

Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT
 LANDMASCHINEN- UND ACKERSCHLEPPER-VEREINIGUNG (LAV) IM VDMA
 MAX EYTH-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER LANDTECHNIK (MEG)

Heft 1/1965

MÜNCHEN

15. JAHRGANG

Manfred Kahrs:

Die Anwendung der Hydrostatik im Landmaschinen- und Ackerschlepperbau

Institut für Landmaschinen, TH Braunschweig

Nachdem in einem vorhergehenden Aufsatz [1] die Grundlagen der hydrostatischen Kraft- und Leistungsübertragung erläutert wurden, ist es das Ziel dieses Aufsatzes, den Leser mit einer Reihe wesentlicher Anwendungsmöglichkeiten der Hydrostatik vertraut zu machen, soweit sie für den Landmaschinen- und Schlepperbau von Bedeutung sind. Dabei sollen sowohl bekannte Entwicklungen, wie etwa hydrostatische Kreise für Regelkraftheber, als auch in der Zukunft liegende Anwendungsmöglichkeiten, wie der hydrostatische Fahrtrieb, behandelt und dazu zwischen den Leistungsantrieben für rotatorische Bewegungen, den Leistungsantrieben für translatorische Bewegungen, den Hilfskraftanlagen und den hydropneumatischen Federungen unterschieden werden.

Bei der Darstellung der zu behandelnden hydraulischen Anlagen sollen auch hier wieder die bereits in [1] erläuterten Symbole benutzt werden. Besonders diese Anwendung der Hydrauliksymbole bei der Darstellung praktischer konstruktiver Beispiele wird die erhebliche Bedeutung der Symbole zeigen, und zwar sowohl für das Planen solcher Anlagen als auch für das Verständnis der Funktion bereits vorhandener Systeme.

1. Leistungsantriebe für Drehbewegungen

Die augenscheinlichsten Vorzüge der Hydrostatik für rotierende Abtriebsbewegungen sind in den Möglichkeiten der freizügigen räumlichen Gestaltung und der stufenlosen Drehzahl- und Drehmoment-Wandlung zu sehen.

Schon oft wurde daher auf die Vorteile stufenlos verstellbarer hydrostatischer Wandler für den Fahrtrieb der Ackerschlepper hingewiesen [2; 3]. Als Getriebe für Flurfördergeräte, Hubstapler, Bagger oder für Rangierlokomotiven sind sie bekanntlich recht weit verbreitet, für den Schlepper sind sie bis heute jedoch noch nicht aus dem Versuchsstadium herausgekommen. Dagegen werden hydrostatisch betriebene Schlepper-Mähwerke, die vor allem hinsichtlich des einfachen Anbaus an den Schlepper Vorteile bieten, schon seit längerer Zeit in gewissen Stückzahlen gefertigt.

Hydrostatische Wandler, die aus einer Verstellpumpe und einem oder mehreren Motoren bestehen, werden in aufgelöster Bauweise und in Blockbauweise ausgeführt. Bei der aufgelösten Bauweise wird die Verstellpumpe direkt vom Verbrennungsmotor des Schleppers angetrieben; sie versorgt dabei zwei parallel geschaltete Hydromotoren, welche die Triebräder des Schleppers einzeln antreiben und direkt in oder an diesen angeordnet sind. Mechanische Übertragungselemente entfallen dann ganz und die Pumpe muß nur durch Leitungen mit dem Motor verbunden werden, so daß sich ganz neue Möglichkeiten für die Konzeption des Schleppers ergeben. Diese Bauweise bietet aber einige wesentliche Schwierigkeiten, die hauptsächlich dadurch bedingt sind, daß die an den Triebrädern angeordneten Hydromotoren bei sehr kleinen Drehzahlen außerordentlich hohe Drehmomente übertragen müssen. Derartige langsamlaufende Hydromotoren erfordern einen sehr großen konstruktiven Aufwand hinsichtlich der Aufnahme der

hohen Beanspruchungen und der Erzielung günstiger Wirkungsgrade. Daher wären Gewicht und Baugröße dieser langsamlaufenden Motore sehr ungünstig, und sie werden bisher — auch für andere Anwendungen — nicht serienmäßig hergestellt. Hinzu kommt, daß infolge der Parallelschaltung beider Motoren sich die für den Fahrbetrieb notwendige Differentialwirkung zwar selbsttätig einstellt, die für viele Schlepperarbeiten erforderliche Differentialsperre aber nur mit recht hohem Aufwand mechanisch oder hydrostatisch verwirklicht werden kann.

Diese Schwierigkeiten werden nun mit der Blockbauweise vermieden, wobei allerdings auch etwa der Raum des herkömmlichen mechanischen Schleppergetriebes benötigt wird. Der in Blockbauweise ausgeführte hydrostatische Wandler, der heute für andere Anwendungen schon serienmäßig hergestellt wird, besteht aus einer direkt vom Schleppermotor angetriebenen Verstellpumpe und dem im gleichen Gehäuse angeordneten Hydromotor mit der Abtriebswelle, die im geschlossenen Kreislauf arbeiten; dabei erscheint die Verwendung bereits serienmäßig hergestellter Axialkolbenmaschinen auch für den Schlepper am aussichtsreichsten. Dieses stufenlos verstellbare Hydrogetriebe tritt dann an die Stelle des Zahnrad-Wechselgetriebes. Dabei entfällt zwar die Kupplung, aber es bleiben eine weitere konstante Untersetzung, das Ausgleichsgetriebe mit Sperre und die Triebachse in alter Form erhalten. Das Hydraulik-Schaltbild dieses Antriebes und die zugehörigen Kennlinien für die maximalen Werte des Drucks, des Drehmoments und der Leistung sind in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Bei der Betrachtung der über der relativen Abtriebsdrehzahl aufgetragenen Kennlinien dieses hydrostatischen Wandlers muß man zwischen dem Bereich der Pumpenverstellung

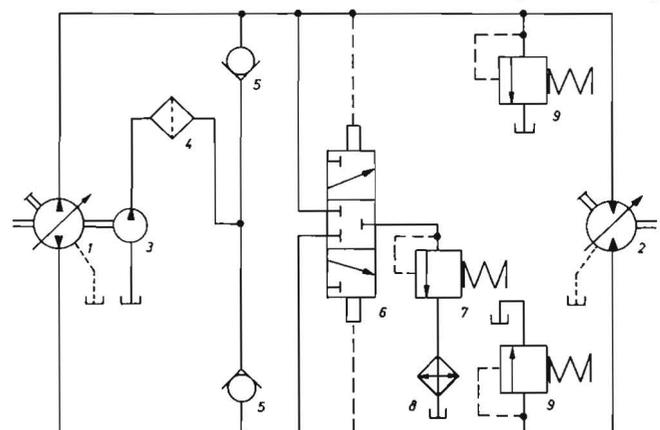


Bild 1: Schaltbild eines im geschlossenen Kreislauf arbeitenden hydrostatischen Wandlers mit Verstellpumpe und Verstellmotor

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1 = Verstellpumpe | 6 = Spülventil |
| 2 = Verstellmotor | 7 = Vorspannventil |
| 3 = Speisepumpe | 8 = Ölkühler |
| 4 = Speisefilter | 9 = Druckbegrenzungsventil |
| 5 = Speiserückschlagventil | |

und dem Bereich der Motorverstellung unterscheiden. Im Bereich der Pumpenverstellung ist der Motor auf das maximale Schluckvolumen eingestellt, während das Fördervolumen der Pumpe von Null bis auf den Maximalwert verändert werden kann. Dadurch steigt — bei konstanter Antriebsdrehzahl — die Abtriebsdrehzahl entsprechend der Pumpenförderung von Null bis auf den Wert der Antriebsdrehzahl, wenn Pumpe und Motor die gleiche Größe haben. Da unter Vernachlässigung der Wirkungsgrade die vom Getriebe aufgenommene mechanische Leistung gleich der hydrostatischen Leistung — dem Produkt aus Druck und Pumpenfördermenge — sein muß, und da der Druck auf einen Maximalwert begrenzt werden muß, kann die aufgenommene Leistung zunächst nur von Null bis auf den Nennwert linear ansteigen. Von diesem Punkt an bleibt die übertragbare Leistung konstant, während der Druck hyperbolisch abfällt; da mit fallendem Druck der Wirkungsgrad der Übertragung schnell schlechter wird, wird auch hier eine Grenze erreicht. Bezeichnet man das Verhältnis der Abtriebsgeschwindigkeiten, die bei konstanter Leistung möglich sind, als Wandlung, so sind mit der Pumpenverstellung des hydrostatischen Getriebes Werte im Bereich von 2,5 . . . 3 möglich.

Diese Wandlung ist aber für den Betrieb des Ackerschleppers nicht ausreichend, so daß ein zweiter Bereich der Motorverstellung bei konstanter Leistung erforderlich wird. Hier wird dann das Schluckvolumen des Motors verkleinert, so daß sich — bei konstanter Pumpenförderung — weiter steigende Abtriebsdrehzahlen ergeben. Der Wandlungsbereich der Motorverstellung wird durch die steigenden Abtriebsdrehzahlen — wobei der Wirkungsgrad der Übertragung wieder abfällt — ebenfalls auf Werte von 2,5 . . . 3 begrenzt, so daß sich für das gesamte Getriebe ein Wandlungsbereich von etwa 6 . . . 9 ergibt. Damit könnte beim Betrieb des Schleppers im Geschwindigkeitsbereich von 20 bis herab zu 3,5 . . . 2 km/h eine konstante Motorleistung übertragen werden, wobei die untere Grenze schon unterhalb der Kraftschlußgrenze der Tricbräder liegt.

Die Ausgangsdrehzahl des hydrostatischen Wandlers muß dann bis zu den Triebrädern noch etwa im Verhältnis $i_0 \sim 50$ unteretzt werden. Es besteht aber auch noch die Möglichkeit, einen Hydromotor zu wählen, dessen Schluckvolumen größer als das Fördervolumen der Pumpe ist, so daß der hydrostatische Wandler eine zusätzliche konstante Übersetzung von $i_{ohnd} \sim 2 \dots 4$ enthält.

