

# Entwicklungslinien auf dem Gebiet der Schlepperhydraulik

Von H.J. Matthies, Braunschweig \*)

DK 631.372:62 - 82

Im Rahmen einer systematischen Einteilung der Schlepperhydraulik in die Gruppen < Elemente und Schaltungen >, < Fahrhydraulik >, < Arbeitshydraulik > und < Bedienungs- und Komforthydraulik > werden die grundlegenden Tendenzen bei der Entwicklung der Schlepperhydraulik aufgezeigt. Nach der Behandlung einiger wichtiger Elemente und Schaltungen werden die Möglichkeiten für Gestaltung und Anwendung der Fahrhydraulik untersucht; vor allem dem Antrieb mit Kompaktgetriebe werden begrenzte Chancen eingeräumt. Die Entwicklung der Arbeitshydraulik ist auf den Gebieten der Kraftheber und der Mähwerkshubwerke und -antriebe schon relativ weit fortgeschritten, die Gestaltung der "hydraulischen Steckdose" bedarf in Zukunft besonderer Beachtung. Bei der Entwicklung der Bedienungs- hydraulik wird die Hydrauliklenkung in Zukunft eine zunehmende Verbreitung finden. Wie bei der Kraftheberhydraulik wird auch bei der Entwicklung der Bedienungs- und der Sitzeinrichtungen der Elektrohydraulik eine wachsende Bedeutung zukommen; besonders die Entwicklung der Fahrerinnen wird die Verwendung der Elektrohydraulik fördern.

## 1. Allgemeines zur Schlepperhydraulik

Es ist allgemein bekannt, daß die hydraulischen Antriebe, wie überall in der Maschinenbautechnik, so auch im Landmaschinen- und Schlepperbau in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen haben. Auch in Zukunft wird ihre Bedeutung weiter zunehmen. Die Ursachen für diese Entwicklung sind in sehr erheblichen Vorteilen zu suchen, die die Ölhydrostatik dem Konstrukteur und darüber hinaus vor allem auch dem späteren Benutzer der Maschinen bieten. Als wesentliche Vorteile sind zu nennen:

weitgehende Freizügigkeit bei der Anordnung der Bauelemente, einfacher Aufbau der Hydraulikanlagen mit Hilfe von Normteilen, hohe Leistungsdichte, d. h. Übertragung großer Kräfte auf kleinem Raum, einfache Umwandlung von rotierender Bewegung in oszillierende Bewegung, stufenlose Übersetzungsverstellung unter Last, einfache Bewegungsumkehr, einfache Bruchsicherung durch Druckbegrenzungsventil, einfache Bedienung.

Diesen Vorteilen stehen die Nachteile gegenüber, die vor allem darin bestehen, daß hydraulische Antriebe

schlechtere Wirkungsgrade und höhere Herstellungskosten

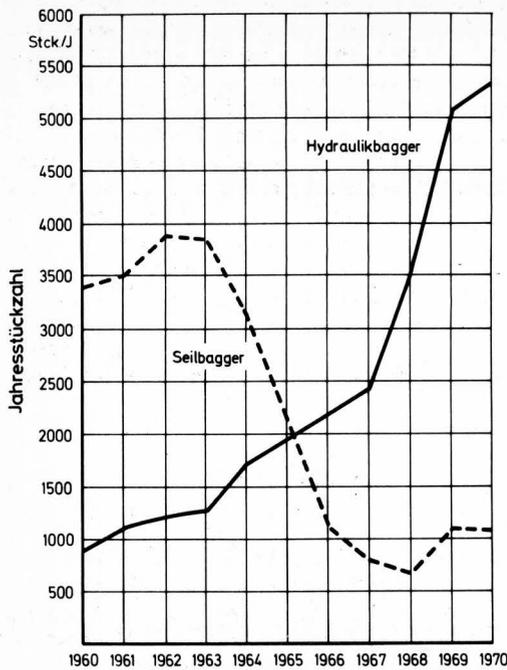
haben als mechanische. Gerade diese Nachteile begrenzen oder verlangsamen doch die Anwendung auf vielen Gebieten, so auch teilweise im Schlepperbau. In manchen Beiträgen zur Hydraulikentwicklung, besonders im landtechnischen Schrifttum, ist gelegentlich eine Hydraulik-Euphorie zu verzeichnen, die durchaus nicht in allen Fällen angebracht ist. So hat sich die Hydrostatik in einigen Gebieten des Schlepperbaus völlig durchgesetzt, wie bei Regelkraftheber und Frontlader, in anderen Gebieten jedoch kaum, wie beim hydrostatischen Wandler. Im Ganzen gesehen kann jedoch heute schon ein beachtlicher Teil der Motorleistung in Hydraulikleistung umgesetzt werden.

Vergleicht man den Schlepperbau mit anderen Gebieten des Mobilmaschinenbaus, so kann man feststellen, daß die Hydraulik immer dann sehr rasch vordringt, wenn es sich — wie beispielsweise im Baggerbau, **Bild 1** — darum handelt, relativ große, mobile Maschinen

- a) mit mehreren und überwiegend absätzig wirkenden Arbeitsantrieben zu versehen, die sehr große Kräfte aufzubringen haben und
- b) wenn es gelingt, eine solche Maschine konstruktiv sowohl im Aufbau des mechanischen als auch in der Anlage des hydraulischen Teils sozusagen "aus einem Guß" herzustellen.

Vortrag im Rahmen des < Kolloquiums über Schleppertechnik > anlässlich des 75. Geburtstages von Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.E.h. Helmut Meyer.

\*) Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Matthies ist Direktor des Instituts für Landmaschinen der TU Braunschweig.



**Bild 1.** Produktionsentwicklung bei Hydraulik- und Seilbaggern in der BRD nach VDMA.

Es ist eine Grundregel bei der Anwendung der Ölhydraulik, daß man – will man wirtschaftlich vertretbare Ergebnisse erreichen – nicht einfach mechanische Elemente durch hydraulische ersetzen darf. Die großen Erfolge bringt die Hydraulik erst dort, wo es möglich ist und gelingt, die Gestaltung einer Maschine voll den Eigenarten der Hydraulik anzupassen oder besser noch, eine einheitliche, in Mechanik und Hydraulik sorgfältig aufeinander abgestimmte Konzeption zu entwickeln.

