

# Kräfteuntersuchungen an Verstellspindeln in landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Im ersten Teil der Untersuchungen<sup>1)</sup> wurden einige theoretische Grundlagen zur Ermittlung von Kräften in Schraubkurbelgetrieben bekanntgegeben. Dabei wurde besonders das sogenannte Polkraftverfahren herausgestellt, das unter Benutzung der Lage der Relativpole zueinander eine verhältnismäßig einfache Kräfteermittlung ermöglicht. Im nachstehenden Beitrag werden Kräfteuntersuchungen in der Hauptsache ohne dieses Polkraftverfahren an einer Anzahl von Landmaschinen vorgenommen. Da das Polkraftverfahren besonders für schwierige Getriebe anwendbar ist, kann es dazu dienen, den Konstrukteur zu anderen als den üblichen Konstruktionen anzuregen. — Ein Einblick in alle möglichen Arten von Schraubkurbelgetrieben wurde ebenfalls im ersten Teil dieser Untersuchungen vorangestellt; es wurden auch Hinweise auf neue Möglichkeiten bei Verwendung von bestimmten Getrieben gegeben.

## Tiefenverstellung an Anbaupflügen

In Abbildung 1 ist der Anbaupflug an den Holder-Allradschlepper A 10 im Aufriß gezeigt. Der Pflug 5 macht dabei eine Koppelbewegung in einem sechsgliedrigen Getriebe relativ zum Schlepper [1], im Schleppergestell sind die Lenker 2 und 3, die Kraftheberarme 9 und die Schraubenspindel 7 gelagert. Der Pflug selbst ist mit dem Koppelhebel 4 und mit der zweiten Spindel 6 gelenkig verbunden. Die Aufhängung des Pfluges mit Hilfe des gezeigten sechsgliedrigen Getriebes wurde gewählt, um die angebauten Geräte nahe bis zur senkrechten Lage ausheben zu können. Auf diese Weise kann der Schlepper z. B. im Weinbau auf kleinstem Raum wenden.

Auf die räumliche Anordnung der Getriebeteile kann bei der gegebenen Aufgabenstellung verzichtet werden. Diese Aufgabenstellung soll darin bestehen, daß die in den Spindeln 6 und 7 gleich großen Verstellkräfte zu bestimmen sind, wenn der Pflug sich im Boden befindet. Abbildung 2 zeigt das Getriebeschema des Holder-Pfluges. Auf den Pflug wirkt die Kraft  $W_0$ , die sich aus dem Eigengewicht des Pfluges und der auf den Pflug wirkenden Bodenkraft zusammensetzt [2]. Der Pflug bleibt dadurch im Gleichgewicht, da auf ihn vom Boden aus eine Sohlenkraft  $S$  wirkt. Der Pflugkörper 5 dreht gegenüber dem Schlepper 1 um den augenblicklichen Pol 0. Dieser Pol 0 ergibt sich [1], wenn man zunächst die Lenker 2 und 3 zum Schnitt  $T_2$  bringt, den Gelenkpunkt 45 mit  $T_2$  verbindet und diese Verbindungsgerade zum Schnitt 0 bringt mit der Verlängerung der Spindelachse 6 bzw. 7. Als äußere Kräfte müssen demnach  $W_0$  und  $S$  im Gleichgewicht sein. Die Größe von  $W_0$  ist bekannt; vom Sohlendruck  $S$  kennt man die Wirkungslinie, die sich mit der Wirkungslinie von  $W_0$  im Punkt von  $T_1$  schneidet. Verbindet man  $T_1$  mit dem augenblicklichen Pol 0, so kann man eine Kraft  $+W$  in dieser Richtung aus  $W_0$  und  $S$  im Kräfteplan, Abbildung 2a, ermitteln. Die Kraft  $W$  stellt die sogenannte Culmann'sche Hilfsgerade dar, denn am Getriebeglied 5 greifen außer den beiden Kräften  $W_0$  und  $S$  auch noch die Gelenkkräfte  $G_{65}$  und  $G_{45}$  in den Gelenken 56 und 45 an. Die Wirkungslinie der Kraft  $G_{45}$  muß durch den Pol 0 gehen, so daß sich im Kräfteplan das Polygon aus  $W_0$ ,  $S$ ,  $G_{45}$  und  $P_{65}$  schließen muß, wobei die Gelenkkraft  $G_{65}$  gleichzeitig die Verstellkraft  $P$  in den beiden Spindeln 6 und 7 ist. Nunmehr kann man die am Getriebeglied 4 angreifenden 3 Kräfte bestimmen. Ihre Wirkungslinien müssen sich im Punkt  $T_2$  schneiden. Bekannt ist als am Glied 4 angreifend zunächst die Gelenkkraft  $G_{54} = -P_{45}$ , das ist die Kraft, die vom Pflugkörper 5 im Gelenk 45 auf das Glied 4 ausgeübt wird. Es

müssen sich im Kräftedreieck, Abbildung 2a, die Kräfte  $G_{54}$ ,  $G_{34}$  und  $G_{24}$  gleichsinnig schließen, wobei die Wirkungslinien von  $G_{34}$  und  $G_{24}$  zu den Hebelmittellinien der Glieder 2 und 3 parallel sein müssen. Man sieht, daß in der gezeichneten Stellung die Wirkungslinie von  $G_{54}$  mit der Hebelachse 2 nahezu zusammenfällt. Demzufolge wird auch die Gelenkkraft  $G_{34}$  sehr gering. Fallen die Wirkungslinien von  $G_{54}$  und  $G_{24}$  genau zusammen, so wird die Gelenkkraft  $G_{34}$  Null, d. h. der Hebel 3 ist vollkommen entlastet.

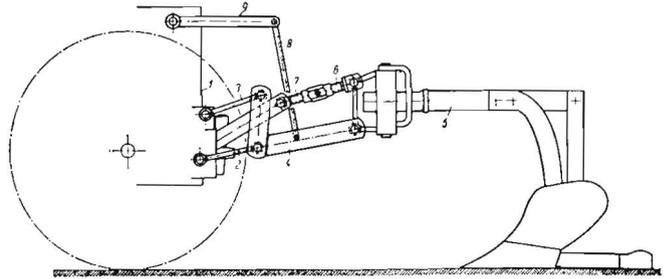


Abb. 1: Anbaupflug am Holder-Allradschlepper A 10 der Firma Holder GmbH., Grunbäch b. Stuttgart

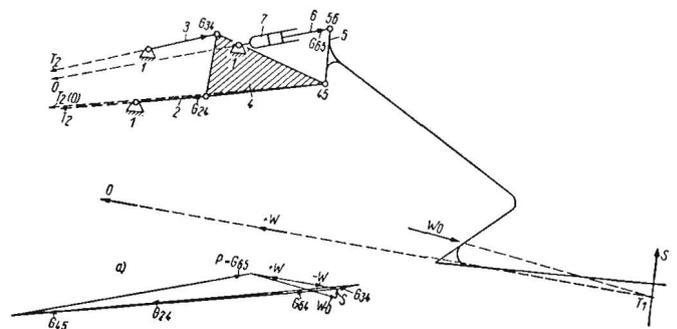


Abb. 2: Getriebeschema des Anbaupfluges nach Abb. 1

Ein weiteres Pflugsystem von insgesamt 24 möglichen sechsgliedrigen Systemen [1] ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Pflugkörper 6 ist mit der Schraubverstellung 5 und mit dem Lenker 4 gelenkig verbunden (in Wirklichkeit sind zwei nebeneinander liegende Lenker 4 vorgesehen, man kann aber mit guter Annäherung mit der Projektion beider Lenker im Aufriß arbeiten). Am Schleppergestell sind nur der Lenker 4 und der obere Hebel 1 gelagert (der Drehpunkt des Hebels 1 im Schleppergestell möge die Kraftheberachse darstellen, der obere Teilhebel die beiden auf der Kraftheberachse angeordneten Kraftheberarme. Der untere Teilhebel soll in der Schleppermitte auf der Kraftheberachse sitzen). Die Zugstange 3 verbindet den Hebel 1 mit dem unteren Lenker 4 und die Schraubverstellung 5 den Pflugkörper 6 mit dem oberen Arm 1.

Nach dem Getriebeschema der Abbildung 4 ist ersichtlich, daß der Pflugkörper 6 relativ zum Schleppergestell 2 eine Koppelbewegung ausführt. Der augenblickliche Pol 26 dieser Relativbewegung ergibt sich mit Hilfe der Zwischenpole 14 und 16, wobei der Pol 14 als Schnittpunkt der Polgeraden 12 und 24 mit der Stange 3 zu ermitteln ist. Den Zwischenpol 16 findet man als Schnittpunkt der Polgeraden 14—46 mit der Polgeraden 15—56. Zuletzt ergibt sich der Pol 26 als Schnittpunkt der Polgeraden 12—16 mit der Polgeraden 24—46. In der gleichen Weise wie beim vorhergegangenen Beispiel sei wiederum die Kraft  $W_0$  gegeben, der von der Sohlenkraft  $S$  das Gleichgewicht gehalten wird. Die Verstellkraft  $P$  in der Verschraubung 5 ist zu bestimmen. Zu dem Zwecke nimmt man die Verschraubung 5 als einen starren Hebel an. Die Wir-

<sup>1)</sup> Hain, K.: Die Weiterleitung von Bewegungen und Kräften durch Gewindespindeln. Landtechnische Forschung 6 (1956). S. 1—14.

