpha_2^2 + 1}} = 0 \quad (19)$$

gegeben, mit

$$\alpha_2 = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} \quad (20)$$

als einem Richtungskoeffizienten. Hieraus erhält man die Länge

$$s_3 = \frac{|y_a - y_3 - \alpha_2 (x_a - x_3)|}{\sqrt{\alpha_2^2 + 1}} \quad (21)$$

und die Länge

$$s_4 = \frac{|-y_3 + \alpha_2 x_3|}{\sqrt{\alpha_2^2 + 1}} \quad (22).$$

Damit lassen sich das auf den Punkt B bezogene Moment

$$M_B = \frac{s_4}{s_3} M_A \quad (23)$$

und somit auch die im Kupplungspunkt  $O_5$  erreichbare Hubkraft

$$F_K = \frac{M_B}{l_6 \cos \theta_4} \quad (24)$$

berechnen, mit  $\theta_4$  als einem durch

$$\theta_4 = \arctan (y_4/x_4) \quad (25)$$

erklärten Winkel.

Die Kraft  $F_K$  nach Gl. (24) wird oft als ein Maß für die Hubkraft der hydraulischen Anlage angegeben. Man kann sie jedoch nur dann unmittelbar mit der dem Gerätegewicht  $G_R$  entsprechenden Kraft vergleichen, wenn  $l_R = 0$  und somit  $O_R \equiv O_5$  gilt. Ist hingegen, wie üblich,  $l_R > 0$ , so trifft im allgemeinen die Ungleichung  $G_R < F_K$  zu.

Aus der durch Gl. (24) bestimmten, auf den Punkt  $O_5$  nach Bild 1 bezogenen Hubkraft läßt sich nunmehr auch die (in Bild 1 mit  $G_R$  bezeichnete) Hubkraft ermitteln, die dem Punkt  $O_R$  zugeordnet ist.

Zunächst ergibt sich der Kupplungspunkt  $O_6$  des Oberlenkers als Schnittpunkt der beiden durch die Gleichungen

$$(x_6 - x_5)^2 + (y_6 - y_5)^2 = l_7^2 \quad (26)$$

und

$$(x_6 - x_c)^2 + (y_6 - y_c)^2 = l_8^2 \quad (27)$$

definierte Kreise um die Punkte  $O_5$  und C mit den Koordinaten  $x_5$  und  $y_5$  sowie  $x_c$  und  $y_c$ . Die dem Koppeldreieck zugeordnete, durch die Punkte  $(x_5, y_5)$  und  $(x_6, y_6)$  bestimmte Gerade hat den Richtungskoeffizienten

$$\alpha_7 = \frac{y_6 - y_5}{x_6 - x_5} \quad (28);$$

hieraus folgt, daß

$$\alpha_R = -\frac{1}{\alpha_7} = \frac{x_5 - x_6}{y_6 - y_5} \quad (29)$$

der Richtungskoeffizient der Geraden ist, die die Punkte  $O_5$  und  $O_R$  durchsetzt. Die Gleichung dieser Geraden lautet also

$$y - y_5 = \alpha_R (x - x_5) \quad (30);$$

daraus ergeben sich die Koordinaten  $x_R$  und  $y_R$  des Punktes  $O_R$  zu

$$x_R = x_5 + \frac{l_R}{\sqrt{1 + \alpha_R^2}} \quad (31)$$

und

$$y_R = y_5 + \alpha_R (x_R - x_5) \quad (32).$$

Da

$$\theta_5 = \arctan \alpha_R \quad (33)$$

gilt, kann man Gl. (31) auf die Form

$$x_R = x_5 + l_R \cos (\arctan \alpha_R) \quad (34)$$

bringen.