Unter diesem Leitgedanken soll im folgenden versucht werden, die grundlegenden Möglichkeiten für die Entwicklung der Schlepperhydraulik und die sich heute schon abzeichnenden Tendenzen aufzuzeigen. Um einen klaren Überblick und einen guten Einblick in die oft komplizierten und ineinander verflochtenen Probleme der Hydraulik zu erhalten, sollen zunächst einige wichtige Elemente und Schaltungen behandelt werden. Um dabei einen möglichst klaren Überblick geben zu können, soll die Einteilung des sehr komplexen Gesamtgebietes der Schlepperhydraulik nach folgender Systematik vorgenommen werden:

### Elemente und Schaltungen

#### Fahrhydraulik

- Hinterradantrieb
- Vorderradantrieb

#### Arbeitshydraulik

- Kraftheber
- Frontlader
- Mähwerk
- hydr. Steckdose

#### Bedienungs- und Komforthydraulik

- Lenkung
- Bremsen
- Kupplung
- Schaltungen
- Schleppersitz
- Einrichtungen zur Automatisierung

Unter dem schon vielfach verwendeten Begriff "Fahrhydraulik" werden dabei die hydraulischen Wandler und der hydraulische Vorderradantrieb behandelt. Im Abschnitt "Arbeitshydraulik"

sollen alle hydraulischen Einrichtungen des Schleppers zusammengefaßt werden, die nicht unmittelbar zum Betrieb des Schleppers selbst nötig sind, die vielmehr zur Arbeitsleistung für Schleppergeräte zur Verfügung stehen. Im Gegensatz dazu werden unter der Überschrift "Bedienungs- und Komforthydraulik" diejenigen Einrichtungen und ihre Entwicklungstendenzen beschrieben, die für den Betrieb des Schleppers selbst Verwendung finden.

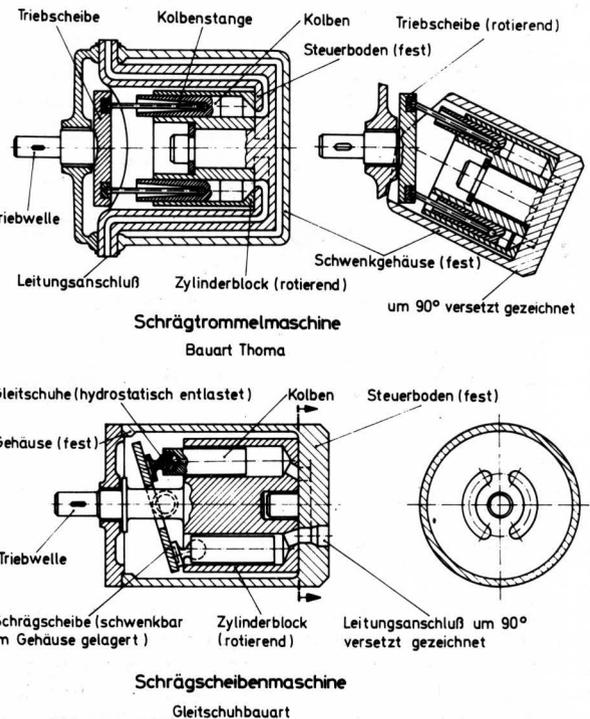
## 2. Tendenzen auf dem Gebiet der Elemente und Schaltungen

Schon die Entwicklung der Hydraulikelemente, insbesondere die der Pumpen und Motoren (zusammenfassend als Verdrängermaschinen bezeichnet), läßt gewisse Entwicklungstendenzen erkennen.

### 2.1 Verdrängermaschinen

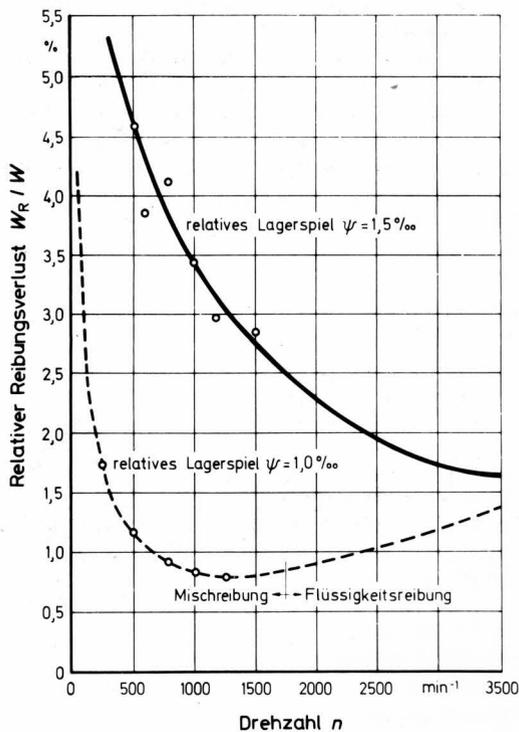
Für Antriebe mit größeren Leistungen (so vor allem für Fahrtriebe) wird bekanntlich überwiegend die Axialkolbenmaschine benutzt. Sie kann – wie fast alle Verdrängermaschinen – als Pumpe oder als Motor eingesetzt werden, und sie ist als Verstellpumpe für Fahrtriebe besonders und für größere Konstantdruckanlagen ebenfalls gut geeignet, weil sie neben ihrer raumsparenden Bauform auf relativ einfache Weise eine stufenlose Verstellung unter Last ermöglicht. Man unterscheidet vor allem zwei verschiedene Bauarten, nämlich die sogenannte Schräg-Trommelbauart, vor allem als Thoma-Bauart bekannt, und die sogenannte Schrägscheibenbauart. Bild 2 zeigt in schematischer Darstellung je eine Ausführungsform dieser beiden Bauarten.

Die Schrägtrommelmaschine Bild 2 oben, als Verstellmaschine, ist gekennzeichnet durch die Veränderung des Hubvolumens ( $l/U_{\text{mdr}}$ ) mittels schwenkbarer Gehäusetrommel und durch die von der Triebseibe aus über Pleuelstangen angetriebenen Kolben. Bei der Schrägscheibenmaschine, Bild 2 unten, wird zur Veränderung des Hubvolumens dagegen die im feststehenden Gehäuse schwenkbar angebrachte Schrägscheibe benutzt, und die Kolben werden nicht über Pleuelstangen, sondern über die auf der Schrägscheibe abgestützten Gleitschuhe angetrieben.