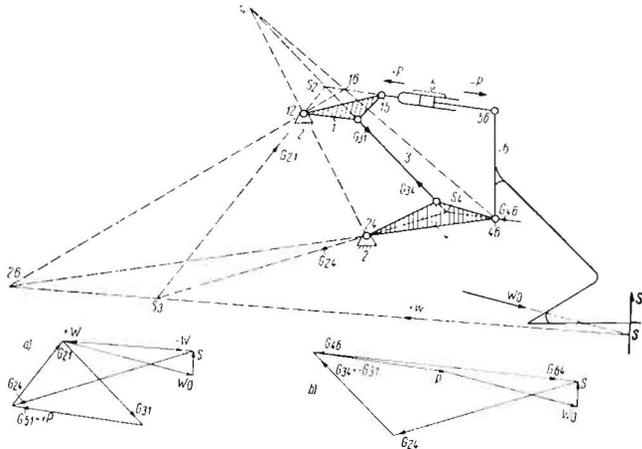
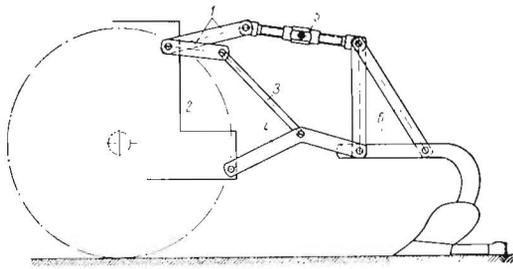


Abb. 3 (oben): Anbaupflug mit sechsgliedrigem Verbindungsgetriebe  
 Abb. 4 (unten): Schema des Anbaupfluges nach Abb. 3  
 Abb. 4 a: Kräfteplan zur Ermittlung der Spindelkraft  $P$  und der Gelenkkräfte  
 Abb. 4 b: Kontrollkräfteplan für die in Abb. 4 a ermittelten Kräfte

kungslinien von  $W_0$  und  $S$  schneiden sich im Punkt  $S_1$ . Diesen Punkt verbindet man mit dem augenblicklichen Pol  $Z_6$  und erhält damit die Wirkungslinie einer Ersatzkraft  $W$  (Culmann'sche Gerade). Im Kräfteplan, Abbildung 4a, kann man also aus  $W_0$  und den Richtungen von  $S$  und  $W$  die Größe der letzteren Kräfte bestimmen. Die Kräfte  $W_0$  und  $S$  wirken vom Gestell 2 aus. Von hier aus wirken aber außerdem noch die beiden Lagerkräfte  $G_{24}$  und  $G_{21}$ . Im Kräfteplan muß sich also das Kräftepolygon aller vom Gestell 2 ausgeübten Kräfte gleichsinnig schließen. Dieses besteht aus den Kräften  $W_0$ ,  $S$ ,  $G_{24}$  und  $G_{21}$ . Die Hilfskraft  $W$  dient zur Ermittlung der Größe der Kräfte  $G_{21}$  und  $G_{24}$ . Die Richtung der Kraft  $G_{21}$  ergibt sich dadurch, daß auf das Glied 1 drei Kräfte wirken, von denen man die Wirkungslinien der beiden Kräfte  $G_{31}$  und  $G_{51} = +P$  kennt. Diese fallen nämlich mit den Hebelmittellinien zusammen; sie schneiden sich im Punkt  $S_2$ . Durch diesen Punkt muß auch die Wirkungslinie der Kraft

$G_{21}$  gehen, da die Wirkungslinien dreier auf eine Ebene wirkenden Kräfte sich in einem Punkt schneiden müssen. Die Wirkungslinien von  $G_{21}$  und  $G_{24}$  müssen sich auf der  $W$ -Linie schneiden. Man braucht also nur die gefundene Wirkungslinie von  $G_{21}$  zum Schnitt  $S_3$  mit der  $W$ -Linie zu bringen und diesen Punkt mit dem Gelenk 24 zu verbinden. Im Kräfteplan, Abbildung 4a, kann man aus der Kraft  $G_{21}$ , die man nach den vorangegangenen Konstruktionen kennt, die Kräfte  $G_{31}$  und  $G_{52} = +P$  im Kräftedreieck bestimmen.

In Abbildung 4b sind einige Kontrollen für die in Abbildung 4a ermittelten Kräfte durchgeführt worden. Die Kraft  $G_{31}$  der Stange 3 wirkt in der gleichen Größe aber mit umgekehrter Richtung als Gelenkkraft  $G_{34}$  auf das Glied 4. Mit der bereits bekannten Wirkungslinie der Kraft  $G_{24}$  schneidet sich die Wirkungslinie von  $G_{34}$  im Punkt  $S_4$ . Durch diesen Punkt muß aber die dritte Gelenkkraft  $G_{46} = -G_{64}$  des Gliedes 4 gehen. Trägt man also in Abbildung 4b die bekannte Kraft  $G_{34} = -G_{31}$  auf, setzt daran die bereits ebenfalls bekannte Kraft  $G_{24}$ , so muß die sich daraus ergebende Wirkungsrichtung der Kraft  $G_{64}$  mit der Richtung  $S_{4-46}$  im Lageplan, Abbildung 4, parallel sein. Eine weitere Kontrolle besteht darin, daß sich alle 4 auf das Glied 6 wirkenden Kräfte in einem Kräftepolygon gleichsinnig schließen müssen. Es sind dies die Kräfte  $W_0$ ,  $S$ ,  $G_{46}$  und  $-P$ . In Abbildung 4b sind an die eben ermittelte Kraft  $G_{46}$  die bereits aus Abbildung 4a bekannten Kräfte  $-P$ ,  $W_0$  und  $S$  angesetzt worden und es zeigt sich, daß das Kräftepolygon sich schließt, daß also die Ermittlungen in Abbildung 4a richtig waren.

### Verstelleinrichtungen an Fördergeräten

Das Höhenfördergerät der Firma Ludwig Jabelmann, Uelzen, (Abb. 5), wird durch die Spindel 4 und die Mutter 5 verstellt. Es soll die Verstellkraft bestimmt werden, wenn das Eigengewicht  $G_0$  und die Lage des Schwerpunktes, durch den die Wirkungslinie von  $G_0$  gehen muß, gegeben sind. Bei einer Verstellung haben die Laufräder eine relative Bewegung zueinander, die aber bei der Vernachlässigung der Reibungskräfte keinen Einfluß auf die Verstellkraft hat. Im Getriebschema der Abbildung 6 sind deshalb die Radachsen A und B als in je einem Schieber 8 und 9 verschiebbar angenommen. Aus der Kraft  $G_0$  kann man, wenn man das gesamte Gebilde zunächst als starr betrachtet, die Gegenkräfte  $G_{18}$  und  $G_{19}$  mit Hilfe der beliebigen Seilstrahlen I, II und III bestimmen, wenn man im Kräfteplan der Abbildung 6a hierzu die Parallelen I', II' und III' durch den ebenfalls beliebig gewählten Pol 0 zeichnet. Am Getriebeglied 6 greifen die 4 Kräfte  $G_0$ ,  $G_{19}$ ,  $G_{36}$  und  $G_{26}$  an. Die Wirkungslinie der letzteren Kraft muß senkrecht auf der Kante  $k$  stehen, auf der die Rolle 7 abläuft. Aus  $G_0$  und  $G_{19}$  findet man die Resultierende  $R = -G_{18}$ , deren Wirkungslinie sich mit der Wirkungslinie von

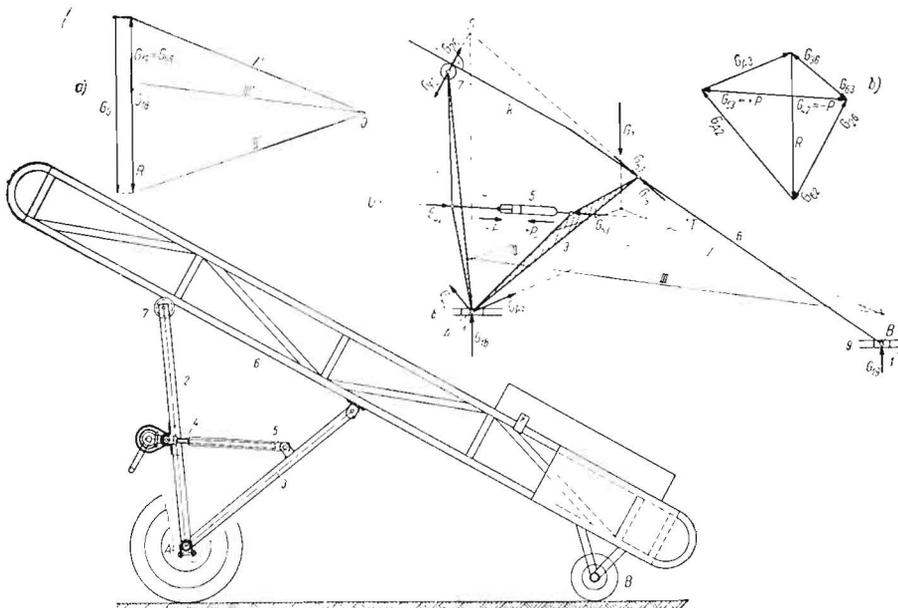


Abb. 5 (unten): Höhenfördergerät, Ludwig Jabelmann, Uelzen

Abb. 6 (oben): Getriebschema des Höhenfördergerätes nach Abb. 5

Abb. 6 a: Ermittlung der Gestellkräfte  $G_{18}$  und  $G_{19}$  aus dem Eigengewicht  $G_0$  der Abb. 6

Abb. 6 b: Bestimmung der Spindelkraft  $P$  und der Gelenkkräfte für das Gerät nach Abb. 5



für den Transport der Maschine ausgehoben. Die von der Zugstange 9 durch Vermittlung der Zugketten 11 und 13, sowie des Dreifachhebels 10 bewegten Teile 12 und 14 sollen bei der folgenden Kräfteuntersuchung unberücksichtigt bleiben, da sie durch den Handhebel  $H$  verstellbar werden. Es ist nun zu untersuchen, wie groß die Längskraft  $P$  zwischen Mutter 7 und Spindel 8 sein muß, wenn bei der Verstellbewegung im Boden der Siebbandrahmen 3 mit dem Rodeschar vertikal zu bewegen ist.