Für das Bestimmen der auf den Punkt  $O_R$  bezogenen Hubkraft ( $G_R$  nach Bild 1) ist es erforderlich, die Koordinaten  $x_v$  und  $y_v$  des virtuellen Momentanpols  $O_v$  zu berechnen. Dieser ergibt sich als Schnittpunkt der beiden mit den Punkten  $O_4$  und  $O_5$  sowie C und  $O_6$  festgelegten Geraden, für die die Gleichungen

$$y - y_c = (\tan \theta_6) (x - x_c) \quad (35)$$

und

$$y = (\tan \theta_4) x \quad (36)$$

gelten. Damit ergeben sich die Koordinaten des Momentanpols  $O_v$  zu

$$x_v = \frac{y_c - x_c (\tan \theta_6)}{(\tan \theta_4) - (\tan \theta_6)} \quad (37)$$

und

$$y_v = (\tan \theta_4) x_v \quad (38).$$

Mit diesen beiden Koordinaten erhält man schließlich die Beziehung

$$G_R = F_K \frac{x_5 - x_v}{x_R - x_v} = F_K \frac{s_5}{s_R} \quad (39),$$

mit  $F_K$  nach Gl. (24).

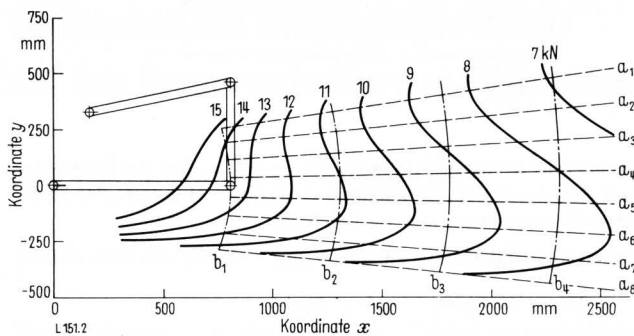
Die sich für einen jeweils vorgegebenen Wert der Größe  $G_R$  ergebende Bahnkurve des Punktes  $O_R$  läßt sich ermitteln, wenn gemäß Gl. (39) die Koordinate  $x_R$  aus

$$x_R = x_v + \frac{F_K}{G_R} (x_5 - x_v) \quad (40)$$

und die Koordinate  $y_R$  aus Gl. (32) berechnet werden. Diese Koordinaten bestimmen jeweils eine Kurve im gewünschten Kennlinienfeld, der ein vorgegebener Wert des Parameters zugeordnet ist.

### 3. Hubkraft-Diagramm für den Dreipunkt-Anbau nach Bild 1

**Bild 2** zeigt als Beispiel das Kennlinienfeld der Hubkraft für einen bestimmten Schlepper; dabei wird vorausgesetzt, daß gemäß Bild 1 für  $\theta_4 = \theta_5 = 0$  die Achsen der unteren Lenker und der Geräte-



**Bild 2.** Diagramm der Hubkraft-Kennlinien für einen bestimmten Schleppertyp, bezogen auf eine Koppelhöhe von 460 mm.

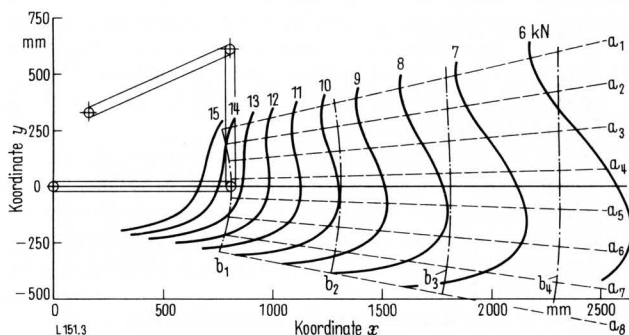
Erklärungen im Text

schwerpunkt in einer Geraden liegen (Ausgangslage). Alle Kurven und Zahlangaben sind eingezeichnet. Das Diagramm enthält drei verschiedenartige Kurven:

1. Den gestrichelten Geraden  $a_1$  bis  $a_8$  entsprechen acht verschiedene Werte des Hubwinkels  $\theta_4$ .
2. Den strichpunktierten Kurven  $b_1$  bis  $b_4$  sind die Bahnen zugeordnet, die während der Hubbewegung ein Punkt des Geräteraahmens beschreibt, dessen Abstand vom Kupplungspunkt  $O_5$  0, 500, 1000 oder 1500 mm beträgt. Ist der Geräteschwerpunkt  $O_R$  mit diesem Punkt identisch, so erfassen diese Kurven jeweils eine Schwerpunkt-Bahn während des Hubvorgangs; Bahnen, die Punkten mit anderen Abständen vom Kupplungspunkt entsprechen, kann man interpolieren.
3. Den ausgezogenen Kurven entsprechen die Kennlinien konstanter Hubkraft; sie geben die Koordinaten der Punkte des Geräteraahmens an, denen während des Hubvorgangs eine konstante Hubkraft zugeordnet ist.

Ein Beispiel erläutere den Gebrauch des Diagramms nach Bild 2. Hat der Geräteschwerpunkt vom Kupplungspunkt den Abstand 500 mm (Kurve  $b_2$ ), so nimmt die Hubkraft, beginnend mit dem Wert 9,2 kN (Schnittpunkt der Kurven  $b_2$  und  $a_8$ ), während der Hubbewegung nacheinander die Werte 10,4; 11,0; 11,1; 11,0; 10,8; 10,7 und 10,8 kN an; sieht man vom Anfangswert ab, so bleibt also der Wert der Hubkraft im gesamten Arbeitsbereich nahezu konstant.

Jede Änderung der geometrischen Parameter bewirkt eine Änderung des Verlaufs der Kennlinien. Dies zeigt z.B. der Vergleich von Bild 2 (Normkoppelhöhe  $l_7 = 460$  mm) mit Bild 3 (Koppelhöhe  $l_7 = 610$  mm). Das Diagramm nach Bild 3 bezieht sich auf



**Bild 3.** Diagramm der Hubkraft-Kennlinien für den Schleppertyp, für den auch das Diagramm nach Bild 2 gilt, jedoch bezogen auf eine Koppelhöhe von 610 mm.

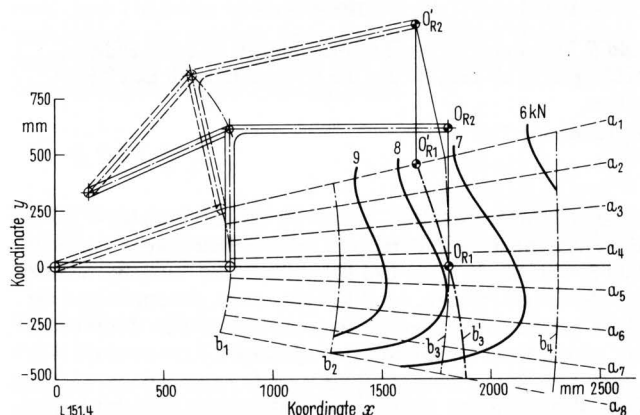
Erklärungen im Text

einen Dreipunkt-Anbau mit längenkorrigiertem Oberlenker; deshalb liegen für  $\theta_4 = \theta_5 = 0$  die Achsen der unteren Lenker und die Punkte des Geräteraahmens ebenfalls in einer Geraden. Gemäß dem Diagramm nach Bild 3 nimmt bei einem Abstand des Geräteschwerpunktes vom Kupplungspunkt von 500 mm die Hubkraft während der Hubbewegung nacheinander die Werte 8,0 (Schnittpunkt der Kurve  $b_2$  mit der Geraden  $a_8$ ), 9,1; 9,7; 9,9; 9,8; 9,7; 9,6 und 9,7 kN an; diese Hubkräfte sind um rd. 10% kleiner als die nach Bild 2.