**Bild 2.** Axialkolbenmaschinen für landwirtschaftliche Schlepper (schematisch).

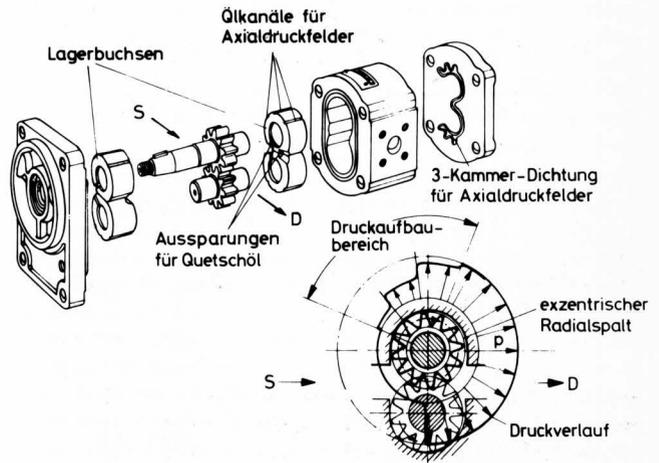
Die Schrägtrommelmaschine ist gegenüber der Schrägscheibenmaschine aufwendiger und damit teurer in der Herstellung und sie hat den Nachteil, daß Druck- und Saugöl über den Schwenkpunkt des Trommelgehäuses geführt werden müssen, was nicht nur größere Strömungsverluste, sondern auch Nachteile bei der Gestaltung von hydrostatischen Kompaktgetrieben zur Folge hat. Demgegenüber sind der Aufbau und die Ölführung in den Schrägscheibenmaschinen wesentlich einfacher und auch raumsparender. Der einfachere Kolbenantrieb muß aber mit dem Nachteil erkauft werden, daß die Schrägscheibenmaschinen dort weniger gut – oder nur mit besonderen Vorkehrungen – einzusetzen sind, wo Selbstansaugung erwünscht ist. Ein weiterer Nachteil bestand zunächst in der Tatsache, daß die Gleitflächen zwischen Kolben und Zylindern größere Querkräfte aufzunehmen haben; das hat gerade bei der Verwendung dieser Maschinen in der Landtechnik anfangs Betriebsschwierigkeiten gebracht (Anlaufprobleme, Verschleißprobleme usw.). Diese Schwierigkeiten sind jedoch heute überwunden und man ist auch bereits in die Theorie des Zusammenwirkens von Kolben und Zylinder bei diesen Maschinen eingedrungen. Die hier auftretenden Reibungsvorgänge konnten von *Renius* [1] auf die Theorie der Gleitlager zurückgeführt werden, und es ergeben sich auch hier die für Gleitlager typischen sogenannten Stribeck-Kurven, **Bild 3**. Da die Schrägscheibenmaschine die billigere Maschine ist und da sie – wie später noch gezeigt werden soll – für Kompaktgetriebe besonders geeignet ist, wird sie auf dem Gebiet der Fahrhydraulik die zukünftige Axialkolbenmaschine sein; die meisten der bisher in größeren Stückzahlen hergestellten Schleppertypen mit hydraulischen Fahrtrieben verwenden diese Bauart.



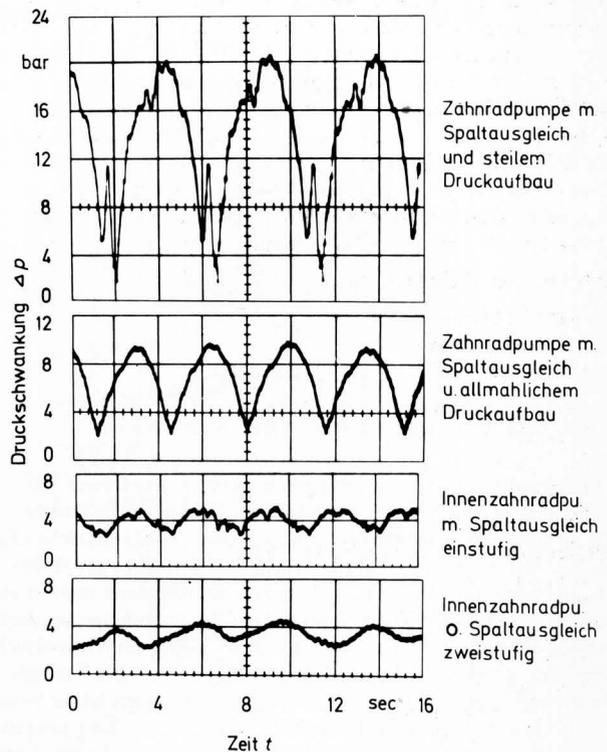
**Bild 3.** Stribeck-Kurven für die Darstellung der Reibung zwischen Kolben und Zylinder bei Axialkolbenpumpen nach *Renius* [1].  $\psi$  rel. Lagerspiel zwischen Kolben und Zylinder.

Neben den für die Schlepperhydraulik weniger wichtigen Radialkolben [2] und Zellenradmaschinen haben die Zahnradmaschinen bekanntlich die weitaus größte Verbreitung und Bedeutung gefunden. Zu ihren wesentlichen Vorteilen zählen ihre hohe Energiedichte, ihr günstiger Herstellungspreis und geringe Störanfälligkeit. Da die einfachen Zahnradmaschinen wegen ihrer hohen Leckölverluste keine höheren Drucke und keine guten Wirkungsgrade erlauben, hat man spezielle Zahnradmaschinen mit sogenanntem Spaltausgleich entwickelt, bei denen brillenähnliche,

durch den Öldruck beaufschlagte Elemente die Spalthöhe druckabhängig verändern, und zwar sowohl in axialer als auch in radialer Richtung. Solche Zahnradmaschinen werden in sehr großen Stückzahlen als Konstantpumpen für den Antrieb von Schleppergeräten verwendet. Ältere Pumpen dieser Bauart bauen den erforderlichen hohen Antriebsdruck von z.B. 180 bar sehr plötzlich auf, was unerwünschte Schwingungen in den Rohrleitungen und Elementen der Anlage und unter Umständen Leistungs- und Verbindungsschäden verursacht. Mit diesen Schwingungen ist außerdem eine heute besonders unerwünschte höhere Geräuschkentwicklung verbunden. Man sollte daher modernere Zahnradpumpen mit allmählicherem Druckaufbau verwenden, **Bild 4**, um solche Störungen von vornherein zu verringern. Welche großen Unterschiede bei Zahnradpumpen hier zu erwarten sind, zeigen die in **Bild 5** wiedergegebenen Versuchsergebnisse von *Hoffmann* [3].



**Bild 4.** Zahnradpumpe mit Spaltausgleich und allmählichem Druckaufbau.



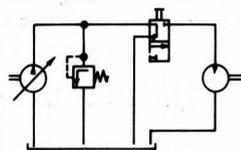
**Bild 5.** Gemessene Druckschwankungen hinter Zahnradpumpen nach *Hoffmann* [3].