Für die Anwendung des hydrostatischen Wandlers im Ackerschlepper bestehen heute noch Schwierigkeiten hinsichtlich des Anfahrens unter hohen Zugkräften, hinsichtlich der Abfuhr der Verlustwärme und hinsichtlich der Geräuschentwicklung. Der Wirkungsgrad des Antriebs ist sowohl von der eingestellten Über-

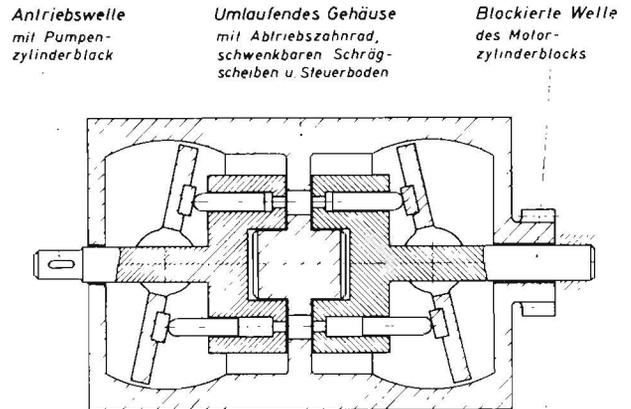


Bild 3: Hydrostatischer Wandler mit Leistungsverzweigung (Axialkolbenbauart)

Antrieb über den Zylinderblock der Verstellpumpe. Zylinderblock des Verstellmotors ist blockiert. Abtrieb vom umlaufenden Gehäuse, in dem die schwenkbaren Schrägscheiben gelagert sind. Die Anteile der hydrostatisch und mechanisch übertragenen Leistung sind von der eingestellten Übersetzung abhängig

setzung als auch von der Belastung abhängig; er konnte für das Diagramm von Bild 2 noch nicht genau angegeben werden. Sicher ist aber, daß gerade im Anfahrbereich bei minimaler Pumpenfördermenge und höchstem Druck der Wirkungsgrad die niedrigsten Werte hat und daher die wirklichen Werte des Abtriebsdrehmoments und der Abtriebsleistung erheblich unter den eingezeichneten Linien liegen. Die dadurch im Öl anfallende Verlustwärme muß mit Hilfe eines Wärmetauschers an die Umgebungsluft abgeführt werden; da der Wirkungsgrad wiederum stark von der Zähigkeit und damit der Betriebstemperatur des Öls abhängig ist, wäre eine Regeleinrichtung für konstante Öltemperaturen lohnend. Die Geräuschentwicklung hydrostatischer Axialkolbengetriebe liegt bis heute noch erheblich höher als bei mechanischen Getrieben. Wie weit der Geräuschpegel durch konstruktive Maßnahmen noch gesenkt oder in dem menschlichen Ohr angenehmere Frequenzbereiche verlagert werden kann, ist in der Zukunft noch zu klären. Bei den heute hergestellten Axialkolbenmaschinen werden die an der Welle wirkenden großen Quer- und Längskräfte durch hochbeanspruchte Wälzlager aufgenommen; daher kann auch niemals eine Dauerfestigkeit — wie bei Zahnrädern — erreicht werden, sondern die Lebensdauer ist immer auf Werte begrenzt, die durch das im Einsatz wirkende Lastkollektiv bestimmt werden. Weiter fällt der Wirkungsgrad stark mit dem Verschleiß der gleitenden Teile, so daß eine besonders eingehende Erprobung im landwirtschaftlichen Einsatz — oder unter genau reproduzierten Bedingungen auf dem Versuchsstand — besonders wichtig ist.

Zur Verbesserung des Wirkungsgrades hydrostatischer Getriebe wurden schon vor langer Zeit Konstruktionen angegeben, die das Prinzip der Leistungsverzweigung nutzen [4]. Hierbei wird die Eingangsleistung in einen hydrostatisch mit Pumpe und Motor übertragenen Anteil und in einen mechanisch durch das mit umlaufende Getriebegehäuse direkt übertragenen Anteil verzweigt, wie in Bild 3 schematisch dargestellt. Die Teilung der Eingangsleistung ist dann von der eingestellten Übersetzung abhängig, und da bei dem mechanisch übertragenen Anteil keine Verluste entstehen, kann der Gesamtwirkungsgrad der Anordnung sehr günstig liegen. Allerdings ergeben sich dabei in Abhängigkeit von der eingestellten Übersetzung auch Bereiche, in denen eine mechanische Blindleistung von der Abtriebs- zur Eingangsseite zurückfließt, so daß die hydrostatisch übertragene Leistung größer als die Eingangsleistung wird und der Wirkungsgrad erheblich schlechter als beim üblichen hydrostatischen Getriebe liegt. Außerdem wird der Aufwand dieser Konstruktion infolge zusätzlicher Lagerungen, eines schwierigen Anschlusses der Speise- und Spülanlage und komplizierter Übertragungen für die Verstellung von Pumpe und Motor erheblich größer als bei der normalen Ausführung.

Für die oszillierende Messerbewegung von Mähwerken bestehen zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten des hydrostatischen Antriebes, nämlich der Schwingenantrieb mit einem fremd- oder folgegesteuerten hin- und hergehenden Kolben und der Antrieb durch einen Hydromotor, wobei die oszillierende Messerbewegung

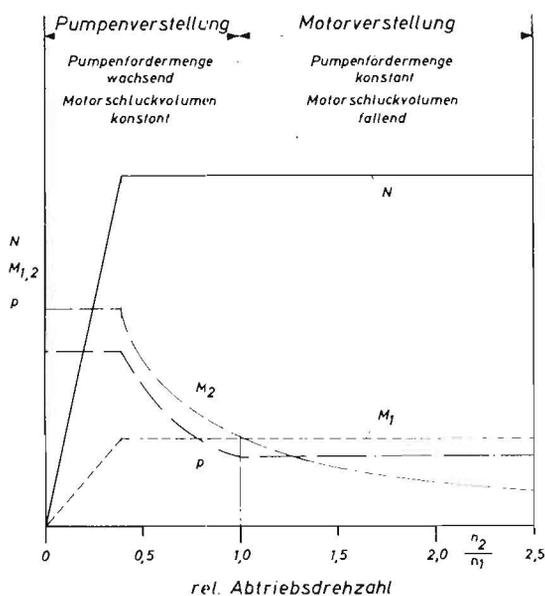


Bild 2: Schematische Kennlinien eines hydrostatischen Wandlers mit Pumpen- und Motorverstellung

(Kennlinien gelten für maximale Leistung bei konstanter Antriebsdrehzahl ohne Berücksichtigung der Wirkungsgrade)

- N = Leistung
- $M_{1,2}$ = An- bzw. Abtriebsdrehmoment
- $n_{1,2}$ = An- bzw. Abtriebsdrehzahl
- p = Druck

durch einen Kurbeltrieb erzeugt werden muß. Der Schwingantrieb [5] zeichnet sich durch eine einfache Bauweise aus und seine Möglichkeiten sind schon eingehend untersucht worden. Dabei haben sich, bedingt durch den hydrostatisch bewirkten Umsteuervorgang mit hohen Frequenzen, Schwierigkeiten hinsichtlich des ungleichmäßigen Ölbedarfs des schwingenden Kolbens und der Energiespeicherung für die Bewegungsumkehr eingestellt. Als Alternativlösung wurde daher bis heute der hydrostatische Mäh-antrieb mit Hydromotoren ausgeführt, womit die Schwierigkeiten der Umsteuerung mit Hilfe eines Kurbeltriebs umgangen werden. Bei einem Leistungsbedarf des Schlepper-Mähwerks von etwa 3 . . . 6 PS kann der Mähwerks-Motor — ein Kolben- oder Zahnradmotor — von der im Schlepper ohnehin vorhandenen Hydropumpe im offenen Kreislauf gespeist werden, und der Anschluß an die Hydraulikanlage wird leicht möglich, da das Mähwerk kaum zugleich mit anderen Verbrauchern — Kraftheber oder Frontlader — betrieben werden muß. Die übertragbare Leistung ist durch die Pumpenfördermenge und den zulässigen Druck der Anlage gegeben, und die Frequenz der Messerbewegung läßt sich durch Abstimmung des Pumpenfördervolumens mit dem Motorschluckvolumen leicht in den gewünschten Bereich bringen. Die auftretende Verlustwärme liegt noch in einer Größenordnung, daß sie ohne Ölkühler an die Umgebungsluft abgeführt werden kann. Vorteile der hydrostatischen Anlage sind durch das Entfallen jeder mechanischen Übertragung, den geringen Anspruch an Freiraum am Schlepper, die vom Fahrtrieb unabhängige Schaltbarkeit und den sicheren Überlastschutz gegeben.

Über die erläuterten Beispiele hinaus wird die Hydrostatik in der Zukunft für rotorische Einzelantriebe im Landmaschinenbau überall dort Vorteile bieten, wo verschiedene Drehbewegungen in räumlich versetzten Lagen erzeugt werden müssen — wie beispielsweise bei den Längs- und Querförderorganen der Mähdrescher, Rübenroder — und dort, wo die räumliche Lage angetriebener Wellen zusätzlich veränderlich sein muß, wie bei der Haspel des Mähdreschers oder bei den Einzugswalzen des Feldhäckslers. Für die Vielzahl der bis heute verwendeten mechanischen Gelenkwellen, Kegelrad-Winkeltriebe, Ketten- und Riementriebe lassen sich durch Hydromotoren, die nur zwei Leitungsanschlüsse haben, wesentlich elegantere Lösungen finden. Dabei stellt die hydrostatische Lösung nur einen minimalen Raumanspruch, hat keine freiliegenden bewegten Elemente, ist daher gegen das Eindringen von Staub, Schmutz und Fremtteilen vollkommen geschützt und vermeidet jede Unfallgefahr. Weiterhin bietet sich die Möglichkeit der stufenlosen Drehzahlverstellung auch für viele Antriebe des Landmaschinenbaus an, wie beispielsweise die Haspel des Mähdreschers oder die Einzugswalzen des Feldhäckslers. In den meisten Fällen werden dabei nur kleinere Leistungen benötigt, so daß teure Verstellpumpen oder -motoren gar nicht verwendet werden müssen, sondern eine Drehzahlregulierung mittels Drosselung vertretbar ist. Zur Versorgung der genannten hydrostatischen Einzelantriebe könnten die Pumpen dienen, die heute im Mähdrescher, bei den Rübenerntemaschinen und im Schlepper vorhanden sind. Da starke Schlepper moderner Bauart schon heute teilweise mit leistungsfähigen Hydropumpen und Schnellkupplungen für die Leitungsanschlüsse fremder Verbraucher ausgerüstet sind, wird die Leistungsübertragung zur Landmaschine mit der sogenannten „hydrostatischen Zapfwelle“ in Zukunft sicher größere Bedeutung gewinnen. Soll dann mit der Pumpe nur ein Hydromotor betrieben werden, so können durch die Auswahl des Motors leicht die für den jeweiligen Antrieb erforderlichen Werte des Drehmoments und der Drehzahl erzielt werden. Bei mehreren Einzelantrieben muß zur Erzeugung gleicher Drehzahlverhältnisse die Serienschaltung gewählt werden; genauer Synchronlauf ist allerdings infolge der lastabhängigen volumetrischen Verluste der Hydrostatik nur mit hohem Aufwand erreichbar. Für einstellbare Geschwindigkeiten wird die Parallelschaltung mit Drosselventilen, Mengenreglern oder Mengenteilern verwendet, wie schon früher erläutert [1].

2. Antriebe für translatorische Arbeitsbewegungen

Die im Landmaschinenbau bekannteste und schon vor Jahrzehnten eingeführte Anwendung der hydrostatischen Leistungsübertragung für eine translatorische Arbeitsbewegung ist der Kraftheber des Schleppers. Dieser hat bekanntlich die Aufgabe, die im Dreipunkt-Gestänge des Schleppers angebaute Maschinen

und Geräte zu heben, abzusenken und in einer gewünschten Höhe zu halten. Hierzu wird, wie in Bild 4 dargestellt, nur eine einfache Anlage benötigt, die im wesentlichen aus der Pumpe mit dem Druckbegrenzungsventil, einem Arbeitszylinder und dem Steuer-ventil besteht. Bei ausgeführten Krafthebern hat sich der einfach-wirkende Arbeitszylinder durchgesetzt, so daß nur zum Heben der Geräte hydrostatische Energie eingesetzt wird, während das Absenken unter der Wirkung der Schwerkraft erfolgt. Ausgeführt wird der Kraftheber heute meistens in der sogenannten Blockbauweise, wobei die Kolbenkraft über eine Pleuelstange, eine Hubwelle mit Hubarinen sowie Hubstangen auf die unteren Lenker des Dreipunktgestänges übertragen wird; Zylinder, Pleuelstange, Kurbel und Steuerventil sind dann, in einem Block zusammengefaßt, in oder auf dem Getriebegehäuse angeordnet. Da die Pumpe der Anlage ständig durch den Verbrennungsmotor angetrieben wird, muß für die Schaltung der vom Kraftheber auszuführenden Funktionen ein 3/3-Wegeventil vorgesehen werden. In der Neutralstellung des Ventils ist der Zylinder einseitig hydraulisch blockiert — nur Leckverluste können ein Absinken des getragenen Gerätes verursachen — und der Pumpenförderstrom wird drucklos in den Behälter geleitet; in der Hubstellung fließt der Pumpenstrom dem Zylinder zu und führt die verlangte Hubarbeit aus, während in der Senkstellung der Pumpenstrom und das Öl aus dem Zylinder ohne nennenswerten Widerstand zum Behälter abfließen können. Das im Dreipunktgestänge angebaute Gerät ist in dieser Stellung außerdem unter dem Einfluß äußerer Kräfte beweglich.