Auch andere geometrische Parameter, wie z.B. die Koordinaten des Anlenkpunktes des Oberlenkers am Schlepper, beeinflussen den Kennlinienverlauf. Beim Erfassen der Kenngrößen nur eines Schleppertyps muß man sich jedoch auf zwei Kennlinien-Felder beschränken; dabei sollten einem dieser Felder die Maximalwerte, dem anderen Feld die Minimalwerte der Hubkraft in Abhängigkeit von der Hubbewegung entsprechen.

### 4. Hubkraft-Diagramm bei beliebigen Koordinaten des Geräteschwerpunktes

Üblicherweise ist der Geräteschwerpunkt nicht mit einem Punkt des Geräteraahmens identisch. Auch in diesem Fall kann man unmittelbar das Kennlinien-Diagramm benutzen. Dies zeigt Bild 4, dessen Hubkraft-Kennlinien (im Bereich von 6 bis 9 kN) so wie die in Bild 3 verlaufen. Ist der Geräteschwerpunkt  $O_{R1}$  mit einem



**Bild 4.** Ausschnitt aus dem Diagramm nach Bild 3.

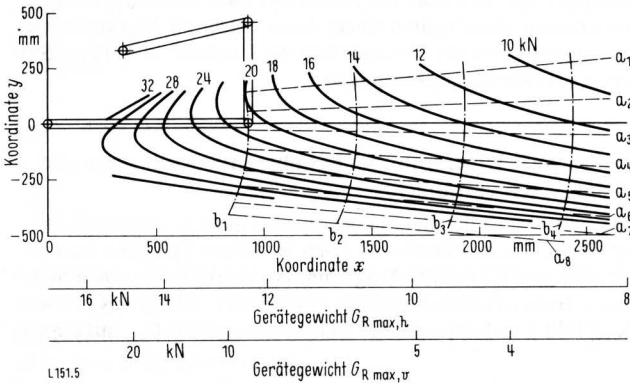
Erklärungen im Text

Punkt des Geräteraahmens identisch, so beschreibt er bei der Hubbewegung z.B. die strichpunktierte Kurve  $b_3$ ; die ihm dabei zugeordneten Hubkräfte lauten 6,7 (Schnittpunkt von  $b_3$  mit  $a_8$ ), 7,5; 7,9; 8,0; 7,8; 7,5; 7,3 und 7,2 kN. Entspricht dem Geräteschwerpunkt der Punkt  $O_{R2}$ , der in diesem Beispiel in einer vertikal gerichteten Geraden in einem Abstand von 610 mm über dem Punkt  $O_{R1}$  liegt, so ergibt sich, bezogen auf die Ausgangslage des Dreipunkt-systems, die gleiche Hubkraft. In allen anderen, den Geraden  $a_1$  bis  $a_8$  zugeordneten Fällen läßt sich die zu ermittelnde Hubkraft mit ausreichender Genauigkeit ebenfalls dem Diagramm entnehmen, wenn man die Kurve einzeichnet, die ein im Punkt  $O_{R2}$  aufgehängtes Pendel mit der Pendellänge  $\overline{O_{R1}O_{R2}}$  während des Hubvorgangs im Diagramm beschreiben würde (Kurve  $b'_3$ ). Den Schnittpunkten der Kurve  $b'_3$  mit den Geraden  $a_8$  bis  $a_1$  entsprechen die Hubkräfte 6,3; 7,2; 7,7; 7,9; 7,8; 7,7; 7,6 und 7,7 kN. Die den Schnittpunkten der Kurve  $b'_3$  mit den Geraden  $a_1$  bis  $a_4$  (bzw.  $a_5$  bis  $a_8$ ) zugeordneten Hubkräfte sind also größer (kleiner) als die Hubkräfte, die den Schnittpunkten der Kurve  $b_3$  mit den Geraden  $a_1$  bis  $a_8$  entsprechen.