Bei der Beurteilung dieser Pumpen sind u.a. aber Herstellungskosten und Wirkungsgrade zu berücksichtigen. Die Herstellungskosten von Innenzahnradpumpen sind in der Regel wesentlich höher als die für normale Außenzahnradpumpen; die Innenzahnradpumpe ist dafür meist geräuschärmer. Extreme Geräuscharm ist aber infolge des Dieselmotorgeräusches im Schlepperbetrieb nicht nötig, so daß die dem zweiten Diagramm von oben zugrundeliegende Pumpe voll ausreicht.

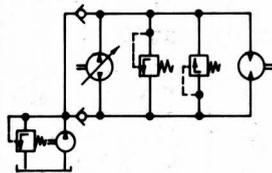
## 2.2 Schaltungen

Während die für die Entwicklung von Hydraulikanlagen wichtige und sehr umfangreiche Gruppe der Ventile aus Raumgründen hier nicht behandelt werden kann, sollen anhand von sehr stark vereinfachten Schaltskizzen die wichtigsten, in der landtechnischen Literatur oft falsch oder mißverständlich beschriebenen Schaltungen erläutert und die Tendenzen im Hinblick auf ihre Anwendung in der Schlepperhydraulik umrissen werden. Anhand solcher vereinfachter Schaltskizzen gewinnt man einen schnelleren und umfassenderen Einblick in die für den ungeübten Betrachter oft nur schwer zu übersehenden Zusammenhänge verschiedener Hydraulikanlagen, wie sie in dem folgenden Aufsatz über Entwicklungslinien im Schlepperbau behandelt werden sollen.

Der in Bild 6 oben dargestellte sogenannte offene Kreislauf ist dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpe das Hydrauliköl aus dem Behälter ansaugt und es über die Druckleitung dem Motor oder dem Zylinder zuführt, der es wiederum drucklos in den Behälter zurückfließen läßt. Da die Pumpe den Ölstrom immer nur in einer Richtung fördert, ist eine Bewegungsumkehr nur über die Schaltung eines entsprechenden Wegeventils möglich, und vom Motor aus können keine Bremskräfte auf die Pumpe übertragen werden. Die Anwendung des offenen Kreislaufes wird für die Gestaltung vieler Schlepperantriebe verwendet, und er ist besonders gut für die Schaltung von Antrieben und Hydraulikzylindern geeignet, jedoch nicht für Fahrtriebe.



Offener Kreislauf



Geschlossener Kreislauf

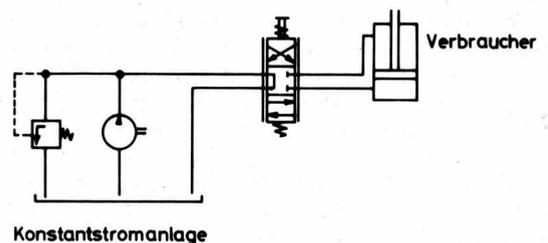
Bild 6. Offener und geschlossener hydraulischer Kreislauf.

Für Fahrtriebe hat sich der geschlossene Kreislauf bewährt, der in Bild 6 unten dargestellt ist. Hier saugt die Pumpe das Öl direkt aus der vom Motor kommenden Niederdruckleitung an und fördert es über die Hochdruckleitung wieder zum Motor. Die in Pumpe und Motor entstehenden Leckölverluste werden von einer in die jeweilige Niederdruckleitung fördernden Speisepumpe ausgeglichen; das zuviel eingespeiste Öl wird über ein Niederdruckbegrenzungsventil in den Behälter zurückgefördert. Bei Verwendung einer Verstellpumpe, wie sie in Bild 10 skizziert ist, kann die Drehrichtung des Motors allein durch Pumpenverstellung gewechselt werden. Durch Verändern des Hubvolumens der Pumpe durch die Nullstellung hindurch wird dabei die vorherige Hochdruckseite zur Niederdruckseite gemacht und umgekehrt. Bei dieser Schaltung können auch Bremskräfte vom Motor auf die Pumpe und

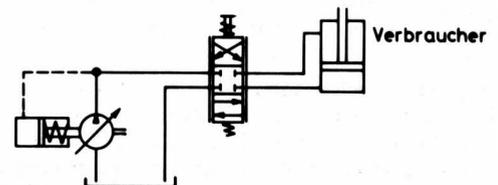
damit auf den Antriebsmotor übertragen werden. Infolge der notwendigen Speisepumpe und anderer hier nicht beschriebener Elemente, wie Spülventile, Filter, Kühler usw., wird eine im geschlossenen Kreislauf gebaute Anlage immer teurer werden als ein entsprechender offener Kreislauf; der geschlossene Kreislauf ist dafür aber vielseitiger verwendbar und er kann außer für Fahrtriebe vorteilhaft beispielsweise auch für die nach dem Prinzip der Konstantdruckanlagen arbeitenden Schlepperhydraulikausrüstungen verwendet werden, wie später noch gezeigt werden soll.

Bei der Entwicklung von Kraftheber- oder kompletten Schlepperhydraulikanlagen muß oft entschieden werden, ob eine Konstantstromanlage oder eine Konstantdruckanlage verwendet werden soll. Für beide Anlagen sind in Bild 7 stark vereinfachte Schaltskizzen wiedergegeben; beide Anlagen sind der Übersichtlichkeit wegen in offenem Kreislauf dargestellt, obwohl die Konstantdruckanlage in Schleppern oft auch in geschlossenem Kreislauf arbeitet.

Das Konstantstromsystem, Bild 7 oben, arbeitet mit einer Pumpe mit konstantem Hubvolumen. Wird der von der Pumpe gelieferte konstante Förderstrom von den Verbrauchern nicht voll benötigt, so muß der nicht benötigte Teilölstrom mit Arbeitsdruck über das Wegeventil abgeleitet werden. Das hat besonders bei der Bedienung von Verbrauchern mit kleinem Ölstrombedarf höhere Verlustleistungen zur Folge. Bei der Konstantstromanlage stellt sich das Druckniveau der Pumpe nach dem Bedarf des Verbrauchers ein. Verlangen mehrere Verbraucher (beispielsweise Zylinder) unterschiedliche Drücke, so wird z.B. der Zylinder mit dem niedrigsten Druckbedarf zuerst und zwar mit maximaler Geschwindigkeit bewegt. Wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen sind, werden die anderen Zylinder erst betätigt, nachdem der zuerst bediente Zylinder seine Endstellung erreicht hat; erst dann kann der Zylinder mit dem nächsthöheren Druckbedarf bedient werden. Aufgrund dieser Eigenart ist eine Konstantstromanlage immer dann ungünstig, wenn mehrere Verbraucher mit unterschiedlichem Druckbedarf gleichzeitig versorgt werden sollen. Dagegen ist sie eine relativ einfache und billige Anlage, die in der Schlepperhydraulik weit verbreitet ist und überall dort verwendet werden kann, wo nicht mehrere hinsichtlich ihres Druckbedarfes unterschiedliche Verbraucher gleichzeitig bedient werden müssen.