In Abbildung 10 ist das Getriebeschema des Rodegerätes dargestellt. Da bei der Verstellbewegung zwischen Mutter 7 und 8 eine Entfernungsänderung zwischen der Anhängerklaue  $D$  und dem Achsmittelpunkt  $B$  stattfindet, und da hierbei der Punkt  $B$  eine Relativbewegung parallel zur Erdoberfläche ausführt, muß man diesen Punkt als in einer geraden Führung gleitend mit dem Schieber 2 annehmen. Der Punkt  $D$  wurde unverschieblich angenommen; auf das Rodeschar soll eine Bodenkraft  $R$  wirken. In dem Getriebeschema sind nunmehr insgesamt 4 Kräfte zwischen dem Getriebe und dem Gestell wirksam:

1. die bereits erwähnte Bodenkraft  $R$ ;
2. das Eigengewicht  $G_0$  des Gerätes einschließlich der aufgenommenen Kartoffeln und Erde;
3. die von dem Rad auf den Boden bzw. vom Boden auf das Rad ausgeübte Vertikalkraft  $C_{12}$  (die Reibungskräfte sollen auch hier nach unberücksichtigt bleiben);
4. die auf den Gelenkpunkt  $D$  wirkende Gelenkkraft  $G_{16}$ .

Die sowohl nach Größe als auch nach Lage der Wirkungslinie bekannten Kräfte  $G_0$  und  $R$ , die sich im Punkt  $T$  schneiden, können durch eine Resultierende  $Q$  ersetzt werden. Die durch  $T$  gehende Wirkungslinie von  $Q$  schneidet die Wirkungslinie der Vertikalkraft  $C_{12}$  im Punkt  $S$ , durch den nun auch die Wirkungslinie der im Punkt  $D$  angreifenden Kraft  $G_{16}$  gehen muß. Aus  $Q$  kann man nun also im Kräfteplan, Abbildung 10a, die Kräfte  $C_{12}$  und  $G_{16}$  bestimmen.

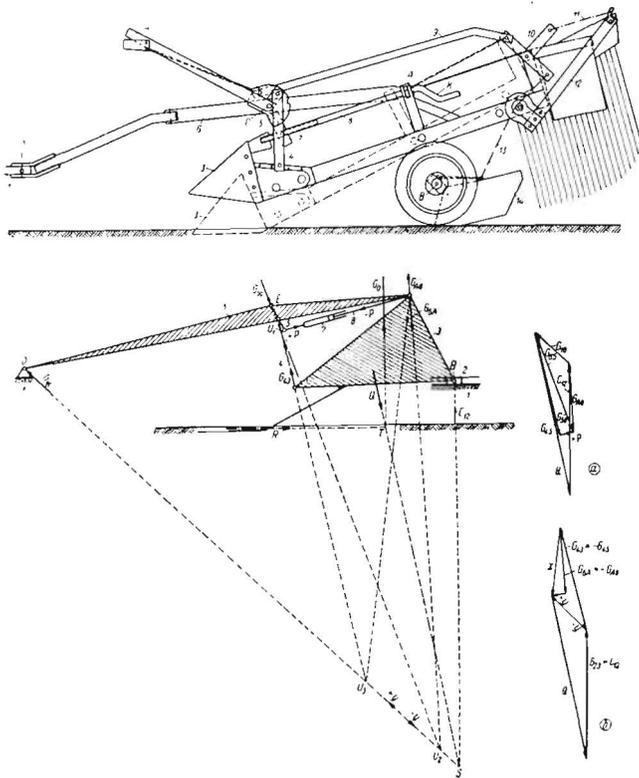


Abb. 9 (oben): Kartoffelvorratsroder, F. Stille, Münster/Wesf.

Abb. 10 (unten): Getriebeschema des Roders nach Abb. 9

Abb. 10 a: Kräfteplan für das Getriebeschema nach Abb. 10

Abb. 10 b: Kontroll-Kräfteplan für alle am Getriebe-glied 3 des Getriebe-schemas nach Abb. 10 angreifenden Kräfte

Am Getriebe-glied 6 greifen 3 Kräfte in den Gelenk-punkten  $A$ ,  $E$  und  $D$  an, von denen man nunmehr die Gelenkkraft  $G_{16}$  kennt. Auch die Wirkungslinien dieser 3 Kräfte müssen sich in einem Punkt, in Abbildung 10 im Punkt  $U$  schneiden. Das Glied 4 als einfache Zugstange kann nur Kräfte in seiner Richtung übertragen. Bezüglich des Gliedes 5 ist somit der Schnittpunkt  $U_1$  der Wirkungslinien der Kräfte  $+P$  und  $G_{45}$  gegeben, wenn von  $G_{45}$  zunächst die Richtung des Stabes 4 bekannt ist. Durch diesen Schnittpunkt  $U_1$  muß aber auch die Gelenkkraft  $G_{56}$  des Gelenk-punktes  $E$  gehen, so daß deren Wirkungslinie nunmehr zum Schnitt  $U_2$  gebracht werden kann mit der bereits bekannten Gelenkkraft  $G_{16}$ . Damit kennt man auch die Wirkungslinie der im Gelenk-punkt  $A$  auf den Hebel 6 wirkenden Gelenkkraft  $G_{AG}$ , die durch  $U_2$  gehen muß. Im Kräfteplan Abbildung 10a kann man nunmehr also aus  $G_{16}$  die anderen auf das Glied 6 wirkenden Kräfte  $G_{56}$  und  $G_{AG}$  bestimmen.

Am Getriebe-glied 5 wirken in seinen 3 Gelenk-punkten wiederum 3 Kräfte, die sich, wie bereits erwähnt, im Punkt  $U_1$  schneiden müssen. Von diesen 3 Kräfte ist die Kraft  $G_{65} = -G_{56}$  bekannt, so daß im Kräfteplan die Stangenkraft  $G_{45}$  und die Kraft  $+P$  in der Spindel ermittelt werden kann. Damit ist die gestellte Aufgabe bereits gelöst.

Zur Kontrolle kann man in Abbildung 10b den Kräfteplan für die auf das Glied 3 wirkenden Kräfte aufzeichnen. Es wirken die sechs Kräfte  $G_0$ ,  $R$ ,  $G_{23} = C_{12}$ ,  $G_{43} = -G_{45}$ ,  $G_{AG} = -G_{AG}$  und  $-P$ . Die beiden Kräfte  $G_0$  und  $R$  wurden bereits zu  $Q$  vereinigt. Die übrigen sind nach den angegebenen Gleichheiten sämtlich bekannt. Zunächst muß sich also das Kräftepolygon aus allen Kräften schließen, wie aus Abbildung 10b hervorgeht. Außerdem kann man aber noch die richtige Lage der Wirkungslinien kontrollieren. Die Kräfte  $Q$  und  $G_{23}$  schneiden sich im Punkt  $S$ , die Kräfte  $G_{43}$  und  $X$  in einem Punkt  $U_3$  auf der Geraden  $SU_2$ , wenn  $X$  die Resultierende der im gleichen Punkt  $A$  angreifenden Kräfte  $G_{GA}$  und  $-P$  ist. Die Gerade  $SU_3$  ist damit eine sogenannte Culmannsche Hilfsgerade, deren Richtung im Kräfteplan sowohl eine Resultierende  $Y$  für die Kräfte  $Q$  und  $G_{23}$ , als auch für die Kräfte  $G_{43}$  und  $X$  ergeben muß. Eine vorherige Kontrolle ist schon dadurch vorhanden, daß der Schnittpunkt  $U_3$  der Resultierenden  $X$  mit  $G_{43}$  auf der Geraden  $SU_2$  liegen muß.

### Tiefeneinstellung eines Grubbers

Am Beispiel des Schleppergrubbers „Climox“ des Rabe-Werkes, Linne über Bohmte, Bez. Osnabrück, soll die Tiefenverstellung mit Hilfe eines Schraubkurbelgetriebes untersucht werden.

Nach Abbildung 11 ist dieser Grubber ein Einachsanhängergerä-t, das in Punkt  $B$  am Schlepper angekuppelt wird. Es soll angenommen werden, daß die 4 hintereinander liegenden Reihen der Grubberschare sich im Boden befinden und über die Spindel 3 und die Mutter 4 der Doppelhebel 5 ver-stellt wird. An diesem Hebel befindet sich im Gelenk-punkt  $A$  die Radachse des Gerätes und durch die Verschiebung des Hebels 5 wird diese Achse gehoben und gesenkt und damit eine Tiefenverstellung erreicht. Es ist zu beachten, daß die Grubberreihen 7 und 9, sowie 10 und 12 als selbst-einstellende Geräte über die Ketten 8 und 11 eine automatische gegenseitige Verstellung in Abhängigkeit von den jeweiligen Bodenkraften  $R$  ermöglichen.