Der Verlauf der Hubkraft-Kennlinien gibt unmittelbar eine Auskunft über das Hubvermögen eines Dreipunkt-Systems. Aus Bild 4 geht beispielsweise hervor, daß, bezogen auf den Geräteschwerpunkt  $O_{R2}$ , die Hubkraft während der Hubbewegung in dem Bereich nahezu gleichbleibt, der den Schnittpunkten der Kurve  $b'_3$  mit den Geraden  $a_1$  bis  $a_5$  zugeordnet ist.



**Bild 5** zeigt das Diagramm der Hubkraft-Kennlinien, die einem anderen Schlepper als die Diagramme nach Bild 2 bis 4 entsprechen. Der Verlauf der Kennlinien zeichnet sich dadurch aus, daß die den Schnittpunkten einer bestimmten Kennlinie mit den Geraden  $a_n$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) zugeordnete Hubkraft mit wachsendem Index  $n$  erheblich anwächst. Ein solcher Verlauf kann wünschenswert sein, da er sich auf die beim Beginn einer Hubbewegung verfügbare – und für das „Losreißen“ eines Geräts erforderliche – Hubkraft günstig auswirkt. Allerdings dürfte bei einem Kennlinienverlauf gemäß Bild 5 der beim Übergang von der Geraden  $a_n$  zur Geraden  $a_{n-1}$  auftretende Hubkraft-Abfall so groß sein, daß ein schweres Gerät nicht ausreichend angehoben werden kann.



**Bild 5.** Diagramm der Hubkraft-Kennlinien für einen anderen Schleppertyp als den, für den die Diagramme nach Bild 2 bis 4 gelten.

Erklärungen im Text

Beim Diagramm nach Bild 5 fällt auf, daß sich etwa für  $n \geq 6$  die Hubkraft entlang der Geraden  $a_n$  nur vergleichsweise (vgl. z.B. Bild 3) wenig ändert. Der Grund hierfür ist die Tatsache, daß bei dem Dreipunkt-System, das Bild 5 entspricht, der untere und der obere Lenker nahezu parallel sind und daß deshalb die Hubkraft nur schwach von der Koordinate  $x$  abhängt.

Beim Beurteilen der während des Hubvorgangs tatsächlich nutzbaren Hubkraft muß auch die Stabilität eines Schleppers berücksichtigt werden. Dies ermöglicht das in Bild 5 ebenfalls eingetragene maximal zulässige Gerätegewicht  $G_{Rmax,h}$  (bzw.  $G_{Rmax,v}$ ), dessen Wert von der Koordinate  $x$  abhängt; dabei entspricht der Größe  $G_{Rmax,h}$  (bzw.  $G_{Rmax,v}$ ) die maximal zulässige Kraft, die sich auf Grund der maximal zulässigen Belastung  $G_{hmax}$  der Schlepper-Hinterachse (der minimal erforderlichen Belastung  $G_{vmin}$  der nicht zusätzlich belasteten Schlepper-Vorderachse) ergibt.

## 5. Einfluß der Achsbelastungen

In Bild 5 wurden die den Größen  $G_{Rmax,h}$  und  $G_{Rmax,v}$  zugeordneten Kräfte auf getrennten Skalen aufgetragen. Es ist möglich, ein Rechenprogramm so zu gestalten, daß die Werte dieser Kräfte unmittelbar berechnet und vom Kurvenzeichner (plotter) in das Hubkraft-Diagramm eingezeichnet werden.

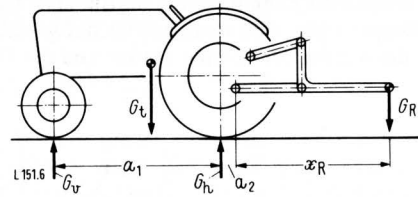
Mit den im Text und in Tafel 1 erklärten Bezeichnungen ergibt sich für das System nach Bild 6 aus der Momentengleichung die Beziehung

$$(G_{hmax} - G_h) a_1 = G_R (a_1 + a_2 + x_R).$$

Hieraus erhält man den Wert  $x_R = x$  der Koordinate  $x$ , bei dem bei Vorgabe des Gerätegewichts  $G_R$  die maximale Belastung  $G_{hmax}$  der Hinterachse erreicht wird; es gilt

$$x_R = a_1 \left( \frac{G_{hmax} - G_h}{G_R} - 1 \right) - a_2.$$

**Bild 6.** Die auf die Achsen eines Schleppers bezogenen Kräfte und Momente.



Daraus geht hervor, daß bei dem Schlepper, für den das Diagramm nach Bild 5 zutrifft, die maximal erreichbare Hubkraft des Kraftheber-Systems ausgenutzt werden kann.