Konstantstromanlage



Konstantdruckanlage mit druckgeregelter Verstellpumpe

Bild 7. Konstantstrom- und Konstantdruckanlage.

Das Konstantdrucksystem, Bild 7 unten, arbeitet überwiegend mit einer vom Systemdruck geregelten Verstellpumpe mit sogenannter Nullhubregelung, die bei in etwa konstant bleibendem Druck nur soviel Öl fördert, wie der oder die Verbraucher benötigen. Statt der Verstellpumpe kann man für kleinere Anlagen auch eine Konstantpumpe mit zusätzlichem Speicher verwenden. Wird der eingestellte Pumpendruck nicht voll benötigt, so muß der überschüssige Druck abgedrosselt werden, was wiederum mit Verlusten verbunden ist. Die Konstantdruckanlage ermöglicht unter Verwendung z.B. von Stromregelventilen aber eine gleichmäßige Bedienung mehrerer unterschiedlicher Verbraucher und eine gute Anpassung an ihren Ölbedarf. Sie ist daher besonders dort zu verwenden, wo viele Verbraucher mit unterschiedlicher und auch gleichzeitig zu liefernder Leistung vorhanden sind, so in der Schlepperhydraulik beispielsweise dann, wenn neben den üblichen Hub- und Mähwerkantrieben auch die Vorderräder hydraulisch angetrieben werden sollen. Die Verstellpumpe sorgt dann beispielsweise automatisch für die Anpassung der Vorderradzahl an die durch den mechanischen Hinterradantrieb gegebene Fahrgeschwindigkeit, wobei die Fahrbahn die Kopplung zwischen Vorder- und Hinterrädern übernimmt.

Es kann heute kein eindeutiges Rezept zu der Frage gegeben werden, wann das eine oder das andere System verwendet werden sollte. Das Konstantstromsystem ist das heute für die Schlepperhydraulik am meisten verwendete System, und es ist überall dort ausreichend, wo die einzelnen Antriebe vom Schlepper überwiegend nur nacheinander betrieben werden. In Zukunft ist jedoch insbesondere bei Schleppern großer Leistung, also von etwa 45 kW an, damit zu rechnen, daß die Hydraulik, zum Beispiel über die sogenannte hydraulische Steckdose, mehrere Antriebe gleichzeitig zu versorgen hat. Da hierfür das teurere Konstantdrucksystem Vorteile bietet, kann erwartet werden, daß es ebenfalls eine größere Bedeutung erlangen wird.

### 3. Fahrhydraulik

Auf die Vorteile und die Möglichkeiten des hydrostatischen Fahrtriebs für Schlepper ist schon in zahlreichen Untersuchungen hingewiesen worden. Sie liegen bekanntlich vor allem in der vollen Ausnutzung der Kapazität der angehängten Maschine, in der stufenlos und unter Last einstellbaren Fahrgeschwindigkeit und im einfachen Reversierbetrieb. Weiter bieten hydrostatische Wandler günstige Voraussetzungen für die Getrieberegulung. Nach früheren Untersuchungen von Meyer [4] liegt der Gewinn an Arbeitsproduktivität bei Feldarbeiten etwa in der Größenordnung von 10 - 20 %. Ihm stehen jedoch der Mehrpreis des hydrostatischen Antriebes in Höhe von heute etwa 15 + 20 % des Schlepperpreises und der schlechtere Wirkungsgrad von günstigstenfalls etwa 80 - 85 % gegenüber. Beide Faktoren, vor allem aber der Mehrpreis, haben die Entwicklung des hydrostatischen Schlepperantriebs in den vergangenen zwei Jahrzehnten stark gebremst. Grundlegende Entwicklungen auf dem Gebiet des hydrostatischen Fahrtriebs sind schon aus den Jahren 1907 bekannt [5] und der vollhydrostatisch angetriebene Versuchsschlepper des NIAE wurde bereits vor fast 20 Jahren vorgestellt [2]. Seitdem ist die Entwicklung von allen bedeutenden Schlepperherstellern verfolgt und weiterbetrieben worden. Wenn man jedoch von den leichten Gartenschleppern absieht, ist trotz der bekannten Vorteile des hydrostatischen Wandlers ein "Durchbruch" noch nicht in Sicht.

Für die Lösung des hydrostatischen Schlepperantriebs gibt es die auf Bild 8 dargestellten grundsätzlichen Möglichkeiten. Fast alle Schlepperhersteller setzten bei ihren bisherigen Entwicklungen den hydrostatischen Wandler als Kompaktgetriebe ein, wie es in Bild 8 oben links dargestellt ist. Dies geschieht vor allem wohl deswegen, weil diese Lösung bei sonst gleicher und herkömmlicher Gestaltung des Schleppers wahlweise den Einbau eines Zahnradstufengetriebes oder eines hydrostatischen Getriebes ermöglicht. Andererseits ist dies gerade ein Beispiel für das anfangs erwähnte Verfahren, eine mechanische Baugruppe einfach durch eine hydrostatische zu ersetzen, ein Verfahren also, das in der Regel zu teureren Lösungen führt. Andererseits werden Kompaktgetriebe in zu-

nehmendem Maße in anderen Gebieten des Maschinenbaues verwendet und innerhalb der Hydraulikindustrie sind starke Konzentrationsbestrebungen zu erkennen, so daß bei zunehmenden Stückzahlen mit allmählich günstiger werdenden Herstellungskosten zu rechnen sein dürfte. Um Größenordnungen dürfte es sich dabei allerdings nicht handeln.