Bekanntlich nimmt die Pflugarbeit einen großen Anteil des Schleppereinsatzes ein, und es wurde schon früh erkannt, daß bei einem vom Kraftheber getragenen Pflug — statt des aufgesattelten oder angehängten Pfluges — ein Teil des Pfluggewichtes zur zusätzlichen Belastung der Schleppertriebbräder genutzt werden kann; damit kann der Schlepper bei geringerem Schlupf höhere Zugkräfte aufbringen [6]. Da der Ackerboden aber in der Regel uneben und von ungleichmäßiger Festigkeit ist, hatte FERGUSON schon 1925 die Idee, den Kraftheber für Pflugarbeiten mit einem Regler zu versehen, der durch Heben und Senken des Pfluges entsprechend der Oberflächengestalt und der Festigkeit des Bodens einen wählbaren Pflugwiderstand konstant hält. Bei dieser Zugwiderstands-Regelung wird also für einen gleichmäßigen Widerstand am Schlepper gesorgt, während die Furchentiefe natürlich schwankt. Inzwischen ist aber vielfach die Forderung nach einer konstanten Furchentiefe erhoben worden, und eine entsprechende Arbeitstiefen-Regelung wurde ebenfalls von Schlepperherstellern ausgeführt. Dabei müssen dann natürlich schwankende Pflugwiderstände und ungleichmäßige Triebachsbelastungen auftreten, die einen größeren Schlupf der Triebbräder zur Folge haben. Eine weitere Regelart, die Lage-Regelung, hält die Lage des Anbaugerätes zum Schlepper konstant; da Lageänderungen aber nur durch Leckverluste aus dem Arbeitszylinder eintreten können, entspricht die Wirkung der Lage-Regelung einer mechanischen Verriegelung des Dreipunkt-Gestänges.

Bei der Zugwiderstands-Regelung wird die jeweilige Sollwert-Abweichung der Regelgröße als Kraft im oberen oder im unteren Lenker des Dreipunkt-Gestänges mit Hilfe einer Feder gemessen, bei der Arbeitstiefen-Regelung als Abstand eines auf dem Ackerboden fahrenden Tastrades zum Pflug und bei der Lage-Regelung durch die Radienänderung eines auf der Hubwelle angeordneten

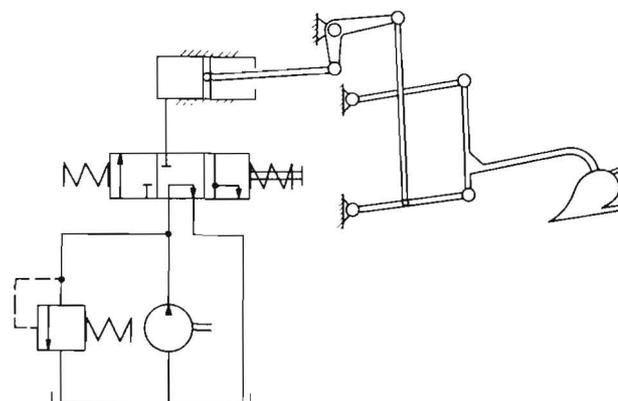
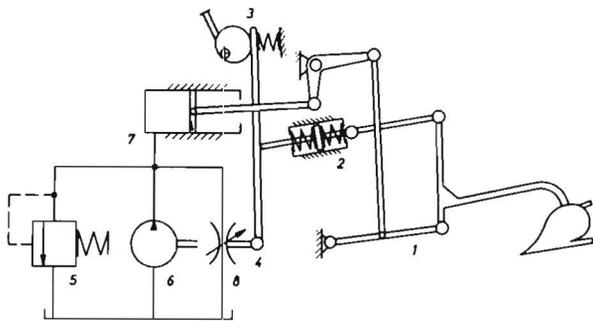
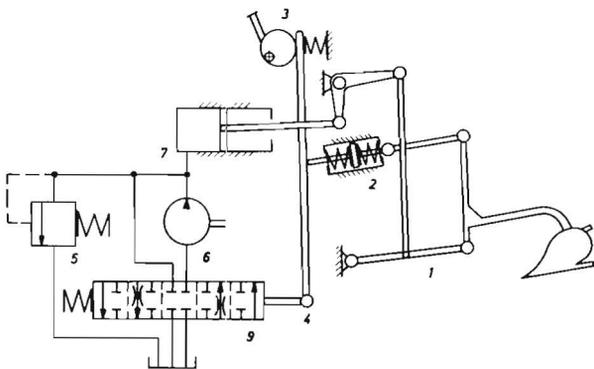


Bild 4: Schaltbild für eine hydrostatische Kraftheberanlage

Hydrostatischer Kreis mit druckseitiger Drosselung im Parallelstrom (ähnlich Ferguson 1925)



Hydrostatischer Kreis mit saugseitiger Drosselung (ähnlich Ferguson 1936)



Hydrostatischer Kreis mit Steuerung des Ölstroms durch Wegeventil und Umschaltventil (häufig angewandte Lösung)

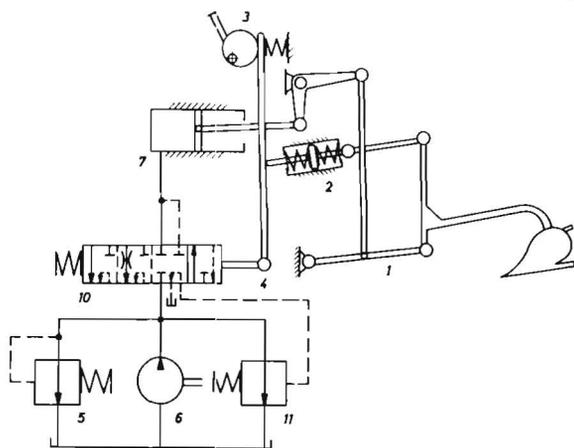


Bild 5: Hydrostatische Systeme für Regelkraftheber

- | | |
|---|--|
| 1 = Kraftheber-Gestänge | 7 = Kraftheber-Zylinder |
| 2 = Meßfeder für Zugwiderstandsregelung | 8 = Drosselventil (oben) |
| 3 = Einstellhebel | 9 = Wegeventil mit Drosselstellungen (mitte) |
| 4 = Regelstange | 10 = Wegeventil |
| 5 = Druckbegrenzungsventil | 11 = Umschaltventil |
| 6 = Konstantpumpe | |

Exzenters. Die so gemessenen Abweichungen vom jeweiligen Einstellwert der Regelgröße werden im allgemeinen mechanisch durch Hebel, Stangen oder Drahtzüge zum Regelwerk geleitet, das daraufhin bestimmte Ölmengen zum oder aus dem Arbeitszylinder bringt und dadurch die Nachstellung der Regelgröße vornimmt [7].

Dazu muß der einfache Kreislauf des nicht regelnden Krafthebers grundlegend geändert werden und zu den schon früher beschriebenen Mitteln der Steuerung des Pumpenstroms gegriffen werden [1; 8]. Bild 5 zeigt nun zunächst im oberen Teil das Schaltbild des zuerst von FERGUSON für die Zugwiderstandsregelung gefundenen Systems; hierbei wird die druckseitige Drosselung angewendet, indem ein dem Arbeitszylinder parallelgeschaltetes Drosselventil durch eine — über weitere Hebel von der Meßfeder

betätigte — Regelstange in Abhängigkeit von der gemessenen Zugwiderstandsabweichung verstellt wird. Bei anwachsender Zugkraft — und damit steigender Kraft im oberen Lenker und größerer Einfederung der Meßfeder — wird das Drosselventil mehr geschlossen, so daß der Pumpenstrom unter höherem Druck dem Zylinder zufließt und einen Hubvorgang des Pfluges bewirkt; im Gleichgewichtszustand ist das Drosselventil so eingestellt, daß der gesamte Pumpenstrom unter einem der am Dreipunkt-Gestänge wirkenden Last entsprechenden Druck durch das Drosselventil abfließt. Sinkt der Pflugwiderstand, so sinkt auch die Druckkraft im oberen Lenker, die Meßfeder entspannt sich und leitet ein Öffnen des Drosselventils ein, wodurch mit dem Pumpenstrom auch Öl aus dem Arbeitszylinder durch das Drosselventil abströmt und ein Tiefergehen des Pfluges erfolgt. Das Regelwerk muß natürlich mit einem Einstellhebel übersteuert werden können, um einen bestimmten Pflugwiderstand vorwählen zu können.

Ein Nachteil dieses Systems ist, daß die Pumpe ständig gegen einen Widerstand arbeitet und — wie schon behandelt — die druckseitige Drosselung nur mäßige Wirkungsgrade ergibt. Da die Strömungsgeschwindigkeit des Öls zum und vom Zylinder außer von der durch die Meßfeder gegebenen Drosselstellung noch von der am Arbeitszylinder wirkenden äußeren Last abhängig ist, arbeitet der Regler außerdem ständig unter Schwingungen und wenig stabil.

Diese Nachteile wurden mit dem später von FERGUSON entwickelten Saugdrossel-Kreislauf vermieden (mittlerer Teil von Bild 5), bei dem die von der Meßfeder gesteuerte Regelstange den Durchflußspalt eines in der Saugleitung der Pumpe liegenden Wegeventils mehr oder weniger öffnet und damit den Zufluß zur Pumpe und zum Arbeitszylinder regelt. Für das Absenken und das Halten des Pfluges wird der Pumpenzulauf vom Steuerschieber des Wegeventils ganz geschlossen und in der Senkstellung zusätzlich ein von der Druckleitung zum Behälter führender Kanal geöffnet. Vorteilhaft ist hierbei, daß in der Neutrallstellung und in der Senkstellung des Ventils die Pumpe leer läuft und nicht fördert, so daß die Energieverluste sehr gering sind. In der Hubstellung ist bei teilweise geöffnetem Ansaugquerschnitt die Fördermenge der Pumpe und damit die Hubgeschwindigkeit nur von der Regelstangenstellung abhängig, so daß der Regelvorgang verhältnismäßig stabil abläuft. Die Senkgeschwindigkeit wird dagegen außer von der Ventil-Öffnungsstellung noch von der am Arbeitszylinder wirkenden Last beeinflusst, könnte aber mit einem weiteren in der Rücklaufleitung angeordneten Drosselventil noch zusätzlich beeinflusst werden. Die Saugdrossel-Regelung bedingt allerdings die Verwendung verhältnismäßig teurer druckseitig ventilgesteuerter Kolbenpumpen.