Nimmt man andererseits an, daß  $G_{vmin} = 0,2 G_t$  sein darf, so muß

$$(G_v - 0,2 G_t) a_1 = G_R (a_2 + x_R)$$

gelten, woraus

$$x_R = a_1 \frac{G_v - 0,2 G_t}{G_R} - a_2$$

folgt. Die durch diese Beziehung ausgedrückte Bedingung kann bei dem Schlepper, für den das Diagramm nach Bild 5 zutrifft, überhaupt nicht erfüllt sein, wenn die Vorderachse nicht zusätzlich belastet wird. Im Hinblick auf die Stabilität und die Tragfähigkeit eines Schleppers dürfte es deshalb zweckmäßig sein, außer den in Bild 5 eingetragenen Kenngrößen noch die minimal zulässige Belastung der Schleppervorderachse anzugeben.

\* \* \*

Die Hubkraft eines Schleppers wird bisher entweder in sehr vereinfachter oder in vergleichsweise verwickelter Form angegeben. Die hier beschriebene Methode ermöglicht das Zeichnen von Diagrammen, die Auskunft über die Werte der Kenngrößen geben, die man für das Beurteilen der Eigenschaften eines Schleppers benötigt. Das von einem Kurvenzeichner (plotter) aufgezeichnete Hubkraft-Diagramm vermittelt, bei Vorgabe der geometrischen Parameter des Dreipunkt-Gestänges, eine vollständige Übersicht über die Hubkraft, die bei beliebigen Koordinaten des Geräteschwerpunktes verfügbar ist.

Zwei Diagramme – die den maximal und den minimal nutzbaren Hubkräften entsprechen – dürften wahrscheinlich für das Bereitstellen der zum Prüfen von Schleppern erforderlichen Angaben und der technischen Spezifikationen für Schlepper geeignet sein und ausreichen. Sie ermöglichen auch das Beurteilen der Frage, wie sich die Hubkraft während des Hubvorgangs ändern sollte.

Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß der Wirkungsgrad des Systems außer Betracht blieb; dies hat jedoch keine Bedeutung, wenn der Wert des Gerätegewichts 80% des jeweils berechneten Wertes nicht übersteigt.

## Schrifttum

- [1] Matzen, R.: Beregning af traktorers stabilitet og trepunkts-ophaengte redskabers løftebehov. Ugeskrift for Agronomer. Bd. 114 (1969) Nr. 7, S. 116/21.
- [2] Franke, R., u. A. Treugut: Das Hub- und Tragvermögen des Schleppers. Landtechn. Bd. 25 (1970) Nr. 3, S. 55/58.
- [3] Pflüger, W.: Zur Bestimmung der erforderlichen Hubkraft und der zulässigen Anbau- und Aufsattelmassen an Traktoren. Deutsche Agrartechn. Bd. 19 (1969) Nr. 8, S. 383/86 u. Nr. 9, S. 437/39 u. Nr. 10, S. 488/89.
- [4] Kiene, W.: Der Kraftheber in der Technischen Prüfung von Ackerschleppern und seine Hubkräfte im Dreipunktanbau der Geräte. Landtechnische Forsch. Bd. 13 (1963) Nr. 3, S. 57/66.
- [5] Treugut, A.: Bewegungen und Hubkräfte am System Ackerschlepper – Dreipunkt – Geräte. KTL-Berichte üb. Landtechn. Nr. 121 (1968).