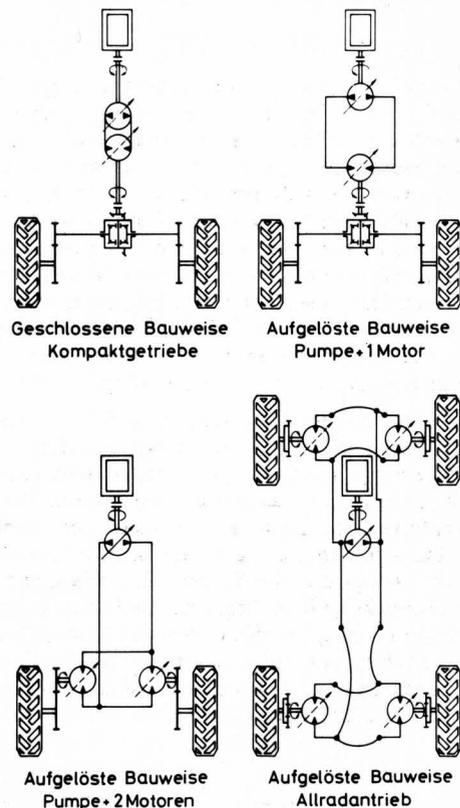


Bild 8. Anordnungen für hydraulische Fahrtriebe.

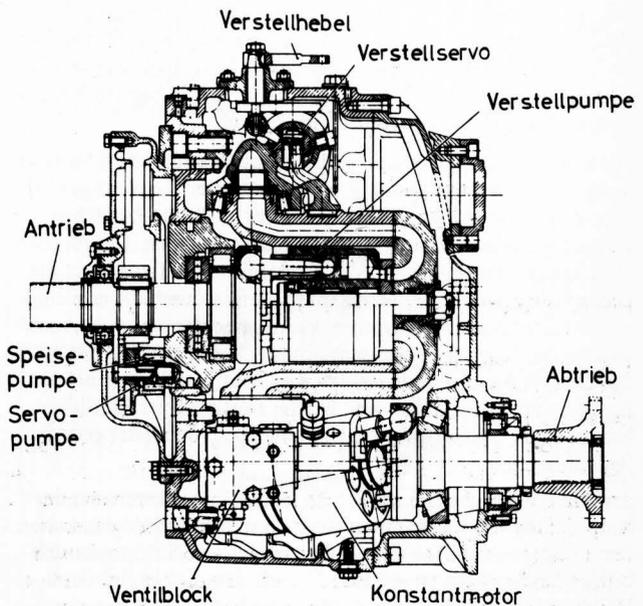
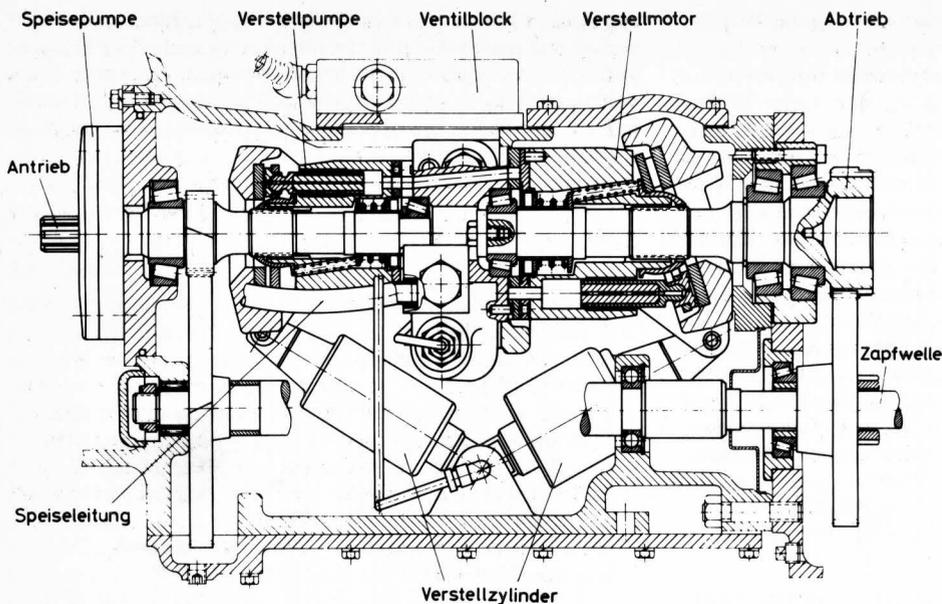


Bild 9. Hydrostatische Wandler in Kompaktbauweise, Schrägtrommelbauart und Primärverstellung (Verstellpumpe und Konstantmotor).



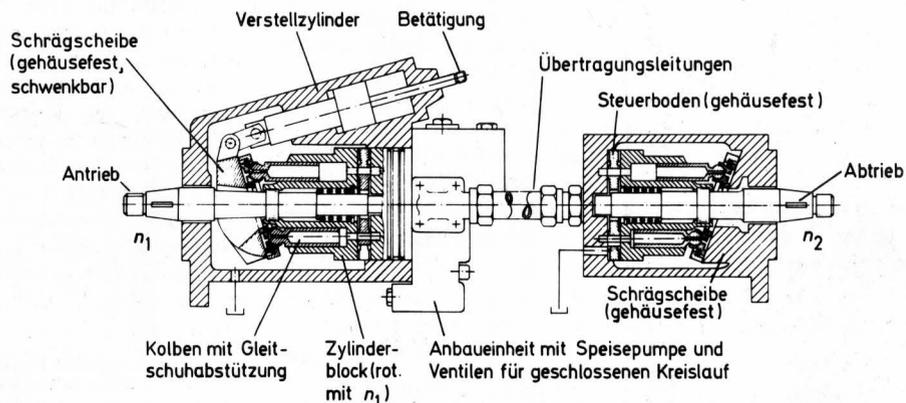
**Bild 10.** Hydrostatische Wandler in Kompaktbauweise, Schrägscheibenbauart und Primär- und Sekundärverstellung (Verstellpumpe und Verstellmotor).

Kompaktgetriebe gibt es heute in vielen verschiedenartigen Ausführungen. Wie schon im vorhergehenden Abschnitt erwähnt, werden sie überwiegend mit Axialkolbenmaschinen gebaut, wobei die Kompaktgetriebe mit Schrägtrommelmaschinen aus den oben erwähnten Gründen in der Regel aufwendiger bauen und damit teurer werden, als die mit Schrägscheiben arbeitenden. Bild 9 läßt deutlich erkennen, wie aufwendig ein solcher Wandler allein durch die komplizierte Ölführung von der Pumpe zum Motor ist. Der in

Bild 10 abgebildete Wandler in "back-to-back"-Bauweise mit Verstellpumpe und Verstellmotor zeigt dagegen, daß sich bei Verwendung von Schrägscheibenmaschinen eine günstigere und raumsparende Konstruktion ergibt. Bei der Auswahl von Kompaktgetrieben für Schlepper sollte daher den Schrägscheibenmaschinen in "back-to-back"-Anordnung der Vorzug gegeben werden, zumal sie heute schon in relativ großen Stückzahlen hergestellt werden. Durch allmähliche Erweiterung der Stückzahl dürften in begrenztem Rahmen auch die Herstellkosten zu senken sein.