Eine weitere, heute vielfach für Regelkraftheber verwendete Hydraulikanlage arbeitet mit einem von der Regelstange betätigten, auf der Druckseite einer einfachen Zahnradpumpe angeordneten Wegeventil und einem durch die Stellung des Wegeventils hydraulisch gesteuerten Umschaltventil, wie im unteren Teil von Bild 5 dargestellt. Das Umschaltventil sorgt in der Senkstellung, in der Neutrallstellung und in den Zwischenstellungen des Wegeventils dafür, daß der Pumpenstrom drucklos zum Behälter zurückfließt. Wird der Steuerschieber des Wegeventils in die Hubstellung gebracht, so wird der Durchfluß des Umschaltventils automatisch gesperrt, und der gesamte Pumpenstrom wird in den Arbeitszylinder gedrückt. Dadurch erfolgt die Hubbewegung des Pfluges immer mit großer Geschwindigkeit, die von der Größe der gemessenen Sollwertabweichung kaum beeinflusst wird. Die Senkgeschwindigkeit ist dagegen von der Ventilöffnung und von der Belastung des Arbeitszylinders abhängig.

Außer den beschriebenen Systemen wurden in jüngster Zeit noch sogenannte Druckhalteanlagen entwickelt, die für den Regelkraftheber und den Anschluß weiterer Verbraucher am Schlepper einige Vorteile aufweisen [9]. Bei diesen Anlagen wird die von der Pumpe in die Druckleitung geförderte Ölmenge so geregelt, daß immer ein annähernd konstanter Druck gehalten wird. Dies kann entweder mit einer Konstantpumpe, deren Förderung von einem durch einen Speicher gesteuerten Abschaltventil umgeschaltet wird, oder mit einer Verstellpumpe verwirklicht werden, deren Fördermenge in Abhängigkeit vom Anlagendruck geregelt wird. Bei der mit einer Konstantpumpe und einem Speicher ausgeführten Anlage, die im oberen Teil von Bild 6 dargestellt ist,

sperrt das vom Speicherdruck gesteuerte Abschaltventil die Ablaufleitung der Pumpe so lange, bis der Speicher auf einen bestimmten Druck geladen ist. Bei diesem Druck öffnet das Abschaltventil und der Pumpenstrom fließt drucklos zum Behälter ab, während das Rückschlagventil die Entladung des Speichers zum Behälter hin verhindert. Dieser Vorgang wird wieder eingeleitet, sobald der Speicherdruck durch Einschalten einer Hubbewegung des Zylinders oder infolge von Leckverlusten um einen gewissen Betrag abgefallen ist. Dagegen fördert die Verstellpumpe, im unteren Teil von Bild 6 dargestellt, ständig in die Verbraucherleitung, aber ihre Fördermenge wird — durch einen vom Druck in der Verbraucherleitung beaufschlagten Steuerzylinder — so geregelt, daß dieser Druck nahezu konstant bleibt. Bei geringem Widerstand in der Verbraucherleitung wird die Pumpe also auf eine große Fördermenge verstellt, während bei geschlossener Verbraucherleitung die Fördermenge derart gering eingestellt wird, daß lediglich die beim Anlagendruck auftretenden Leckverluste gedeckt werden. Damit wird auch die in abgeschaltetem Zustand zugeführte Verlustleistung sehr gering.

Bei einem Regelkraftheber, der mit einer Anlage dieser Art arbeitet, kann der Zu- und Ablauf des Arbeitszylinders mit einem 4/3-Wegeventil geregelt werden, dessen Schieber von der Regelstange nach den Signalen des Meßwerks verstellt wird. In der

Hubstellung des Ventils bilden dann die Belastung des Arbeitszylinders und der Drosselwiderstand des Ventilspalts zwei seriegeschaltete Belastungen, und die Zuströmgeschwindigkeit zum Arbeitszylinder — und damit die Hubgeschwindigkeit — sind mit der Größe des Ventilspalts veränderlich, da der Speicher oder die Pumpe veränderliche Ölströme liefern. Daher sind bei diesem System auch die Verluste durch die Drosselung des Zuflusses geringer als bei dem früher beschriebenen Kreislauf mit konstanter Pumpenförderung und dem Zylinder parallelgeschaltetem Drosselventil, zumal jetzt in der Senk- und Neutralstellung nur minimale Verluste auftreten. Weiterhin sind Druckhalteanlagen für umfangreichere hydrostatische Systeme mit mehreren gleichzeitig betriebenen parallel geschalteten Verbrauchern sehr vorteilhaft, weil die Durchflußmengen — und damit die Dreh- und Vorschubgeschwindigkeiten — mit den Teilöffnungsstellungen der Wegeventile bei verhältnismäßig geringen Verlusten gut verstellbar sind.

Zum Abschluß der Darstellung der Regelkraftheber muß noch darauf hingewiesen werden, daß die beschriebenen hydrostatischen Anlagen natürlich auch mit den Meßwertgebern der Arbeitstiefen- oder der Lage-Regelung oder einer Misch-Regelung zusammenarbeiten können.

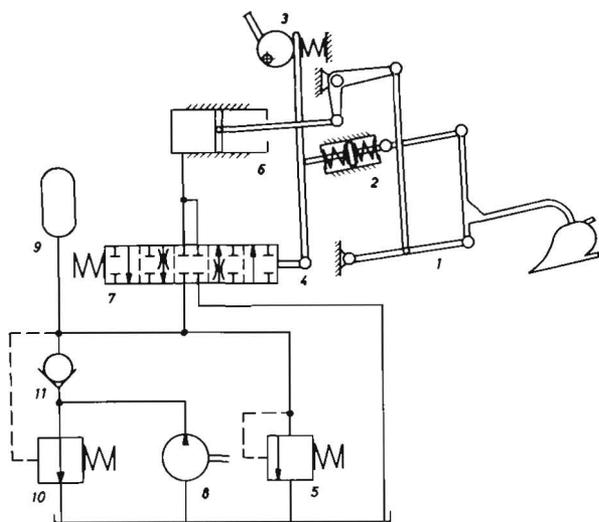
Ein weiteres, heute nicht mehr entbehrliches Zubehör des Schleppers, nämlich der Frontlader, hätte ebenfalls ohne den hydrostatischen Antrieb kaum verwirklicht werden können. Beim Anschluß an die vorhandene Hydropumpe werden an Hydraulikbauteilen für den Frontlader lediglich ein Wegeventil und zwei einfachwirkende Zylinder mit Schlauchleitungen benötigt. Da der Frontlader kaum mit anderen Verbrauchern der Anlage, etwa dem Kraftheber, gleichzeitig benutzt wird, ist die Schaltung für die drei Arbeitsgänge Heben, Senken und Halten unter Last sehr einfach. Die zwischen dem Schlepperrahmen und der Laderschwinge angreifenden Zylinder werden hydraulisch parallel geschaltet, so daß der Gleichlauf der beiden Kolbenbewegungen durch mechanische Kopplung erzwungen wird und von der Steifigkeit der Laderschwinge abhängt. Mit bekannter Fördermenge und gegebenem zulässigen Druck der Pumpe können mit der Auswahl der Zylinder die Kolbenkraft, das Arbeitsvermögen und die Hubzeit berechnet werden; aus der Kinematik der Schwingen- und Kolbenbewegung folgt dann die Abhängigkeit zwischen der maximalen Hubkraft und dem Hubweg des Laders [10]. Bekanntlich werden heute im Zuge der Arbeitserleichterung bei größeren Schleppern weitere Arbeitsbewegungen, wie das Entleeren der Laderschaufel, das Kippen von Ladepritschen, der Aushub des Mähbalkens oder das Drehen des Anbaupfluges ebenfalls mit Hilfe von Zylindern ausgeführt, die an die Hydraulikanlage des Schleppers angeschlossen werden.

Auch für Mährescher, für Rüben-Bunkerroder oder auch für Ackerwagen-Kipper werden heute bekanntlich vielfach eigene Hydraulikanlagen verwendet. Während sich der Hydrozylinder beim Mährescher für die Höhenverstellung von Mähtisch und Haspel eingeführt hat, bietet er sich beim Rübenroder oder beim Ackerwagen zum Auskippen des Bunkers beziehungsweise der Ladeplattform an. Hierdurch wird die Geschwindigkeit der Kippbewegung kontrollierbar, starke Stöße werden vermieden und ein komplizierter mechanischer Antrieb fällt fort. Durch die Anwendung des Hydrozylinders wird bei Rübenrodern auch eine schnelle und mühelose Nachstellung der Arbeitstiefe des Rodeschars ermöglicht; dabei kann entweder die direkte Höhenverstellung des in einer Schwinge gelagerten Schars vorgenommen oder aber die Höhenlage der gesamten Maschine gegenüber der Laufachse verändert werden.

3. Hilfskraftanlagen

Wie auf allen Gebieten des Maschinenbaus, so bemüht man sich bekanntlich auch im Landmaschinenbau, die Bedienungspersonen zu entlasten und für die verschiedensten Betätigungsvorgänge nicht mehr allein die Muskelkraft, sondern zusätzlich elektrische, pneumatische oder hydrostatische Hilfskraftanlagen einzusetzen. Hierfür seit langem bekannte Beispiele sind die Druckluftbremse und die hydrostatische Lenkhilfe der Fahrzeuge. Während bei der Bremse vom Fahrer im mechanischen Sinne keine Arbeit geleistet wird, sondern nur eine Kraft veränderlicher Größe bereitgestellt zu werden braucht, ist für die Betätigung der Lenkung, der Kupplung und anderer Aggregate zum Teil eine Leistung

Hydrostatischer Kreis mit Konstantpumpe, Speicher und Abschaltventil (ähnlich Ford 1963)



Hydrostatischer Kreis mit Verstellpumpe, auf konstanten Druck geregelt (ähnlich John Deere und Vorschlag Mally 1963)

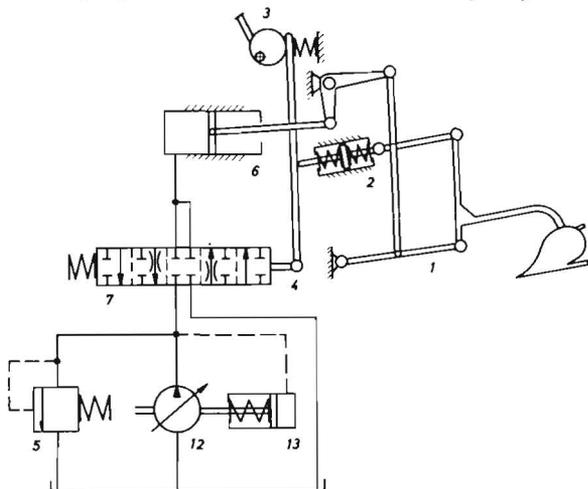


Bild 6: Druckhalte-Systeme für Regelkraftheber

- | | | |
|---|--|-----------|
| 1 = Kraftheber-Gestänge | 8 = Konstantpumpe | } (oben) |
| 2 = Meßfeder für Zugwiderstandsregelung | 9 = Schalt- und Arbeitsspeicher (für 6 und 10) | |
| 3 = Einstellhebel | 10 = Abschaltventil | } (unten) |
| 4 = Regelstange | 11 = Rückschlagventil | |
| 5 = Druckbegrenzungsventil | 12 = Verstellpumpe | |
| 6 = Kraftheber-Zylinder | 13 = Steuerzylinder | |
| 7 = Wegeventil | | |