Abbildung 12 zeigt das Getriebeschema des Grubbers. Am Rahmen 2 sind die Werkzeuge 7, 9, 10 und 12 gelenkig angebracht. Der Hebel 5 ist ebenfalls mit dem Rahmen 2 gelenkig verbunden und wird über die Spindel 3 und die Mutter 4 relativ zum Glied 2 gedreht. Nimmt man den Kupp-lungspunkt  $B$  augenblicklich als festen Stütz-punkt an, so kann sich der Radmittelpunkt  $A$  wegen der gleichbleibenden Auf-lage der Räder auf der Bodenoberfläche nur in einer Hor-izontalen bewegen. Aus diesem Grunde ist im Getriebe-schema ein Gleitstein 6 in einer Führung 1 angegeben worden. Als äußere Kräfte sei das Eigengewicht  $G_0$  des gesam-ten Gerätes und seine durch die Lage des Schwerpunktes gegebene Wirkungslinie bekannt; die auf die Grubber-schare wirkenden Bodenkraften  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$  sind in be-stimmten Tiefenbereichen auf Grund von Messungen gege-

ben. Nach der Getriebeanordnung entspricht die Werkzeugreihe 10 der Reihe 7 und die Werkzeugreihe 12 der Reihe 9. Wenn die Wirkungslinien der Bodenkraft  $R$  bekannt sind, dann schneiden sich diese mit den in Richtung der Ketten 8 und 11 wirkenden Kräfte in den Punkten  $T_1, T_2, T_3$  und  $T_4$  und durch diese  $T$ -Punkte müssen die Gelenkkräfte  $G_{27}, G_{2/10}, G_{2/12}$  und  $G_{29}$  gehen. Man kann also in den Kräfteplänen, Abbildungen 12a und 12b, diese Gelenkkräfte bestimmen. Es ist dabei zu beachten, daß die Kettenkräfte  $G_{87} = -G_{89}$  und  $G_{11/10} = G_{11/12}$  sein müssen, daß sich also auf Grund dieser Vorschrift die Grubberschare in ihrer Tiefe einstellen. Auf die Selbsteinstellmöglichkeiten soll im Rahmen dieser Betrachtungen nicht eingegangen werden, da entsprechende Untersuchungen bereits früher durchgeführt worden sind [3].

dung 12 beginnt man also beispielsweise in einem beliebigen Punkt auf  $G_0$  mit dem Seilstrahl I, der die Wirkungslinie von  $G_{27}$  in einem Punkt schneidet, von dem aus man den Seilstrahl II bis zur Wirkungslinie der Kraft  $G_{29}$  zu ziehen hat. Auf diese Weise kommt man am Schluß bis zu den Strahlen V und VI, durch deren Schnittpunkt die Wirkungslinie von Z gehen muß.

Nun betrachtet man zunächst das Gebilde aus den Getriebegliedern 2, 3, 4 und 5 als starres Getriebeglied, an dem die 3 Kräfte Z,  $G_{16}$  und  $G_{65}$  und die Stützkraft  $G_{12}$  angreifen. Von der Kraft  $G_{16}$  kennt man die Wirkungslinie, die senkrecht auf der Bewegungsrichtung des Gleitsteines 6 stehen muß. Diese schneidet die Wirkungslinie von Z in Punkt S, so daß man im Kräfteplan, Abbildung 12c, aus Z die Kräfte  $G_{16} = G_{65}$  und  $G_{12}$  bestimmen kann. Von den auf das

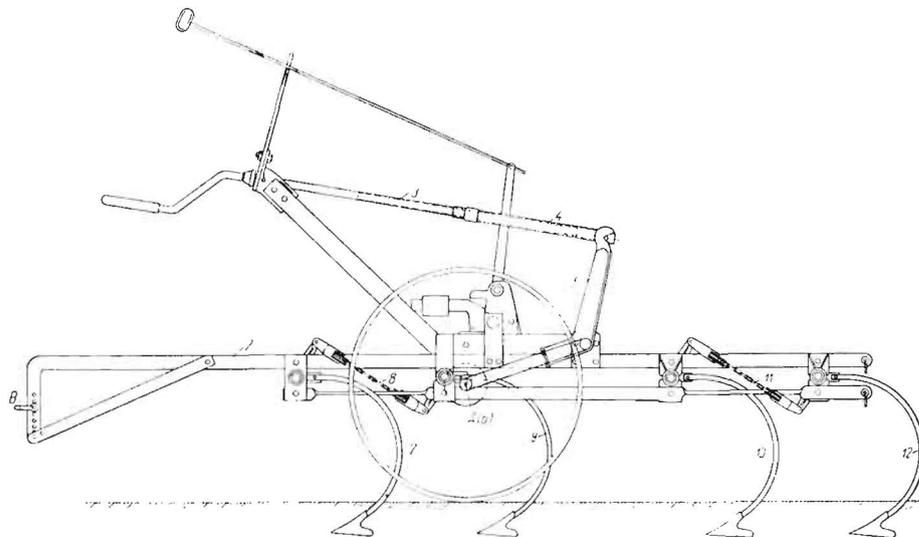


Abb. 11: Schleppergrubber „Climax“, Rabe-Werk, Linne über Bohmte, Bez. Osnabrück

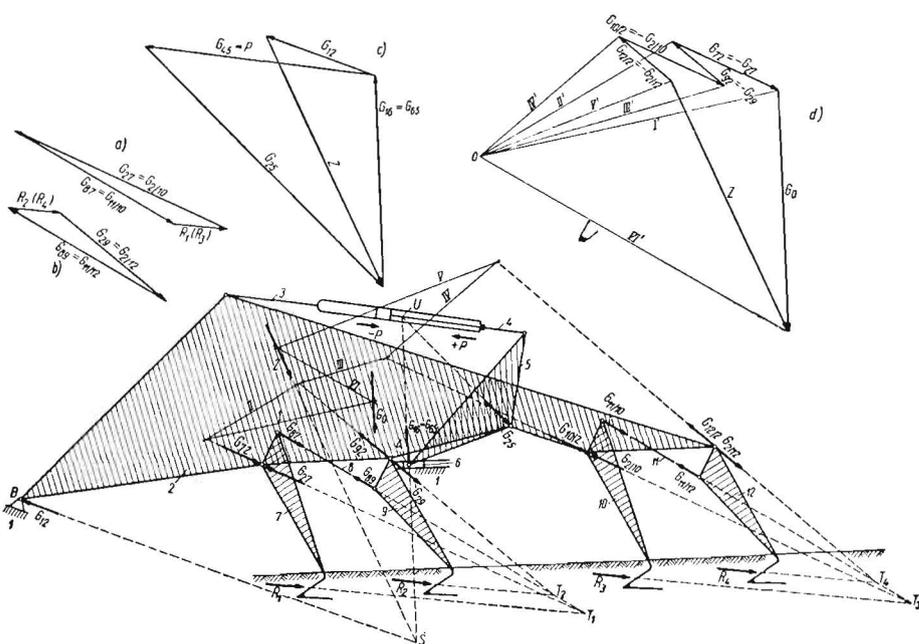


Abb. 12: Getriebeschema des Grubbers nach Abb. 11

Abb. 12 a: Kräfteplan für Getriebeglied 7 der Abb. 12

Abb. 12 b: Kräfteplan für Getriebeglied 9 der Abb. 12

Abb. 12 c: Kräfteplan zur Ermittlung der Resultierenden Z

Abb. 12 d: Kräfteplan für die am Glied 2 angreifenden Kräfte

Am Glied 2 kennt man nunmehr folgende angreifende Kräfte:  $G_0, G_{72} = -G_{27}, G_{92} = -G_{29}, G_{10/2} = -G_{2/10}$  und  $G_{12/2} = -G_{2/12}$ . Im Kräfteplan der Abbildung 12c kann man für alle diese Kräfte die Resultierende Z bestimmen. Die Lage der Wirkungslinie dieser Kraft erhält man durch das Seileck in Abbildung 12<sup>a</sup>), dessen Strahlen I bis VI den Strahlen I' bis VI' parallel sein müssen, wenn man in Abbildung 12d einen beliebigen Pol O angenommen hat. In Abbil-

dung 12 beginnt man also beispielsweise in einem beliebigen Punkt auf  $G_0$  mit dem Seilstrahl I, der die Wirkungslinie von  $G_{27}$  in einem Punkt schneidet, von dem aus man den Seilstrahl II bis zur Wirkungslinie der Kraft  $G_{29}$  zu ziehen hat. Auf diese Weise kommt man am Schluß bis zu den Strahlen V und VI, durch deren Schnittpunkt die Wirkungslinie von Z gehen muß.

<sup>2)</sup> In den Kräfteplänen der Abbildungen 12 c und 12 d sind die Kraftvektoren doppelt so groß angenommen worden wie in den Abbildungen 12 und 12 a, um klare Zeichnungen entstehen zu lassen.

### Differentialverstellung an einem Anhängepflug

Die Differentialverstellung an Anhängepflügen dient zum Ausrichten der beiden vorderen Räder gegeneinander, d. h. also zur Horizontalstellung des Pfluges und damit zur Tiefengleichstellung der einzelnen Pflugkörper, beides in Fahrtrichtung gesehen. In Abbildung 13 ist ein Anhängepflug der Rabe-Werke in ausgehobener Lage dargestellt. In dieser Lage soll nunmehr untersucht werden, welche Kraft  $P$  an der Spindel 5 notwendig ist, um den gesamten Pflug, in Fahrtrichtung gesehen, um die Auflage der beiden Räder  $R_1$  und  $R_2$  zu kippen. Das Rad  $R_1$  ist in der Transportstellung mit dem Rahmen 7 verriegelt. Die Tiefenverstellspindel 8 kann deshalb bei den folgenden Untersuchungen vernachlässigt werden; genau so wie die Verstellung des hinteren Furchenrades  $R_3$ . Die hierzu notwendigen Getriebeteile sind aus diesem Grunde in der Zeichnung auch nicht enthalten.

Bei der Differentialverstellung dieses Pfluges handelt es sich um ein räumliches Bewegungsproblem. Bei gleichbleibender Auflage der Räder  $R_1$  und  $R_2$  wird das Rad  $R_3$  in der Höhe mit der Hilfe der Spindel 5 verstellt. Das Eigengewicht des Pfluges stützt sich also in den 3 Auflagepunkten der Räder ab, so daß man die Stützkkräfte dieser Räder bestimmen kann. Mit guter Annäherung ist daher eine Projektion des gesamten Getriebes in die Aufrißebene möglich, wenn man die zu dem Pflugrahmen 7 gehörigen Punkte  $B$  und  $C$  für das Verstellgetriebe als feste Punkte betrachtet und im Radachsenpunkt  $A$  des Rades  $R_3$  die entsprechende Stützkraft  $Q$  wirken läßt. Das Getriebeschema ist in Abbildung 14 herausgezeichnet worden. Es besteht aus dem Achshebel 2 des Verstellrodes  $R_3$  mit der Kulisse  $k$  gegen die sich ein Bolzen  $D$  des Hebels 3 legt. Mit dem Hebel 3 ist gelenkig verbunden ein Hebel 4, der sich mit seiner unteren Kante  $q$  gegen einen Bund  $l'$  legt. Die Hebel 3 und 4 werden durch Spindel 5 und die Mutter 6 gegeneinander verspannt.