Die in den letzten Jahren zu verzeichnenden zahlreichen Versuche, durch hydrostatische Getriebe mit sogenannter Leistungsverzweigung die Wirkungsgrade besonders im Teillastbereich zu verbessern, müssen als fragwürdig angesehen werden. Der für solche Getriebe wesentlich größere Konstruktionsaufwand und die dadurch zu erwartenden Mehrkosten dürften durch die erreichbaren Wirkungsgradverbesserungen kaum gerechtfertigt sein. Auch dürften die durch die etwas schlechteren Wirkungsgrade der hydraulischen Wandler verursachten Kraftstoffmehrkosten bei den heutigen Schlepperpreisen und bei der relativ kurzen jährlichen Einsatzdauer landwirtschaftlicher Schlepper von relativ geringer Bedeutung sein.

Auf lange Sicht gesehen sollte man jedoch insbesondere bei der Entwicklung von sogenannten Gerätesystemen die Möglichkeiten der aufgelösten Bauweise für hydraulische Schlepperantriebe nicht außer Acht lassen, Bild 11. Auf dem Gebiet der Großmährescher hat sich der hydrostatische Fahrtrieb in aufgelöster Bauweise in den vergangenen Jahren bekanntlich weitgehend durchgesetzt. Er wird mit Hydrostatikpumpe am Dieselmotor und entweder mit einem Hydromotor vor Gruppengetriebe und Achsantrieb oder mit einem Hydromotor in den Triebrädern gebaut.



**Bild 11.** Hydrostatische Wandler in aufgelöster Bauweise.

Konstruktive Gründe und die raumsparende und getrennte Anordnung von Pumpe und Motor sprechen hier ebenso für die Verwendung der Hydrostatik wie die besseren Fahr- und Einsatzbedingungen.

Bei der Betrachtung der hydrostatischen Fahrtriebe darf auch die Möglichkeit nicht übersehen werden, den Vorderradantrieb auf hydrostatischem Wege zu lösen. Bild 12 zeigt eine gut gelungene Lösung dafür; bei dieser Lösung wird der relativ kleine Axialkolbenmotor über die Achsschenkel mit Drucköl versorgt, so daß ein Wendekreisdurchmesser erhalten bleibt, wie er bei Schleppern ohne Frontantrieb vorhanden ist. Die Kolben des Hydromotors treiben dabei die Radnabe über die Schrägscheibe und zwei miteinander gekoppelte Planetengetriebe an. Der Gesamtantrieb wird von einer auch für den Antrieb mehrerer Geräte vorgesehenen Konstantdruckanlage versorgt und automatisch gesteuert, siehe auch Bild 15.

Zusammenfassend kann zur Entwicklung der hydrostatischen Wandler im Schlepperbau festgestellt werden, daß auf dem Gebiete der Axialkolbenpumpen und -motoren in Zukunft weitere Verbesserungen und mit zunehmender Stückzahl preisgünstigere Lösungen erreichbar sein werden.

Schrägscheibenmaschinen sind weniger aufwendig zu bauen als Schrägtrommelmaschinen und vor allem für den Bau von Kompaktgetrieben sollte ihnen der Vorzug gegeben werden. Bei der zukünftigen Entwicklung besonders von Schleppern für Gerätesysteme, die wieder zur Rahmenbauweise tendiert, sollten die Möglichkeiten für die Anwendung der aufgelösten Bauweise sorgfältig geprüft werden. Die Frage, ob und in welchem Umfang sich die heute fast ausschließlich, sozusagen im Austausch für das Zahnradstufengetriebe verwendeten Kompaktgetriebe durchsetzen

können, kann heute noch nicht eindeutig beantwortet werden, zumal gerade in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung von mechanischen Elementen, wie Kupplungsbelägen oder Lastschalteneinrichtungen, zu verzeichnen sind. Man darf die zukünftige Entwicklung auch nicht pauschal betrachten, sondern man muß nach den Anwendungsbereichen der Schlepper differenzieren. So dürfte der hydrostatische Antrieb für reine Zugschlepper sehr großer Leistung über 75 kW kaum sehr große Bedeutung erhalten. Für Schlepper der Leistungsklasse 45 ÷ 75 kW — wie sie beispielsweise in Zukunft für das Ziehen von Vollelntemaschinen in Frage kommen — werden dagegen die Vorteile des hydrostatischen Antriebs mehr ins Gewicht fallen, so daß ihm hier mehr Chancen zugemessen werden können, auch wenn der Trend zur selbstfahrenden Erntemaschine hier mindernd wirken wird. Auch für einen Teil der Schlepper mittlerer Leistung zwischen 25 und 45 kW — vor allem dort, wo sie als Haupt- oder Alleinschlepper in Nebenerwerbsbetrieben eingesetzt werden — dürfte der hydrostatische Antrieb nach wie vor interessant sein.

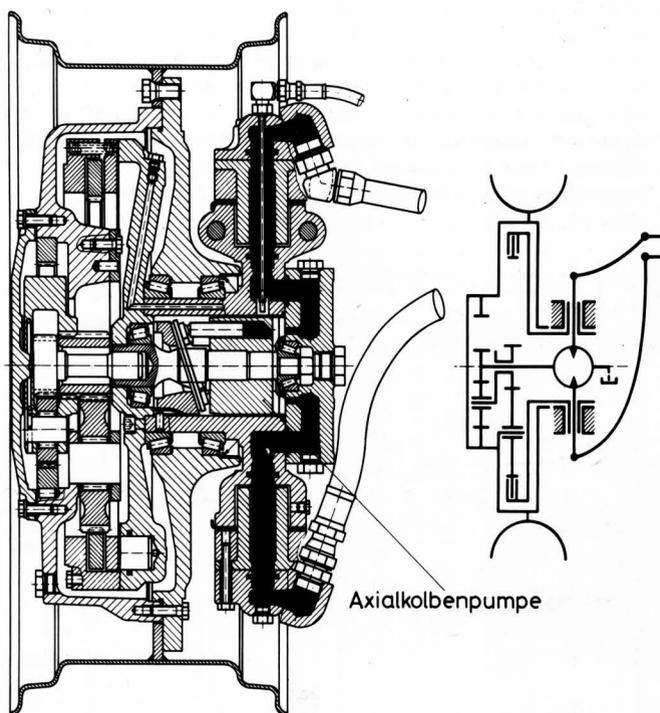


Bild 12. Hydrostatischer Frontantrieb (Werkbild John Deere).