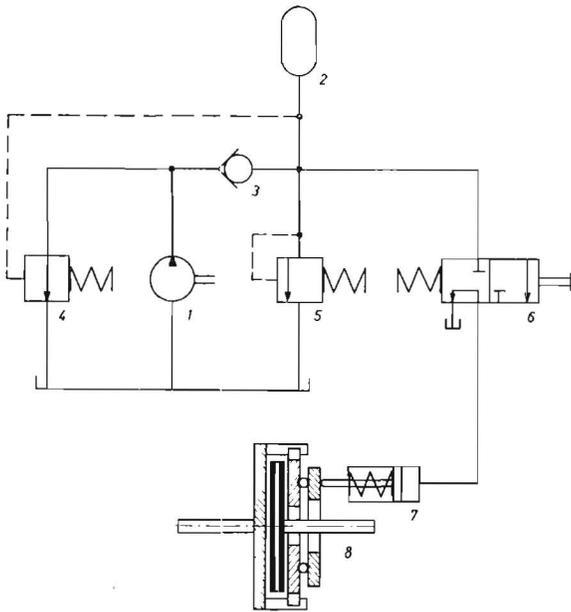


Bild 7: Hydrostatische Hilfskraftanlage zur Betätigung einer Reibungskupplung

- | | |
|--|--|
| 1 = Konstantpumpe | 5 = Druckbegrenzungsventil |
| 2 = Schalt- und Arbeitsspeicher
(für 4 und 7) | 6 = hand- oder fußbetätigtes
Steuerventil |
| 3 = Rückschlagventil | 7 = einfachwirkender Zylinder |
| 4 = Abschaltventil | 8 = Reibungskupplung |

aufzubringen, die in der Größenordnung der physischen Leistungsgrenze des Menschen liegt. Durch den Einsatz der Hydrostatik ergeben sich nun auch für Hilfskrafteinrichtungen bei Schleppern und Landmaschinen die schon früher dargestellten Vorzüge, wie kleine Abmessungen, Freizügigkeit der räumlichen Anordnung, geringe Energieverluste sowie günstige Steuer- und Regelungsmöglichkeiten. Da die hydrostatische Energie leicht nacheinander oder auch gleichzeitig mehreren Verbrauchern zugeleitet werden kann, können umfangreiche Hilfskraftanlagen von einer zentralen Hydropumpe versorgt oder auch an ohnehin vorhandene Hydraulikanlagen angeschlossen werden. Als Beispiele für bei Schleppern und Landmaschinen vorteilhaft anwendbare hydrostatische Hilfskraftanlagen seien hier nur

- die Bremsbetätigung,
- die Kupplungsbetätigung,
- die Wechselgetriebschaltung,
- die Variatorverstellung und
- die Lenkung

aufgeführt.

Eine Anlage, bei der die zur Betätigung von Reibungskupplungen oder auch Variatoren nötige Muskelkraft durch die hydrostatische Energie eines Speichers ersetzt wird, ist in Bild 7 dargestellt [11]. Die Anlage besteht aus der Konstantpumpe, einem einfachwirkenden Arbeitszylinder und dem leicht von Hand oder Fuß schaltbaren Steuerventil, einem 3/2-Wegeventil. Durch die Verwendung eines Hydrospeichers, eines Abschaltventils sowie eines Rückschlagventils wird bei dieser Anlage — ähnlich wie schon beim Rogelkraftheber behandelt — erreicht, daß die Pumpe bei nicht betätigtem Zylinder — und entkuppelter Kraftübertragung — drucklos in den Behälter fördert und daß trotzdem der Druck und die Energie des Speichers jederzeit am Steuerventil zur Verfügung stehen; damit werden die Druckstöße der Einschaltvorgänge klein gehalten und kurze Ansprechzeiten ermöglicht. Wenn infolge von Kuppelvorgängen der Speicherdruck abgefallen ist, schließt das Abschaltventil, und die Pumpe füllt so lange den Speicher über das Rückschlagventil wieder auf, bis der Nenndruck erreicht ist und das Abschaltventil durch den Steuerdruck geöffnet wird. Um gefühvolles Schalten zu ermöglichen, müssen die Steuerkanten des Wegeventils so ausgebildet werden, daß der Durchflußspalt bei der Betätigung nur langsam geöffnet wird.

Die heute noch vorwiegend verwendeten mechanischen Betriebsbremsen der Schlepper erfordern meist hohen Kraftaufwand. Inzwischen sind aber auch Konstruktionen ausgeführt worden, die mit hydrostatischer Hilfskraft arbeiten, so daß der Fahrer nur

noch ein Steuerventil betätigt. Diese Bremsen wurden oft als Scheibenbremsen ausgeführt und außen am Getriebegehäuse angeordnet, so daß außerdem die Wartung erleichtert werden kann. Bild 8 zeigt den Schaltplan einer derartigen Anlage für die Betriebsbremse eines Schleppers, die auch als Lenkbremse benutzt werden kann. Aus Sicherheitsgründen werden hierbei zwei Speicher verwendet, nämlich ein kleinerer Schaltspeicher, der die Steuerung des Abschaltventils vornimmt, und ein größerer Arbeitsspeicher, der die Bremszylinder versorgt. Hierdurch wird erreicht, daß der Speicherinhalt auch ohne Pumpenförderung für mehrere Bremsvorgänge ausreicht, und daß der in der Bremsanlage zur Verfügung stehende Druck weitgehend konstant bleibt. Die Zylinder der beiden gebremsten Räder müssen durch gesonderte Wegeventile gesteuert werden, damit die Räder zur Lenkunterstützung einzeln gebremst werden können; mechanisch gekoppelt werden dann beide Ventile gleichzeitig betätigt, so daß die Bremszylinder beider Räder parallel geschaltet sind. Bei der Ausföhrung der Ventile ist es wieder wichtig, daß die Durchflußspalte zu den Zylindern allmählich öffnen, damit gefühvolles Bremsen ermöglicht wird. Um außerdem dem Fahrer das Gefühl zur aufgebrachten Bremskraft zu geben, ist es nötig, daß die Betätigungskraft des Ventils mit dem im Bremszylinder wirkenden Druck wächst; dies wird im Schaltbild durch eine vom Zylinder zum Ventil föhrende Steuerleitung angedeutet.

Der Schaltplan einer umfangreicheren hydrostatischen Hilfskraftanlage für einen Schlepper ist in Bild 9 angegeben. Diese umfaßt eine Kupplungsbetätigung — beispielsweise für eine kraftschlüssig schaltbare Zapfwelle —, eine Schalteinrichtung für ein mechanisches Wechselgetriebe — beispielsweise für ein kraftschlüssig schaltbares Getriebe mit drei Stufen — und eine Kraftbremse. Dabei werden die Kupplungsbetätigung und die Wechselgetriebschaltung vom Schaltspeicher mit Drucköl versorgt, während für den Bremsenkreis ein gesonderter Arbeitsspeicher vorgesehen ist. Die Schaltung des 3-Stufigengetriebes erfolgt durch drei

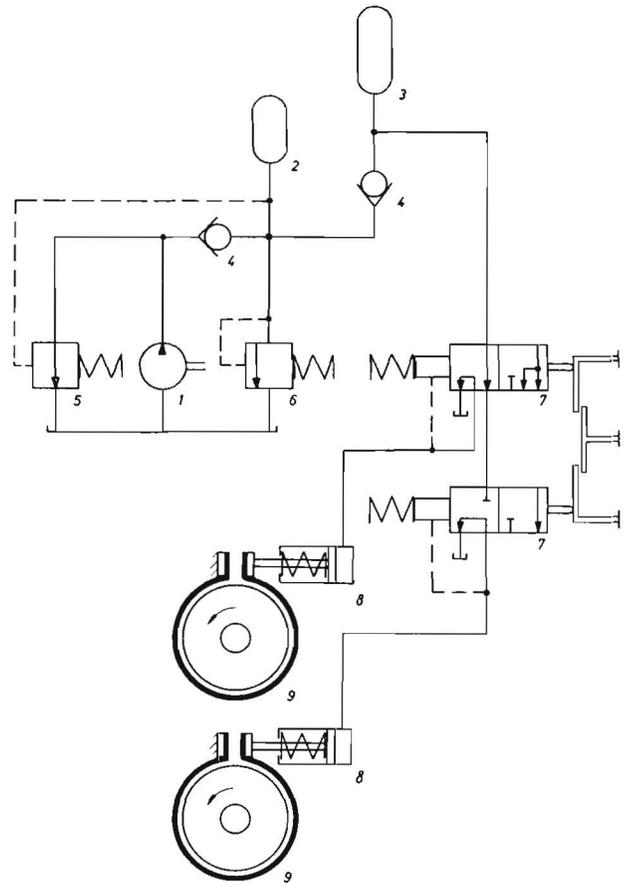


Bild 8: Hydrostatische Hilfskraftanlage für die Betriebsbremse eines Schleppers

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 = Konstantpumpe | 6 = Druckbegrenzungsventil |
| 2 = Schaltspeicher (für 5) | 7 = Steuerventile für einzelne und
gemeinsame Bremsung der Trieb-
räder |
| 3 = Arbeitsspeicher (für 8) | 8 = einfachwirkende Zylinder |
| 4 = Rückschlagventil | 9 = Bandbremsen |
| 5 = Abschaltventil | |

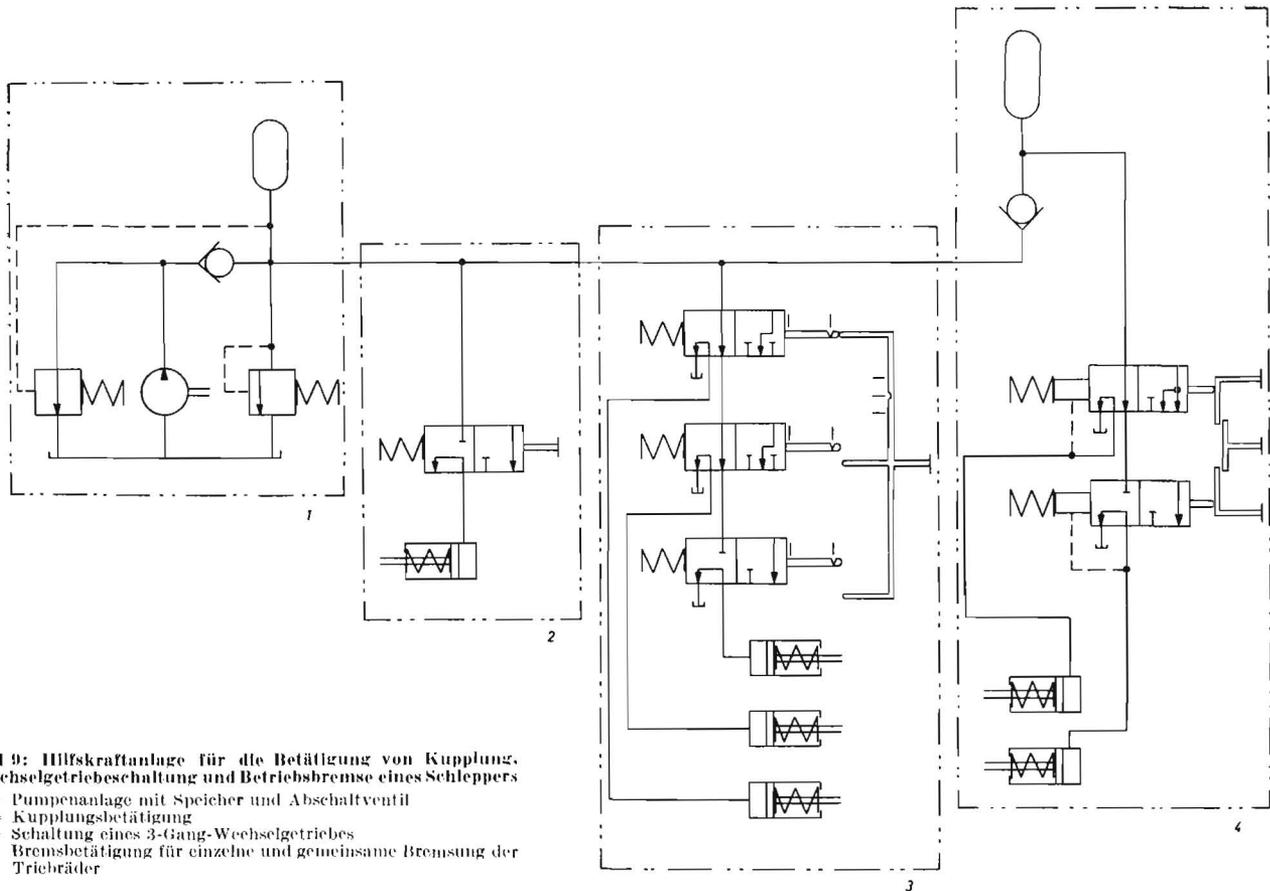


Bild 9: Hilfskraftanlage für die Betätigung von Kupplung, Wechseltriebeschaltung und Betriebsbremse eines Schleppers
 1 = Pumpenanlage mit Speicher und Abschaltventil
 2 = Kupplungsbetätigung
 3 = Schaltung eines 3-Gang-Wechseltriebes
 4 = Bremsbetätigung für einzelne und gemeinsame Bremsung der Triebräder