Bei der Kräfteermittlung kann man am Getriebeglied 2 beginnen, an dem die in Punkt  $A$  wirkende Kraft  $Q$  bekannt ist. Am Hebel 2 wirkt vom Bolzen  $D$  aus eine Kraft  $G_{23}$ , die normal zur Kurve  $k$  gerichtet sein muß, also durch den Mittelpunkt  $M$  der kreisbogenförmigen Kurve  $k$  geht. Durch den Schnittpunkt  $S$  der Wirkungslinien der Kräfte  $Q$  und  $G_{23}$  muß auch die im Stegpunkt  $C$  wirkende Kraft  $G_{12}$  gehen, so daß man im Kräfteplan, Abbildung 14 a, für den Hebel 2 das Kräftedreieck aus  $Q$ ,  $G_{12}$  und  $G_{32}$  zeichnen kann. Zunächst kann man die Getriebeteile 3, 4, 5, 6, als ein starres um den Stegpunkt  $B$  drehendes Gebilde ansehen, und es wirken hieran die 3 Kräfte  $G_{23} = -G_{32}$ , die Stegkraft  $G_{13}$  und die an der Kante  $q$  wirkende, rechtwinklig auf dieser Kante stehende und durch  $C$  gehende Kraft  $G_{14}$ . Von diesen Kräften ist  $G_{23}$  nach Größe und Richtung und  $G_{14}$  mit seiner Wirkungslinie bekannt. Dadurch findet man den Schnittpunkt  $T$ , durch den auch die Stegkraft  $G_{13}$  gehen muß. Im Kräfteplan kann man nunmehr aus  $G_{23}$  die Kräfte  $G_{13}$  und  $G_{14}$  bestimmen. Am Glied 4 kennt man die Kraft  $G_{14}$  und die Richtung

der Verstellkraft  $P$ , die sich im Punkt  $U$  schneiden. Durch diesen Punkt muß auch die Kraft  $G_{34}$  gehen, so daß sich im Kräfteplan aus  $G_{14}$  die Kräfte  $G_{54} = +P$  und  $G_{34}$  bestimmen lassen. Zur Kontrolle müssen sich im Kräfteplan alle am Glied 3 wirkenden Kräfte  $G_{13}$ ,  $G_{43}$ ,  $G_{64} = -P$ ,  $G_{23}$  schließen.

### Verstellung am Scheibepflug

Die Kräfteermittlung in einem zusammengesetzten Getriebe mit 2 überlagerten Belastungsfällen soll am Beispiel des Scheibenschälpfluges „Roburit K 10“ der Firma Gebr. Eberhardt, Ulm, gezeigt werden.

In Abbildung 15 ist der Grundriß und in Abbildung 16 der Aufriß dieses Pfluges dargestellt. Es soll in den folgenden Kräfteplänen gezeigt werden, wie groß die Kraft zwischen der Mutter 6 und der Spindel 7 ist, wenn von der Spindel 7 aus im ausgehobenen Zustand des Pfluges eine Verstellung entgegen dem Eigengewicht  $G_0$  des Pfluges durchzuführen ist. In ausgehobener Stellung ist am Bodenrad mit der Achse  $A_0$  die Kurbel  $A_0A$  mit dem Hubarm 2 fest gekuppelt, so daß die genannte Kurbel mit diesem Hubarm ein starres Getriebeglied beim Verstellvorgang darstellt. Hierbei findet in Längsrichtung eine Relativbewegung zwischen der Achse  $A_0$  des Vorderrades und der Achse  $C$  des Hinterrades statt. Bei der Bewegungseinleitung bei der Spindel 7 wird der Winkelhebel 5, der im Rahmen 4 gelagert ist, verdreht und überträgt seine Bewegung über die Koppelstange 3 auf den Hubarm 2. Dieser wiederum leitet seine Bewegung über die Stange 8 auf den hinteren Hubarm 9 weiter. Vom Hubarm 2 wird außerdem die Bewegung weitergegeben über die räumliche Koppel 11 auf den Winkelhebel 12 (Abb. 15). Von dort aus überträgt die Stange 13 die Bewegung weiter auf den Hubarm 14, der über das Schraubenge triebe 15, 16 und den Schieber 17 das Furchenrad 18 ebenfalls in der Höhe verstellt. Bei den folgenden Untersuchungen soll die Übertragung zum Rad 18 vernachlässigt werden, da das Eigengewicht  $G_0$  des Pfluges zum größten Teil auf der Seite der beiden anderen Räder wirkt. Eine Einbeziehung dieser Bewegung würde in den Rahmen einer räumlichen Kräfteuntersuchung fallen und soll aus diesem Grunde ebenfalls späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Im Getriebeschema der Abbildung 17 kann man nunmehr die Achse  $A_0$  als feststehend annehmen und muß dann die Achse  $C$  als horizontal geführt mit einem Schieber 10 versehen. Es wirken als belastende Kräfte das Eigengewicht  $G_0$  des Pfluges und die Federkraft  $F$  der Ausgleichsfeder. Zu ermitteln ist die Kraft  $P$  zwischen Verstellspindel und Mutter. Zunächst wird die Wirkung der Federkraft  $F$  vernachlässigt und nur der Einfluß des Gewichtes  $G_0$  berücksichtigt. Der äußeren Kraft  $G_0$  wird das Gleichgewicht gehalten durch die Gelenkkkräfte  $G_{12}$  und  $G_{1/10}$ , die vom Gestell 1 aus auf den Schieber 10 und auf das Getriebeglied 2 ausgeübt werden. Von der Kraft  $G_{1/10}$  kennt man die Wirkungslinie, die

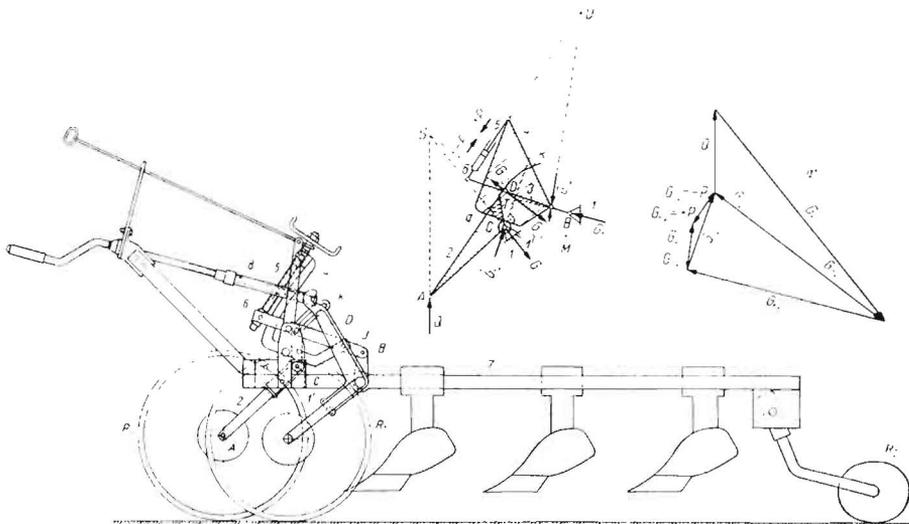


Abb. 13 (unten): Anhängepflug des Rabe-Werkes, Linne über Bohmle, Bez. Osnabrück

Abb. 14 (oben): Getriebeschema des Anhängepfluges nach Abb. 13

Abb. 14 a: Kräfteplan für das Getriebe nach Abb. 14

ohne Berücksichtigung der Reibung senkrecht zur Führung des Schiebers 10 gerichtet sein muß. Sie läuft also parallel zu  $G_0$ ; demzufolge muß auch die Gelenkkraft  $G_{12}$  parallel dazu verlaufen. Man kann also im Kräfteck der Abbildung 17a die Kraft  $G_0$  aufzeichnen, einen beliebigen Pol 0 annehmen und zu den Polstrahlen I' und II' im Getriebeschema die Parallelen I und II hierzu zwischen den entsprechenden Wirkungslinien zeichnen und erhält den Seilstrahl III, zu dem man in Abbildung 17a durch 0 die Parallelen zieht und damit die Größe der Kräfte  $G_{1/10}$  und  $G_{12}$  findet. Die vom Schieber 10 auf das dreigelenkige Glied 9 ausgeübte Kraft  $G_{10/9}$  hat die gleiche Größe und Richtung wie  $G_{1/10}$ . Die Stange 8 kann auf das Glied 9 nur eine Kraft  $G_{89}$  in ihrer Richtung übertragen, so daß man den Schnittpunkt U der Wirkungslinien  $G_{10/9}$  und  $G_{89}$  bestimmen kann. Durch diesen Punkt muß auch die vom Glied 4 auf das Glied 9 ausgeübte Gelenkkraft  $G_{49}$  gehen. Im Kräfteplan der Abbildung 17b kann man also aus  $G_{10/9}$  die Kräfte  $G_{89}$  und  $G_{49}$  bestimmen.