kleine, einfachwirkende Arbeitszylinder. Da von diesen jeweils nur einer mit der Druckleitung verbunden und in Arbeitsstellung gebracht werden darf — eine Getriebestufe ist dann eingeschaltet — und da die Getriebestufen in beliebiger Reihenfolge nacheinander einschaltbar sein müssen, ist für jeden Zylinder ein Wegeventil vorzusehen. Durch eine Kulissenführung mit Rasten kann trotzdem erreicht werden, daß alle Ventile und Getriebestufen mit nur einem Hebel geschaltet werden können.

Weitere Hilfskrafteinrichtungen lassen sich an eine derartige Anlage leicht anschließen. Daneben sind natürlich auch Systeme ohne Speicher möglich, die dann aber nur bei laufender Hydropumpe arbeitsfähig sind.

Da bei den im Laufe ihrer Entwicklungen immer leistungsfähiger und auch schwerer gewordenen Fahrzeugen, Ackerschleppern und selbstfahrenden Landmaschinen die vom Fahrer für die Radlenkung aufzubringende Lenkarbeit im gleichen Maße angestiegen ist, wurden schon in frühen Jahren, etwa ab 1925, Einrichtungen entwickelt, mit denen die Lenkarbeit des Fahrers durch Fremdkraft unterstützt wurde [12; 13]. Schon zu Beginn dieser Entwicklung hat sich die hydrostatische Lösung als die günstigste erwiesen; sie wird daher seit etwa einem Jahrzehnt in steigendem Maße auch für schwere Ackerschlepper angewendet. Dabei haben sich zwei verschiedene Ausführungsformen herausgebildet, nämlich die hydrostatische Lenkhilfe und die hydrostatische Lenkung. Bei der Lenkhilfe bleiben die bisher bekannten Elemente der mechanischen Lenkung, das Lenkgetriebe und die Übertragungshebel und -stangen, erhalten; zusätzlich übernimmt eine hydrostatische Anlage, die im wesentlichen aus einer Hydropumpe, einem Steuerventil und einem Arbeitszylinder besteht, den größten Teil der sonst vom Fahrer zu leistenden Lenkarbeit. Bei der hydrostatischen Lenkung entfallen dagegen alle mechanischen Elemente und die Lenkbewegungen der Räder werden allein von der hydrostatischen Anlage ausgeführt. Der Fahrer betätigt dann mit dem Lenkrad lediglich eine Steuereinheit, mit der die den Lenkradbewegungen entsprechenden Ölmenge, die von der Hydropumpe geliefert werden, dem Lenk-Arbeitszylinder zugeteilt werden. Der Vorzug dieser Anlage besteht darin, daß die Lage des Lenkrades vollkommen freizügig gewählt werden kann und darüber hinaus noch leicht veränderlich ist.

Bei der hydrostatischen Lenkhilfe [14; 15], die im folgenden kurz

beschrieben werden soll, unterscheidet man weiterhin noch die Blockbauweise und die aufgelöste Bauweise. Die in Blockbauweise ausgeführte Lenkhilfe besteht aus einer üblichen Schraubenspindellenkung oder Schneckenrollenlenkung, in deren Getriegehäuse das Steuerventil und der Arbeitszylinder mit angeordnet sind. Im Schlepperbau wird aber ausschließlich die aufgelöste Bauweise angewendet, bei der das Steuerventil im Übertragungsgehäuse angeordnet ist, und der Arbeitszylinder zwischen Achse und Lenkhebel angreift; das Schema und das Hydraulikschaltbild einer derartigen Lenkhilfe ist in Bild 10 dargestellt. Die

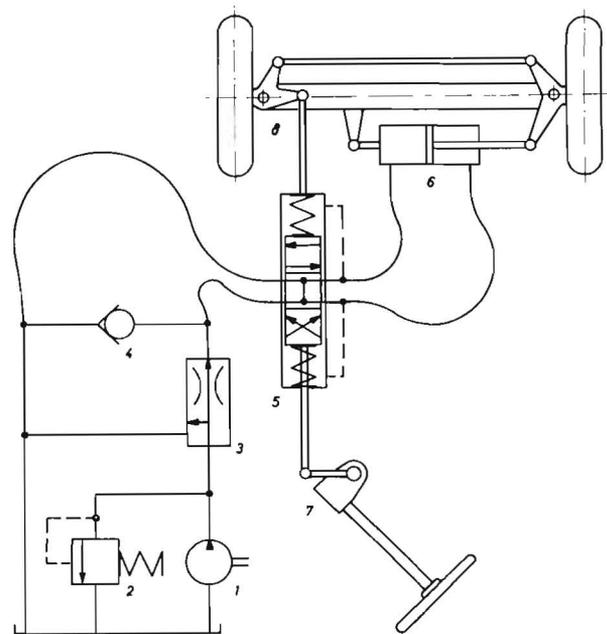


Bild 10: Schaltbild einer hydrostatischen Lenkhilfe

- 1 = Konstantpumpe
- 2 = Druckbegrenzungsventil
- 3 = Mengenregler
- 4 = Rückschlagventil für Handnotlenkung
- 5 = Lenkventil
- 6 = doppelwirkender Lenk-Arbeitszylinder
- 7 = Lenkgetriebe mit Lenkrad
- 8 = Lenkachse

Hydraulikanlage besteht aus einer Pumpe mit Druckbegrenzungsventil, einem Rückschlagventil, dem Lenkventil — einem 4/3-Wegeventil — und dem doppelwirkenden Lenk-Arbeitszylinder. Da die Pumpe meist mit veränderlicher Drehzahl angetrieben wird, und die Lenkhilfe im Interesse einer konstanten Lenkgeschwindigkeit eine feste Durchflußmenge benötigt, muß ein Mengenregler verwendet werden, der nur einen konstanten Strom zum Lenkventil durchläßt; soll die Lenkhilfe an eine bereits vorhandene Hydraulikanlage angeschlossen werden, so muß mit Hilfe eines Mengenteilers dafür gesorgt werden, daß die Lenkhilfe primär einen konstanten Ölstrom erhält. Das Lenkventil ist in der Lenkschubstange angeordnet und hat vier Anschlüsse für Schlauchleitungen, von denen je eine zum Mengenregler und zum Ölbehälter führen, und die zwei weiteren mit dem doppelwirkenden Arbeitszylinder verbunden sind. In der Neutralstellung verbindet der Steuerschieber des Ventils alle Anschlüsse, so daß die Pumpe drucklos in den Behälter fördert und außerdem die Rückstellung der Räder durch äußere Kräfte möglich wird. Eine vom Fahrer mit dem Lenkrad eingeleitete Lenkbewegung wird nun über das Lenkgetriebe, die Lenkschubstange, den Radlenkhebel und die Spurstange auf die Räder übertragen. Dabei tritt in der Lenkschubstange eine Zug- oder Druckkraft auf, wodurch der Steuerschieber des Lenkventils in seiner Führung so gegen die Zentrierfedern verstellt wird, daß der Pumpenstrom nun in einen Raum des Arbeitszylinders geleitet wird, um die Lenkbewegung zu unterstützen. Die aus dem anderen Zylinderraum verdrängte Ölmenge fließt dann über das Ventil zum Behälter zurück. Durch den Einschlag der Räder wird wieder die Schubstange bewegt, so daß das Ventil in seine Neutralstellung zurückgeführt wird. So fließt dem Arbeitszylinder nur jeweils die Ölmenge zu, die dem Lenkradeinschlag entspricht. Bei einem Ausfall der Hydraulikanlage bleibt der Schlepper bei naturgemäß größeren Lenkkräften über das mechanische System lenkbar; es muß dabei allerdings immer erst das Spiel des Steuerventils überwunden werden. Das zwischen der Druck- und der Rücklaufleitung angeordnete Rückschlagventil sorgt dann dafür, daß das in den Räumen des Arbeitszylinders enthaltene Öl zu- und abfließen kann.

Auch bei der Lenkhilfe sollte der Fahrer eine gewisse Kraft am Lenkrad ausüben, damit ihm das Gefühl für die wahren Lenk-

kräfte und -geschwindigkeiten erhalten bleibt. Die noch vom Fahrer ausübende Lenkkraft kann mechanisch durch die Stärke der Zentrierfedern des Steuerventils beeinflußt werden und außerdem dadurch, daß die in den Räumen des Arbeitszylinders auftretenden Drücke gegen die Stirnseiten des Steuerschiebers wirken; dies wird im Schaltplan durch zwei Steuerleitungen angedeutet.

Bei der hydrostatischen Lenkung [16] wird, wie aus Bild 11 ersichtlich, die Schaltung von Pumpe und Mengenregler wie bei der Lenkhilfe ausgeführt. Der Schieber des Lenkventils — hier ein 6/3-Wegeventil — wird hier direkt durch das Lenkrad betätigt. Der Schieber ist wieder mit zwei Federn im Gehäuse zentriert, und mit dem Ventilgehäuse ist die Kolbenstange eines doppelwirkenden Meßzylinders verbunden, dessen Mantel schlepperfest angeordnet ist. Das Lenkventil wird wieder durch zwei Schlauchleitungen mit dem Mengenregler der Pumpe und mit dem Behälter verbunden; dazu kommen zwei Leitungen, die zu den Räumen des Meßzylinders führen und zwei weitere Schlauchleitungen, die die Verbindung mit dem eigentlichen Lenk-Arbeitszylinder herstellen. In der Neutralstellung des Ventils läuft der Pumpenstrom wieder drucklos über das Ventil zum Behälter zurück; wird durch Drehung des Lenkrades eine Lenkbewegung eingeleitet, so wird der Steuerschieber gegen die Wirkung der Zentrierfedern in eine der Arbeitsstellungen geschoben, und der Pumpenstrom fließt zunächst in einen der Räume des Meßzylinders. Dabei wird die entsprechende Ölmenge aus dem anderen Raum dieses Zylinders verdrängt und über das Ventil in einem Raum des eigentlichen Arbeitszylinders gedrückt, dessen Kolbenstange dann den gewünschten Radeinschlag ausführt. Gleichzeitig wird durch die Bewegung der Kolbenstange des Meßzylinders das Steuerventil wieder in die Neutralstellung zurückgeführt; die Lenkbewegung der Räder ist beendet. Bei diesem System dient also ein besonderer Meßzylinder zur Rückführung des Steuerventils und sorgt dafür, daß einem bestimmten Lenkraddrehwinkel auch ein bestimmter Einschlag der Räder zugeordnet wird. Bei einem Ausfall der Hydraulikpumpe wirkt der Meßzylinder außerdem als Hand-Notpumpe, indem sein Kolben direkt mit dem Lenkrad betätigt wird. Die dann von Hand verdrängte Ölmenge wird in den Arbeitszylinder gedrückt und erzeugt den Einschlag der Räder, während die aus dem anderen Raum des Arbeitszylinders verdrängte Ölmenge über das Ventil wieder zum Meßzylinder zurückfließt; für eine einwandfreie Funktion dieses Notsystems wird wieder das Rückschlagventil zwischen Druck- und Rücklaufleitung benötigt. In Bild 11 sind das Lenkventil und der Meßzylinder der besseren Anschaulichkeit halber als Längsventil und als Zylinder dargestellt worden; bei ausgeführten Anlagen werden diese Elemente aber als Rotationsventil und als Drehkolbenpumpe in einer Einheit mit dem Lenkrad zusammengefaßt, wodurch die Schlauchleitungen zwischen dem Ventil und der Meßpumpe entfallen und die Abmessungen für dieses Aggregat sehr klein werden. Da das Lenkrad direkt aufgesetzt ist und insgesamt nur vier Schlauchleitungen zu dem Aggregat führen — je ein Anschluß für Hydropumpe und Behälter, zwei Anschlüsse für den Lenk-Arbeitszylinder — kann die Einheit leicht an jeder beliebigen Stelle und räumlichen Lage am Schlepper oder an der Erntemaschine angeordnet werden. Außerdem wären Veränderungen der räumlichen Anordnung jederzeit leicht ausführbar.