Nunmehr kann man zunächst noch ohne Berücksichtigung der Ausgleichsfeder F zur Belastung des Gliedes 2 übergehen. An diesem Glied kennt man die Kräfte  $G_{82} = -G_{89}$  die von der Stange 8 auf das Glied 2 ausgeübt wird. Weiterhin kennt man die Gestellkraft  $G_{12}$ , so daß man in Abbildung 17 die Wirkungslinie  $G_{82}$  mit  $G_{12}$  zum Schnitt S bringen kann. Im Kräfteplan der Abbildung 17c ist eine Ermittlung der Resultierenden R aus  $G_{12}$  und  $G_{82}$  durchgeführt worden. Die Wirkungslinie von R muß durch S gehen. Die vom Glied 3 (Abb. 17) auf das Glied 2 ausgeübte Gelenkkraft  $G_{32}$  kann nur ihre Wirkungslinie in der Richtung der Stange 3 haben, die sich mit der Wirkungslinie der Resultierenden R im Punkt V schneidet. Durch diesen Punkt muß nunmehr die Wirkungslinie der letzten am Glied 2 wirkenden Kraft  $G_{42}$  gehen; das ist die Kraft, die vom Glied 4 auf das Glied 2 ausgeübt wird. Im Kräfteplan, Abbildung 17c, sind nunmehr aus R die Kräfte  $G_{32}$  und  $G_{42}$  bestimmbar.

Für das Glied 4, den Rahmen des Pfluges, kennt man auf Grund der vorangegangenen Kräfteermittlungen das Eigengewicht  $G_0$  des Pfluges und die Gelenkkräfte  $G_{24} = -G_{42}$  und  $G_{94} = -G_{49}$ . Am Glied 5 wirken 3 Gelenkkräfte, von denen man die Richtung des Gliedes 6 ( $-P$ ) und der von der Stange 3 auf das Glied 5 ausgeübten Kraft kennt, deren Wirkungslinien sich in T schneiden. Damit ist auch die Wirkungslinie der Gelenkkraft  $G_{54}$  als durch T gehend bekannt. Man kann also jetzt im Kräfteplan der Abbildung 17a die Kräfte  $G_0$ ,  $G_{94}$  und  $G_{24}$  nach Größe und Richtung aneinander antragen und am Ende dieser Vektorenkette die Parallelen zur Wirkungslinie der Kraft P und der Gelenkkraft  $G_{54}$  zeichnen, wodurch auch die Größe der beiden letzteren Kräfte durch das Schließen des Kräfteckes bestimmt sind. Zur Kontrolle ist es zweckmäßig, in Abbildung 17a einen beliebigen Pol 0 anzunehmen und von diesem die Polstrahlen IV' bis VIII' einzuzichnen. Zu diesen Polstrahlen zeichnet man in Abbildung 17 die parallelen Seilstrahlen IV bis VIII, die, wie in Abbildung 17 erkenntlich, sich als Seileck zwischen den Wirkungslinien der dazu gehörigen Kräfte schließen müssen.

Die Wirkung der Feder F auf die Belastung der Spindel 7 gegenüber der Mutter 6 soll nach dem Getriebeschema der Abbildung 17d untersucht werden. Da sowohl die Federkraft F als auch die Spindel- bzw. Mutter-Kraft  $P_F$  innere Kräfte sind, ist keine Rückwirkung im Gestell 1 vorhanden, so daß die zum Glied 1 führenden Getriebeglieder im Schema vernachlässigt werden können. Man kennt für das Glied 2 die Wirkungslinie der Gelenkkraft  $G_{32}$  und die Federkraft F nach Größe und Wirkungslinien. Beide Wirkungslinien schneiden sich in Punkt S durch den auch die Gelenkkraft  $G_{42}$  gehen muß. Im Kräfteplan der Abbildung 17e kann man also aus F die Kräfte  $G_{32}$  und  $G_{42}$  bestimmen. Von den auf das Glied 5 einwirkenden Kräften (Abb. 17d) kennt man nunmehr Größe und Richtung der Kraft  $G_{35} = -G_{32}$  und die Richtung der Kraft  $P_F$ . Die Wirkungslinien schneiden sich in Punkt T durch den auch die Wirkungslinie der Gelenkkraft  $G_{45}$  gehen muß. Im Kräfteplan, Abbildung 17e, ist also eine Ermittlung der Kräfte  $G_{65} = P_F$  und  $G_{45}$

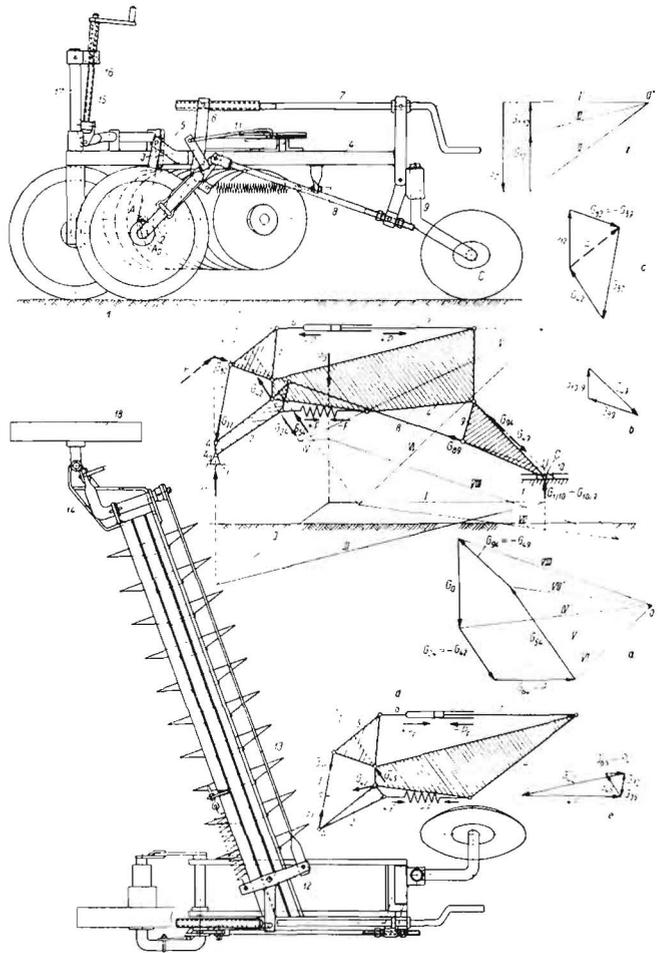


Abb. 15 (unten): Grundriß des Scheibenschälpfluges „Roburit K 10“, Gebr. Eberhardt, Ulm/Danau

Abb. 16 (oben): Aufriß des Scheibenschälpfluges nach Abb. 15

Abb. 17 (Mitte): Getriebeschema des Getriebes nach den Abbildungen 15 und 16

Abb. 17 a: Kräfteck für Glied 4 des Getriebes nach Abb. 17

Abb. 17 b: Kräfteplan für Glied 9 des Getriebes nach Abb. 17

Abb. 17 c: Kräfteplan für Glied 2 des Getriebes nach Abb. 17

Abb. 17 d: Getriebeschema wie Abb. 17 für Feder F

Abb. 17 e: Kräfteplan für Federkraft nach Abb. 17 d

Abb. 17 f: Kräfteplan zur Nachprüfung der äußeren Kräfte des Getriebes nach Abb. 17

möglich. Man sieht, daß die Verstellkraft  $P_F$  durch die Wirkung der Feder F entgegengesetzt gerichtet ist derjenigen Kraft P, die nach Abbildung 17 dem Eigengewicht des Pfluges  $G_0$  das Gleichgewicht zu halten hat. In Abbildung 17f ist eine Nachprüfung der äußeren Kräfte gezeigt. Die von einem beliebigen Pol 0' gezogenen Strahlen I', II' und III' müssen in Abbildung 17 parallele Strahlen I, II und III ergeben, die sich zwischen den Wirkungslinien der Kräfte  $G_0$ ,  $G_{12}$  und  $G_{1/10}$  schneiden müssen.

### Schraubkurbelgetriebe in Hebebühnen

Bei der Senkrecht-Hebebühne des Eisenwerkes Friedrich Schröder erfolgt das Heben und Senken der Last durch elektromotorischen Antrieb unter Vermittlung eines Schraubgetriebes mit einer Spindel, die Rechts- und Linksgewinde hat. Nach Abbildung 18 wird die Spindel 2 von einem Elektromotor angetrieben. Diese wiederum bewegt 2 Rollensätze 3 und 9, die sich gegen die Kurvenhebel 4 und 8 legen. Die vertikal bewegte Bühne 6 ist mit den Hubhebeln 5 und 7 verbunden, die von den Kurvenhebeln 4 und 8 angehoben werden. Die Rollen 5a und 7a der Hebel 5 und 7 stützen sich gegen eine gestellfeste Schiene 1a ab. Um eine Überbestimmung des gesamten Getriebes zu vermeiden, muß an einem der Gelenke zwischen der Bühne 6 und den

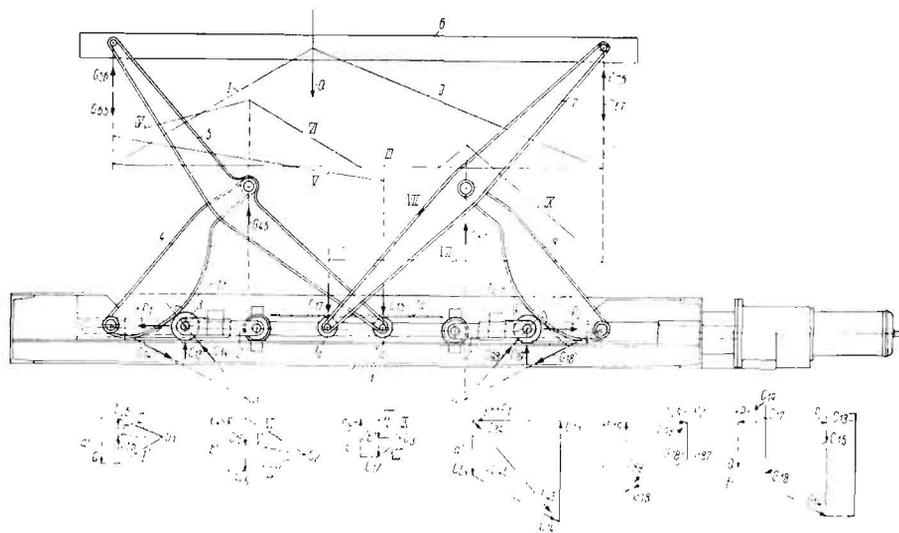


Abb. 18: Senkrecht-Hebebühne, Eisenwerk Fr. Schröder, München

Abb. 18 a: Kräfteplan für Glied 6 des Getriebes nach Abb. 18

Abb. 18 b: Kräfteplan für Glied 5 des Getriebes nach Abb. 18

Abb. 18 c: Kräfteplan für Glied 7 des Getriebes nach Abb. 18

Abb. 18 d: Kräfteplan für die Glieder 3 und 4 des Getriebes nach Abb. 18

Abb. 18 e: Kräfteplan für die Glieder 8 und 9 des Getriebes nach Abb. 18

Abb. 18 f: Kräfteplan für die äußeren Kräfte des Getriebes nach Abb. 18

Hebeln 5 und 7 ein Langloch vorgesehen werden. Eine mathematisch genaue Vertikalbewegung der Gelenkpunkte der Hebel 5 und 7 an der Bühne 6 ist dadurch gewährleistet, daß das linke und auch das dazu spiegelbildliche rechte Teilgetriebe als gleichschenklige Schubkurbelgetriebe ausgebildet sind, d. h. die Entfernung zwischen den Gelenkpunkten der Kurvenhebel 4 und 8 muß gleich der Entfernung zwischen den Gelenken der Hebel 5 und 7 und außerdem gleich der Rollentfernung  $5a$  und  $7a$  von den mittleren Gelenkpunkten sein.

Als Belastung für die Hebebühne wurde absichtlich eine außermittig wirkende Kraft  $Q$  angenommen. Im Langloch der Bühne 6 kann bei Vernachlässigung der Reibungskräfte nur eine Kraft  $C_{76}$  senkrecht zum Langloch ausgeübt werden. Bei im allgemeinen horizontaler Stellung der Bühne 6 und horizontalem Langloch sind damit die Kräfte  $Q$  und  $C_{76}$  parallel, ihr Schnittpunkt liegt also im Unendlichen. Demzufolge muß die dritte auf die Bühne 6 wirkende Kraft  $G_{56}$  ebenfalls parallel zu den beiden genannten Kräften sein. Zwischen den Wirkungslinien der 3 Kräfte zeichnet man die beliebigen Seilstrahlen I, II und III und im Kräfteplan, Abbildung 18 a, über der Kraft  $Q$  mit beliebigem Pol  $O_1$  die Parallelen I', II', III' zu den Seilstrahlen I, II, III und findet die Größe der Kräfte  $C_{76}$  und  $G_{56}$ . Für den Hebel 5 ist nunmehr die Kraft  $G_{65} = -G_{56}$  bekannt. An der Rolle 5a kann nur eine Kraft  $C_{15}$  auf den Hebel 5 wirken, deren Wirkungslinie senkrecht zur Führung 1a steht. Damit sind für den Hebel 5 die parallelen Wirkungslinien der Kräfte  $G_{65}$  und  $C_{15}$  bekannt und die Wirkungslinie der dritten auf den Hebel 5

wirkenden Kraft  $G_{45}$  muß zu diesen Kräften wiederum parallel sein. Man kann also im Kräfteplan, Abbildung 18 b, mit Hilfe der vom beliebigen Pol  $O_2$  ausgehenden Parallelen IV', V' und VI' zu den beliebigen angenommenen Seilstrahlen IV, V, VI, aus der Kraft  $G_{65}$  die beiden anderen Kräfte  $G_{45}$  und  $C_{15}$  bestimmen. In der gleichen Weise wurde in Abbildung 18 c für den Hebel 7 aus der Kraft  $C_{67} = -C_{76}$  die Kräfte  $C_{17}$  und  $G_{87}$  bestimmt, wobei vom beliebigen Pol  $O_3$  ausgehend die Parallelen VII', VIII' und IX' zu den im Lageplan beliebigen Seilstrahlen VII, VIII, IX gezeichnet wurden. Am Kurvenhebel 4 greifen drei Kräfte an, zwei in seinen Gelenken und die dritte zwischen der Rolle 3 und der Kurve des Hebels 4. Von diesen drei Kräften kennt man die Kraft  $G_{54} = -G_{45}$ . Von der Rollenkraft  $C_{34}$  kennt man die Wirkungslinie, die senkrecht auf der gemeinsamen Tangente  $t_1$  zwischen Rolle 3 und Kurvenhebel 4 stehen muß. Dabei ergibt sich der Schnittpunkt  $S_1$ , durch den auch die Wirkungslinie der dritten vom Gestell 1 auf den Kurvenhebel 4 ausgeübte Kraft  $G_{14}$  gehen muß. Im Kräfteplan, Abbildung 18 d, kann man nunmehr aus der Kraft  $G_{54}$  die Größe der Kräfte  $G_{14}$  und  $C_{34}$  bestimmen. Für die Rolle 3 ergeben sich aber noch die senkrecht zur Führung 1 stehende Kraft  $C_{13}$  und die Spindelkraft  $+P_1 = G_{23}$ , so daß man aus der Rollengelenkkraft  $G_{43} = -C_{34}$  die beiden Kräfte  $C_{13}$  und  $G_{23} = +P_1$  ermitteln kann. Das gleiche Verfahren wurde im Kräfteplan, Abbildung 18 e, für den Kurvenhebel 8 und die Rolle 9 durchgeführt. Aus der bekannten Kraft  $G_{18}$  und  $C_{98}$ , wenn wiederum die Wirkungslinien von  $G_{78}$  und  $C_{98}$  sich in einem Punkt  $S_2$  im Lageplan schneiden und wenn

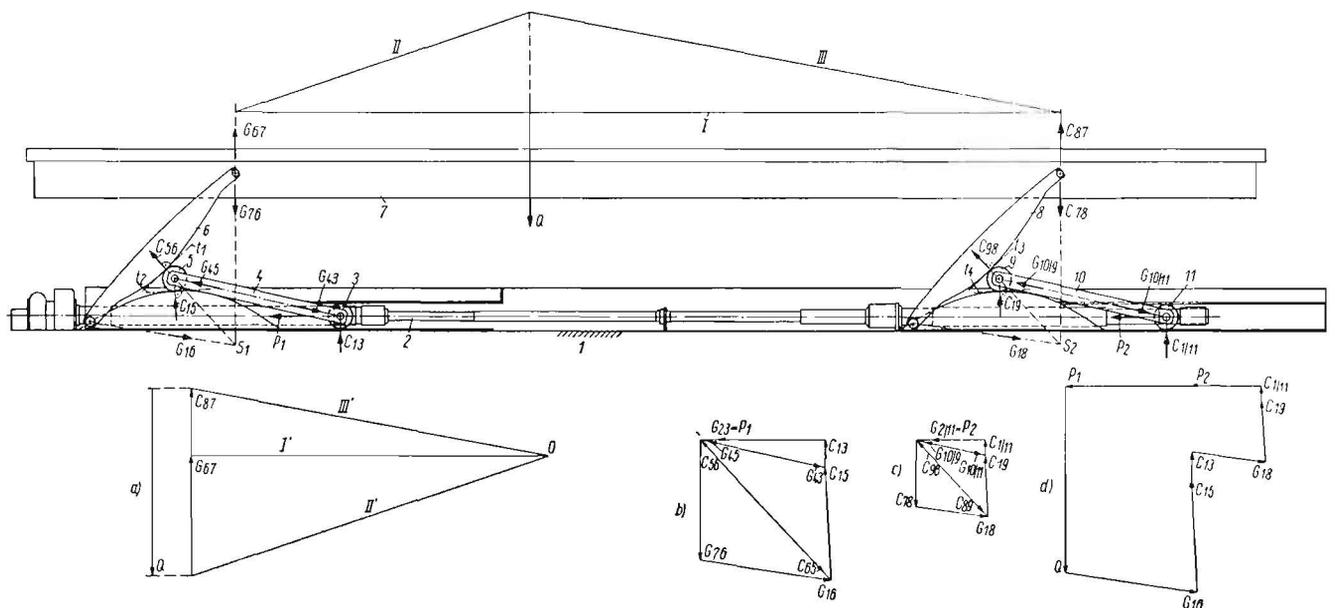


Abb. 19: Columbus-Hebebühne, Eisenwerk Fr. Schröder, München. — Abb. 19 a: Kräfteplan für Glied 7 des Getriebes nach Abb. 19. — Abb. 19 b: Kräfteplan für die Glieder 5 und 6 des Getriebes nach Abb. 19. — Abb. 19 c: Kräfteplan für die Glieder 8 und 9 des Getriebes nach Abb. 19. — Abb. 19 d: Kräfteplan für die äußeren Kräfte des Getriebes nach Abb. 19

durch diesen Punkt die Wirkungslinie der Gestellkraft  $G_{18}$  geht. Die Wirkungslinie von  $C_{98}$  steht wiederum senkrecht auf der gemeinsamen Tangente  $t_2$  zwischen Rolle 9 und Kurvenhebel 8. In Abbildung 18e ergeben sich aus der Kraft  $G_{89} = -C_{98}$  wiederum die beiden Kräfte  $C_{19}$  und  $G_{29} = -P_2$ .