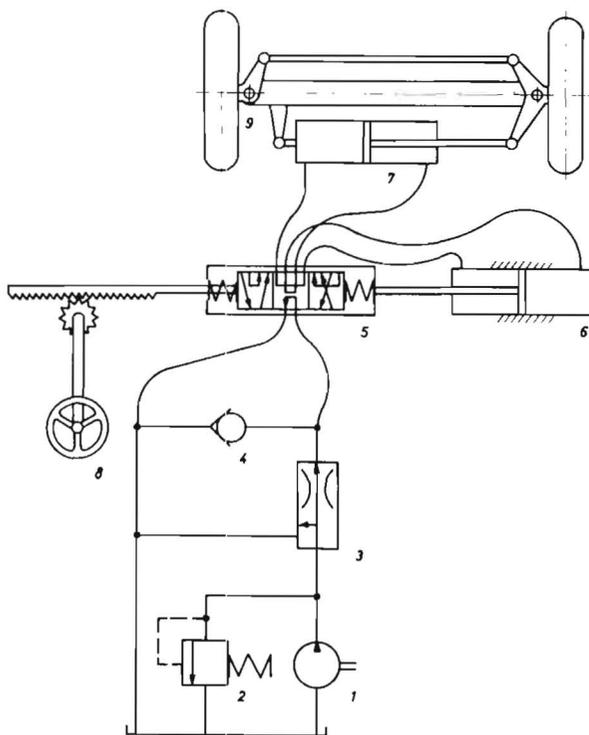


Bild 11: Schaltbild einer vollhydrostatischen Lenkung

- | | |
|---|---|
| 1 = Konstantpumpe | 6 = Meßzylinder zur Rückführung von 5 |
| 2 = Druckbegrenzungsventil | 7 = doppelwirkender Lenk-Arbeitszylinder |
| 3 = Mengenregler | 8 = Lenkrad zur direkten Betätigung von 5 |
| 4 = Rückschlagventil für Handnotlenkung | 9 = Lenkachse |
| 5 = Lenkventil | |

4. Federung und Dämpfung

Neben den bisher beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten zur Leistungsübertragung bei rotatorischen und translatorischen Bewegungen können hydrostatische Anlagen noch die Aufgabe der Federung und der Schwingungsdämpfung ohne großen Aufwand übernehmen. Diese Möglichkeit wurde vor allem mit der Entwicklung des Gasspeichers aktuell, mit dem ein Federelement von kleiner Baugröße geschaffen wurde, das mit progressiver, variierbarer Federkennung praktisch ohne Verschleiß arbeitet [17]. Zur Schwingungsdämpfung eines derartigen Feder-Masse-Systems wird in der zum Gasspeicher führenden Leitung eine Drosselstelle angeordnet, durch deren Gestaltung noch die Art und Stärke der Dämpfung gewählt werden können.

Im Landmaschinenbau wird diese hydropneumatische Federung bisher zur Abfederung des Mähtrisches beim Mähdrescher verwendet. Eine federnde Abstützung wird bekanntlich ausgeführt, damit der Mähtrisch nicht mit seinem ganzen Gewicht auf Boden-

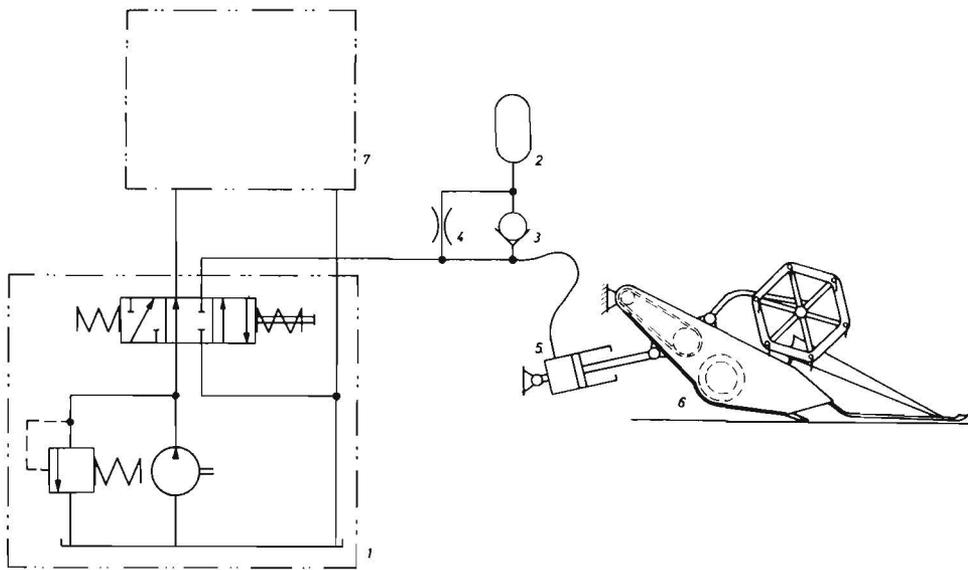


Bild 12: Hydropneumatische Abfederung des Mähtrisches beim Mähdrescher
 1 = Konstantpumpe mit Druckbegrenzungsventil und Steuerventil
 2 = Speicher für Federung
 3 = Rückschlagventil
 4 = Drossel
 5 = Hubzylinder
 6 = Mähtrisch
 7 = Weitere Hydraulik-Verbraucher

erhöhungen aufläuft, sondern immer ein Teil des Gewichts von der Feder getragen wird. Bei der heute üblichen hydrostatischen Höhenverstellung des Mähtrisches bietet sich nun die Federung mit einem Gasspeicher anstelle einer mechanischen Feder an. Wie der Schaltplan von Bild 12 zeigt, wird dazu der Speicher dem Arbeitszylinder parallel geschaltet und die Verbindungsleitung erhält eine zusätzliche, aus einem Rückschlagventil und einer Drosselstelle in paralleler Anordnung bestehende Ventileinheit. In jeder eingestellten Arbeitshöhe wird dann der Mähtrisch von der Gasblase des Speichers federnd getragen, und der Gasdruck stellt sich entsprechend der Gewichtsbelastung durch den Mähtrisch ein. Wird der Mähtrisch von einer überfahrenen Bodenwelle angehoben, so folgt der Kolben des Zylinders diesem Hub und der Speicher entlädt sich augenblicklich über das Rückschlagventil um das entsprechende Volumen. So wirkt auf der Ölseite des Zylinderkolbens nach wie vor der — jetzt etwas geringere — Speicherdruck und der Mähtrisch liegt nur mit einem Teil seines Gewichtes auf dem Boden auf. Folgt darauf eine Bodensenke, so wird das Öl durch das nun voll auf dem Zylinder lastende Gewicht wieder in den Speicher gedrückt. Da aber in dieser Stromrichtung das Rückschlagventil sperrt, muß das Öl den Weg durch die Drosselstelle nehmen, und die Abwärtsbewegung des Mähtrisches erfolgt langsam und gedämpft. Zur Anpassung an eine gewünschte Federhärte kann die Federkennlinie des Speichers leicht über die adiabate Zustandsänderung des Gases berechnet werden; dabei ergeben sich dann das notwendige Gasvolumen und der Fülldruck des Speichers.

leitet oder das Öl aus dem Zylinder in den Behälter abgelassen. Eine für den Schleppersitz günstige Federhärte und Eigenfrequenz läßt sich auch bei kleinen Abmessungen von Speicher und Zylinder mit niedrigen Drücken im Federungsweig der hydraulischen Anlage des Schleppers erreichen. Wählt man einen Niederdruckspeicher, dessen Fülldruck in der Größenordnung des Reifenluftdruckes liegt, so kann jederzeit durch Nachfüllen auch die Federhärte verändert und dem Gewicht des Fahrers angepaßt werden. Dabei muß natürlich der Speicher durch ein Druckbegrenzungsventil mit entsprechend niedrigem Einstellwert vor den in den anderen Zweigen auftretenden höheren Drücken geschützt werden.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Aufsatz sollten die Anwendungsmöglichkeiten der Hydrostatik für den Landmaschinen- und Schlepperbau aufgezeigt werden. Dabei wurde sowohl auf bekannte Entwicklungen eingegangen, die durch die Darstellung mit den entsprechenden Hydraulik-Symbolen in eine übersichtliche Form gebracht wurden, als auch die Probleme und Vorzüge zukünftiger Anwendungen behandelt.

Der Überblick zeigt, daß es technisch möglich ist, zahlreiche komplizierte und verschleißanfällige mechanische Antriebe des Landmaschinenbaus durch raumsparendere und betriebssichere hydrostatische Antriebe zu ersetzen. Weiter sind über die Möglichkeiten

Die Abfederung des Schlepper-Frontladers bietet — wie in [18] vorgeschlagen — eine ebenfalls vorteilhafte Anwendungsmöglichkeit für den Gasspeicher. Die bei der Ladearbeit und beim Fahren mit gefülltem Lader auf den Schlepper und den Fahrer einwirkenden hohen dynamischen Beanspruchungen könnten einerseits durch die Federung der Anlenkpunkte des Laders oder eines Lader-Hilfsrahmens verringert werden. Eine konstruktiv weitaus einfachere und erfolgversprechendere Möglichkeit besteht aber in der Verwendung des Speichers in der Hydraulikanlage. Die Anordnung des Speichers entspricht dabei der in Bild 12 dargestellten Schaltung, wobei der Speicher den beiden Zylindern des Laders parallel geschaltet wird. Außerdem wird dem Speicher wieder ein Drosselventil vorgeschaltet, das die Schwingbewegungen des Laders in beiden Richtungen dämpfen soll, so daß das bei der Mähtrischabfederung verwendete Rückschlagventil entfällt.