Für alle vom Gestell 1 auf das System ausgeübten Kräfte wurde in Abbildung 18f der Kontrollkräfteplan gezeichnet. Alle diese Kräfte müssen sich in einem Kräftepolygon schließen. Sie wurden in folgender Reihenfolge aneinander angeordnet:  $Q, G_{14}, C_{13}, C_{15}, G_{18}, C_{19}, C_{17}, -P_2$  und  $+P_1$ .

Abbildung 19 zeigt eine Columbus-Hebebühne des Eisenwerkes Friedrich Schröder, München. Bei diesen Hebebühnen wird die Bühne nicht mehr genau senkrecht nach oben, sondern durch eine sogenannte Kreisschiebung bewegt, d. h. die Bühne bleibt zwar immer zu sich selbst parallel, ihre einzelnen Punkte bewegen sich aber auf je einem Kreisbogen mit untereinander gleichem Halbmesser. Das Getriebe der Columbus-Hebebühne besteht aus zwei gleichen Teilgetrieben. Um eine Überbestimmung zu vermeiden, kann auch hier wieder die Hebebühne 7 an einem ihrer beiden Gelenke ein Langloch aufweisen. Verzichtet man auf das Langloch, so ist eine Überbestimmung des Getriebes vorhanden. Dieses hat nicht mehr den Freiheitsgrad eins, sondern null. In einem solchen „überbestimmten“ Getriebe müssen die Gliedlängen genau eingehalten werden. Die Bauweise kann aber verantwortet werden, weil sie eine geringe Biegebeanspruchung der Schwinghebel im Gefolge hat. Die erheblichen Horizontalkräfte am Ober- und Unterrahmen müssen durch kräftig gehaltene Lagerstellen aufgenommen werden.

Eine von einem Elektromotor angetriebene Spindel 2 verschiebt mit auf beiden Seiten gleicher Steigung die Rollen 3 und 11. Am Gestell 1 sind 2 feste Kurven angeordnet, auf denen die Rollensätze 5 und 9 abrollen. Gleichachsig zu diesen Rollen drehen weitere Rollen die Kurvenhebel 6 und 8 gleichsinnig um ihre Gestelldrehpunkte.

Es wurde wieder eine außermittig wirkende Belastung  $Q$  angenommen, aus der in der gleichen Weise wie in Abbildung 18 die auf die Bühne 7 wirkenden Kräfte  $G_{67}$  und  $C_{87}$  ermittelt werden können. Auch hier kann man mit Hilfe der beliebig im Lageplan gezeichneten Seilstrahlen I, II und III im Kräfteplan, Abbildung 19a, die Größe dieser Kräfte durch die Parallelen I', II', III' zu den Seilstrahlen I, II und III bestimmen, wenn man einen beliebigen Pol 0 annimmt. Am Hebel 6 kennt man die Kraft  $G_{76} = -G_{67}$  und die Wirkungslinie der Kraft  $C_{56}$ , die senkrecht auf der gemeinsamen Tangente  $t_1$  zwischen Rollenhebel 5 und Kurvenhebel 6 stehen muß. Dabei ergibt sich der Schnittpunkt  $S_1$ , durch den die Wirkungslinie der Gestellkraft  $G_{16}$  geht. Im Kräfteplan, Abbildung 19b, ist also die Bestimmung der Kräfte  $C_{56}$  und  $G_{16}$  aus der Kraft  $G_{76}$  möglich. An der Rolle 5 greifen drei

Kräfte an: Die nunmehr bekannte Kraft  $C_{65} = -C_{56}$  und die nach ihren Wirkungslinien bekannten Kräfte  $G_{45}$  und  $C_{15}$ . Die Wirkungslinie von  $G_{45}$  fällt mit der Stabachse des Druckhebels 4 zusammen, die Wirkungslinie von  $C_{15}$  steht senkrecht auf der Tangente  $t_2$  zwischen der Rolle 5 und der gestellfesten Kurve. In diesem Kräfteplan ergeben sich damit aus der Kraft  $C_{65} = -C_{56}$  die Kräfte  $C_{15}$  und  $G_{45}$ . An der Rolle 3 wirken ebenfalls drei Kräfte: die bekannte Kraft  $G_{43} = -G_{45}$ , die senkrecht zur Führung 1 wirkende Kraft  $C_{13}$  und die in Richtung der Spindelachse wirkende Kraft  $G_{23} = P_1$ . Daraus ergeben sich im Kräfteplan, Abbildung 19b, aus der Kraft  $G_{43}$  die Kräfte  $C_{13}$  und  $G_{23} = P_1$ .

In der gleichen Weise wurden im Kräfteplan, Abbildung 19c, die Belastungsverhältnisse für das rechte Teilgetriebe geklärt. Die Wirkungslinie der gegebenen Kraft  $C_{78} = -C_{87}$  schneidet sich mit der auf der Tangente  $t_3$  senkrechten Rollenkraft  $C_{98}$  im Punkt  $S_2$ , durch den auch die Gestellkraft  $G_{18}$  gehen muß. Es ergeben sich also aus  $C_{78}$  die Kräfte  $G_{18}$  und  $C_{98}$ . Für die Rolle 9 findet man wieder aus der Kraft  $C_{89} = -C_{98}$  die Kräfte  $C_{19}$  und  $G_{10/9}$ , wobei die Wirkungslinie von  $C_{19}$  senkrecht auf der Tangente  $t_4$  zwischen Rolle 9 und gestellfester Kurve stehen muß. Weiterhin findet man aus den die Rolle 11 belastenden Kräften die Größe der Kräfte  $C_{1/11}$ , deren Wirkungsweise senkrecht zur Führung 1 stehen muß und der Spindelkraft  $G_{2/11} = P_2$ ; denn die Größe der Kraft  $G_{10/11} = -G_{10/9}$  ist bekannt.

Im Kräfteplan, Abbildung 19d, sind zur Kontrolle alle vom Gestell 1 auf das gesamte System ausgeübten Kräfte aufgetragen worden, die sich in einem Polygon schließen müssen. Es sind dies  $Q, G_{16}, C_{15}, C_{13}, G_{18}, C_{19}, C_{1/11}, P_2$  und  $P_1$ .

Zu den untersuchten Hebebühnen ist noch folgendes erwähnenswert. Die Schwierigkeiten bei einer solchen Konstruktion bestehen darin, daß sämtliche Getriebeteile im eingefahrenen Zustand der Hebebühnen in vertikaler Richtung einen möglichst geringen Raum einnehmen müssen. Weiterhin sind die Kurvenhebelformen der entsprechenden Getriebeteile so ausgebildet, daß beim Hubvorgang die Antriebsspindel immer mit nahezu konstanter Kraft belastet wird. Dadurch werden Belastungsspitzen vermieden und man kommt mit den kleinsten Antriebsmotoren aus. Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Konstruktion derartiger Hebebühnen ist demnach durch die Bestimmung der Kurvenformen gegeben. In dem hier vorgezeichneten Rahmen kann naturgemäß auf die dafür erforderlichen Maßnahmen nicht besonders eingegangen werden.

#### Schrifttum:

- [1] K. Hain: Die Entwicklung von Anbausystemen für Schleppergeräte aus sechsgliedrigen kinematischen Ketten. Grundlagen der Landtechnik, Heft 4, Düsseldorf 1953, Seite 65–71.
- [2] H. Skalweit: Kräfte zwischen Schlepper und Arbeitsgerät. Grundlagen der Landtechnik, Heft 1, Düsseldorf 1951, Seite 25–36.
- [3] K. Hain: Vortrag: Selbststellende Getriebe. 13. Tagung der Landmaschinenkonstruktoren am 10. 3. 1955.

## Résumé

Ing. K. Hain: „Kräfteuntersuchung an Verstellspindeln in landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten.“

Als Fortsetzung früherer Untersuchungen über Kräfte und deren Weiterleitung durch Gewindespindeln (Landtechnische Forschung 1956, Heft 1) werden landwirtschaftliche Maschinen und Geräte behandelt, bei denen Gewindespindeln als Verstellglieder und als Antriebsglieder verwendet werden. Es sollen hierdurch dem Konstrukteur Unterlagen für seine tägliche Arbeit in die Hand gegeben werden. Die im Aufsatz angeführten Geräte waren auf der DLG-Ausstellung, München 1955, ausgestellt.

Ing. K. Hain: "Investigations on the Forces Involved in Threaded Spindles used as Raising and Lowering Elements in Agricultural Machinery."

In continuation of previous investigations on forces and their transmission through threaded spindles ("Landtechnische Forschung", No. 1, 1956), the present article investigates agricultural machinery and equipment in which threaded spindles are used as power transmission and as raising and lowering elements. The purpose of the article is to furnish information to the designer which will be of use to him in daily practice. The various items of machinery and equipment referred to in the article were all on display at the D. L. G. Exhibition in Munich in 1955.

Ing. K. Hain: «Etude des efforts supportés par les vis de réglage montés sur des machines et outils agricoles.»

Faisant suite aux études précédentes concernant les efforts et leur transmission par des vis, (Landtechnische Forschung 1956, No. 1) l'auteur examine des machines et outils agricoles sur lesquelles les vis sont utilisées aussi bien en tant qu'organe de réglage que d'entraînement. Ces études doivent servir de base au constructeur pour son travail journalier. Les outils mentionnés dans l'article, ont été exposés lors de l'exposition de la Société Allemande Agricole qui a eu lieu en 1955 à Munich.

Ing. K. Hain: «Estudios de las fuerzas actuando en los husillos de regulación de las máquinas y aperos agrícolas.»

En continuación de los tratados anteriores sobre fuerzas activas y su transmisión por husillos roscados (Investigaciones de Agronomía Técnica, Núm. 1 de 1956), se examinan máquinas y aperos donde se emplean husillos roscados como piezas de regulación y como elementos de mando con motivo de entregar al constructor valiosos detalles para su trabajo. Los aperos mencionados en el artículo estuvieron exhibidos en la Exposición Agrícola Alemana (DLG) de 1955 en Munich.