Schließlich soll noch auf die zukünftige Anwendungsmöglichkeit des Gasspeichers als Federerelement für den Schleppersitz hingewiesen werden, wodurch eine progressive und außerdem veränderliche Federkennung sowie die Höhenverstellung des Sitzes leicht verwirklicht werden können. Auch hier könnten, wie Bild 13 zeigt, der Speicher und die Drosselstelle wieder einem einfachwirkenden Zylinder parallel geschaltet werden, dessen Kolbenstange den Sitz trägt und seine Führung übernimmt. Zur Höhenverstellung des Sitzes wird durch kurzzeitige Betätigung des Wegeventils entweder der Pumpenstrom zum Zylinder ge-

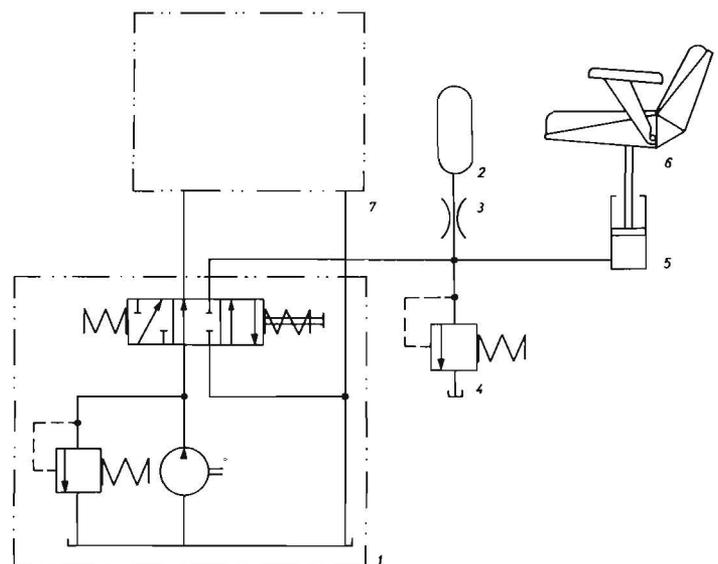


Bild 13: Hydropneumatische Schleppersitz-Federung
 1 = Konstantpumpe mit Druckbegrenzungsventil und Steuerventil
 2 = Speicher für Federung
 3 = Drossel
 4 = Druckbegrenzungsventil für Speicherzweig
 5 = einfachwirkender Zylinder
 6 = Schleppersitz
 7 = weitere Hydraulik-Verbraucher

der stufenlosen Geschwindigkeitsregulierung oder des Schaltens unter Last erhebliche Funktionsverbesserungen zu erreichen. Schließlich ermöglicht die Hydrostatik in vielen Fällen die Automatisierung von Arbeitsvorgängen, und sie bietet wesentliche Erleichterung und höheren Komfort bei der Bedienung von Maschinen und Geräten. Daher ist anzunehmen, daß hydrostatische Antriebe, Hilfskraftanlagen und Federungen auch im Landmaschinenbau in der Zukunft eine immer größer werdende Verbreitung erlangen werden.

Literatur

- [1] KAHR, M.: Die Grundlagen der hydrostatischen Leistungsübertragung. Landtechnische Forschung 14 (1964), S. 168—180
- [2] MEYER, H. und H. COENENBERG: Die Bedeutung einer hydrostatischen Leistungsübertragung beim Ackerschlepper. Landtechnische Forschung 5 (1955), S. 22—25
- [3] MARKS, K.: Die Eignung des hydraulischen Antriebs für Ackerschlepper. Konstruktion 9 (1959), S. 361—365
- [4] BARTHOLOMÄUS, W.: Hydrostatische Fahrtriebe. In: VDI-Bericht No. 57, Düsseldorf 1962, S. 63—68
- [5] MARKS, K.: Hydraulische Schwingantriebe für Mähwerke. Landtechnische Forschung 11 (1961), S. 41—47
- [6] SKALWEIT, H.: Die Führungskräfte von Schlepper-Arbeitsgeräten bei den genormten Anbausystemen. In: Grundlagen der Landtechnik Heft 4, Düsseldorf 1953, S. 54—64
- [7] SEIFERT, A.: Die Regelsysteme bei hydraulischen Krafthebern für Ackerschlepper aus der Sicht der Regeltechnik. Landtechnische Forschung 11 (1961), S. 97—100
- [8] MOLLY, H.: Die Schlepperhydraulik und die Wechselbeziehungen zwischen Schlepper und Pflug bei der Regelung der Arbeitstiefe. In: Grundlagen der Landtechnik Heft 17, Düsseldorf 1963, S. 28—37
- [9] FLETCHER, E. H., H. A. LEHMANN and C. B. RICHBY: Developing Closed-Center Hydraulic Systems for Tractors. Agricultural Engineering 44 (1963), S. 18—21

Veröffentlichungen in der Welt

Rund 375 000 Bücher und Schriften sind im Laufe des Jahres 1961 in aller Welt veröffentlicht worden - 15 000 mehr als 1960 und sogar 40 000 mehr als 1959. Das geht aus der neuesten Ausgabe des Statistischen Jahrbuchs (Statistical Yearbook 1963) der Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur (UNESCO) hervor. Das Material basiert auf Mitteilungen von 70 Mitgliedstaaten der Organisation.

Die Bundesrepublik Deutschland behauptete im Berichtszeitraum mit 22 000 Titeln nach der Sowjetunion, Großbritannien und Japan den vierten Platz. Ihr folgen die Vereinigten Staaten von Amerika mit 18 000 und Frankreich mit 12 700 Veröffentlichungen.

In der Gruppe der sechs führenden Publikationsländer hat die schöngestiegene Literatur nach der UNESCO-Statistik nur in vier Fällen den höchsten Anteil — in Großbritannien, Japan, den Vereinigten Staaten von Amerika und Frankreich. In der Bundesrepublik Deutschland überwiegen die sozialwissenschaftlichen Werke, in der Sowjetunion die Veröffentlichungen über angewandte Naturwissenschaften. Nur in Frankreich folgen zahlenmäßig die Künste unmittelbar auf die schöngestiegene Literatur, während die Bücher über geographische und historische Themen, die in anderen Ländern einen guten Platz einnehmen, in der Sowjetunion am Ende der Skala rangieren. Theologische und religiöse Publikationen sind am weitesten in Frankreich und in der Bundesrepublik verbreitet, philologische prozentual stärker in der Sowjetunion und Japan. (Unesco)

Unterstützung wissenschaftlicher Bibliotheken

Bis zu drei Millionen DM will die Deutsche Forschungsgemeinschaft auf Beschluß ihres Hauptausschusses im Jahre 1965 für die Unterstützung wichtiger Gemeinschaftsprojekte der wissenschaftlichen Bibliotheken ausgeben. Die Mittel dienen unter anderem dem Ankauf ausländischer Spezialliteratur, dem internationalen Schriftentausch, zentralen Fachbibliotheken für Technik und Landbauwissenschaft, zentralen Literaturnachweisen für Bücher, Zeitschriften und Zeitungen, der Katalogisierung von mittelalterlichen und neueren Handschriften sowie — nicht zuletzt — Experimenten zur Rationalisierung im Bibliothekswesen durch vermehrte Anwendung technischer Hilfsmittel bis zur elektronischen Datenverarbeitungsanlage. (Deutsche Forschungsgemeinschaft)

- [10] MEINCKE, K.: Kinematische Untersuchungen an Schlepperfrontladern unter besonderer Berücksichtigung abschließender Arbeitswerkzeuge. Landtechnische Forschung 14 (1964), S. 33—42
- [11] REINFELD, H.: Zentralhydrauliknetz im Kraftomnibus. Ölhydraulik und Pneumatik 8 (1964), S. 96—97
- [12] LONG, M. E.: Power Steering. Implement and Tractor 79 (1964), S. 52—55
- [13] DUPUIS, H.: Untersuchungen an mechanischen Lenkungen und Hilfskraftanlagen bei einem 35-PS-Schlepper. Landtechnische Forschung 11 (1961), S. 1—9
- [14] DIETRICH, G.: Servolenkungen für Kraftfahrzeuge. Konstruktion 8 (1956), S. 142—150
- [15] Druckschriften der Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, Schwäbisch-Gmünd
- [16] Druckschriften der Danfoss A/S, Nordborg (Dänemark)
- [17] KURZHALS, H.: Druckölspeicher. In: VDI-Bericht No. 57, Düsseldorf 1962, S. 25—30
- [18] MEINCKE, K.: Möglichkeiten zur Reduzierung der Beanspruchung des Schleppers beim Einsatz von Frontladern. Vortrag auf der 22. Tagung der Landmaschinenkonstruktoren am 7. bis 9. 4. 1964 in Braunschweig-Völkenrode

Résumé

Manfred Kahrs: "The Use of Hydrostatics in Agricultural Engineering and Tractor Construction."

The present paper should show the application possibilities of hydrostatics for agricultural engineering and tractor construction. Both the already known developments, which have been clearly arranged by the respective hydraulic symbols, and the problems and advantages of future applications have been dealt with.

The survey shows that, technically, numerous complicated and easily wearable mechanical drives of agricultural engineering construction can be replaced by more space saving and more reliable hydrostatic drives. Moreover, considerable functional improvements can be obtained by utilizing the possibilities of the infinitely variable speed transmission or of switching under load. Finally, hydrostatics enables in many cases automatic operations and offers a substantially easier and more comfortable servicing of machines and implements.

Thus it can be assumed that hydrostatic drives, auxiliary power systems and suspensions will increasingly be made use of also in agricultural engineering construction.

Manfred Kahrs: «L'utilisation de l'hydrostatique dans la construction de machines et tracteurs agricoles».

L'étude présente a pour but de montrer les possibilités d'application de l'hydrostatique dans la construction des machines et tracteurs agricoles. L'auteur traite aussi bien des développements connus qu'il a groupés systématiquement en y ajoutant les symboles hydrauliques correspondants, que des problèmes et avantages d'application futures. Il montre qu'il est techniquement possible de remplacer de nombreuses commandes mécaniques compliquées et soumises à une usure rapide des machines agricoles par des commandes hydrauliques peu encombrantes et à fonctionnement sûr. De plus, on peut atteindre des améliorations considérables du fonctionnement par la possibilité de la variation continue de la vitesse et de la manoeuvre des machines sous charge. Enfin, l'hydrostatique permet dans beaucoup de cas l'automatisation des opérations de travail et offre des améliorations importantes et un confort plus élevé pendant la manoeuvre des machines et outils. On peut donc penser que les commandes hydrauliques, les commandes assistées et suspensions hydrauliques trouveront dans l'avenir une place toujours plus grande dans la construction des machines agricoles.

Manfred Kahrs: «La aplicación de la hidrostática a la construcción de máquinas agrícolas y de tractores».

En este trabajo se trata de recoger las posibilidades de empleo de la hidrostática a la construcción de máquinas agrícolas y de tractores. Se tuvieron en cuenta tanto construcciones conocidas que se presentan en disposición metódica, empleando los símbolos hidráulicos correspondientes, como también los problemas y las ventajas para aplicaciones futuras.

Este resumen demuestra la posibilidad técnica de sustituir numerosos mecanismos de impulsión complicados y altamente sujetos a desgaste en la maquinaria agrícola, por impulsión hidrostática, más segura y de menos bulto. Además pueden conseguirse mejoras funcionales por la regulación de la velocidad sin escalonamiento, o bien del embrague bajo carga. Para terminar, la hidrostática permite en muchos casos el servicio automático, dando más facilidad y comodidad en el manejo de máquinas y aperos. Es por lo tanto de prever que la impulsión hidrostática en instalaciones auxiliares de fuerza y en la suspensión elástica encontrará en adelante más aplicación, también en la construcción de máquinas agrícolas.