Zur Zeit werden von einer großen amerikanischen Firma, die frühzeitig Schlepper mit hydrostatischen Fahrantrieben ausüstete, in den USA und in England zusammen jährlich etwa 7000 bis 8000 Schlepper mit hydrostatischem Antrieb ausgerüstet, davon ca. 75 bis 80 % in der Größenklasse 55 ÷ 88 kW, der Rest in höherer Leistungsklasse; ein großer Teil dieser Schlepper dürfte allerdings als Industrieschlepper verkauft werden.

Insgesamt gesehen kann angenommen werden, daß die Anwendung von Kompaktgetrieben im Schlepperbau in bestimmten Bereichen in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird, und zwar umso mehr, je größer die Stückzahl, d.h. je kleiner die Herstellkosten und je teurer die anderen Baugruppen des Schleppers, insbesondere das Schlepperchassis und die Schlepperkabine, werden. Auch die heute schon ausreichende Betriebssicherheit hydrostatischer Antriebe wird sich in den nächsten Jahren weiter steigern lassen. Daß in gewissen Bereichen des Schlepperbaus sogar ein "Durchbruch" auch des hydrostatischen Wandlers möglich ist, beweist die Entwicklung auf dem Sektor der Gartenschlepper. Auch diese Wandler werden überwiegend in Kompaktbauweise hergestellt. Der hydrostatische Antrieb konnte sich hier durchsetzen, weil die geringe Leistung der Gartenschlepper einfache hydraulische Lösungen ermöglicht und weil der größere Bedienungskomfort offensichtlich

ein starkes Verkaufsargument darstellt. Gartenschlepper werden in den USA jährlich in einer Stückzahl von über 500 000 produziert, zu einem großen Teil mit hydrostatischem Antrieb; an den mit hydrostatischem Antrieb ausgerüsteten Schleppern hat eine Firma allein einen Anteil von 30 000 Stück. Bei diesen Größenordnungen sind durchaus tragbare Preise möglich. Nach Angaben eines namhaften amerikanischen Getriebeherstellers wird dort ein komplettes hydrostatisches Kompaktgetriebe für einen 12 kW-Gartenschlepper bei Großabnahme für ca. 90.- Dollar (ca. 220.- DM) angeboten [5].

#### 4. Arbeitshydraulik

Im Rahmen dieses Abschnittes wird die Entwicklung der in Abschnitt 1 genannten hydraulisch betätigten Geräte oder Elemente behandelt, also Kraftheber, Frontlader, Mähwerk und hydraulische Steckdose. Es sei aber bemerkt, daß außer diesen Geräten schon jetzt und mehr noch in Zukunft eine Reihe von Spezialgeräten über die Hydraulik versorgt werden, die hier nicht behandelt werden sollen. Dazu gehören beispielsweise die hydraulische Seilwinde oder die zunehmend verwendeten hydraulisch kippbaren Frontladerwerkzeuge.

Die Entwicklung der Schlepperhydraulik ist bekanntlich mit der Entwicklung des Frontladers und vor allem mit der des Krafthebers sehr eng verbunden. Nach langjähriger Entwicklung gehört heute der hydraulische Kraftheber mit Regelung nach Zugkraft und Gerätelage praktisch zur Standardausrüstung des Schleppers, und die Mischregelung ist weit verbreitet. Es kann hier nicht auf die Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Regelsysteme eingegangen werden. Neben neueren Lösungen, wie beispielsweise dem Load-Monitor, bei dem die Regelgröße an der Hauptantriebswelle abgenommen wird, sei lediglich ein neueres elektrohydraulisches Krafthebersystem, Bild 13, für Zugkraft-, Lage- und Mischregelung hervorgehoben, das besonders günstige Voraussetzungen für eine weitere Verbreitung zu haben scheint, vor allem dann, wenn es sich preislich günstiger anbieten läßt, als zur Zeit. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß es sowohl die Zugkraft (am Unter- oder Oberlenker) als auch die Lage des Gerätes zum Schlepper (am Hubarm) mit einem einfachen induktiven Wegaufnehmer mißt und ein elektronisches Regelgerät verwendet; das Regelgerät steuert nach Vergleich von Soll- und Istwert das hydraulische Ventil und damit den Druckölstrom zum Hubzylinder. Die Vorteile der elektrohydraulischen Regelung gegenüber der üblichen mechanisch-hydraulischen sind insbesondere in der einfachen Erfassung der Meßwerte und ihrer spielfreien Übertragung, sowie in der ebenso einfachen Meßwertverarbeitung zu sehen. Die freizügig anzuordnenden Bedienungs- und Steuerelemente und ihre leichte Bedienbarkeit, sowie die Möglichkeit der Benutzung von weitgehend standardisierten Bauelementen und der dadurch auf längere Sicht

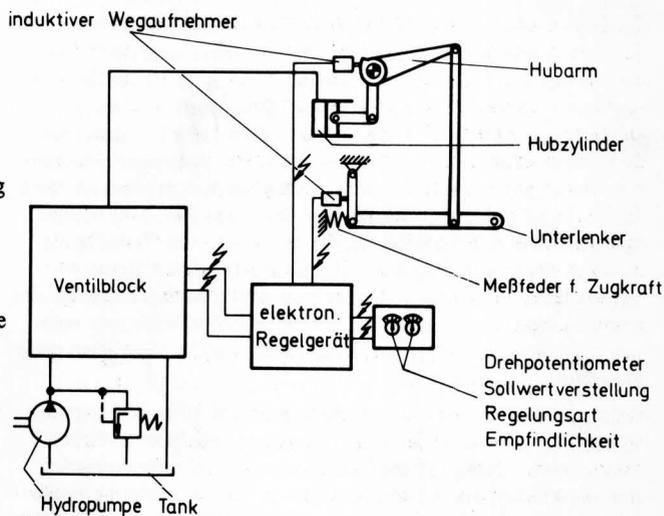


Bild 13. Elektro-hydraulischer Regelkraftheber für Zugkraft-, Lage- und Mischregelung.

sicher mögliche günstigere Herstellungspreis zählen zu den weiteren Vorteilen solcher Anlagen. Sie dürften in Zukunft vor allem für neuere Schlepperentwicklungen interessant werden, bei denen der Fahrer weiter vom Kraftheber entfernt oder in einer geschlossenen Kabine sitzt.

Auch die Entwicklung des hydraulischen Mähwerksantriebes reicht über viele Jahre zurück. Versuche, die Mähmesser ohne Verwendung der für den mechanischen Antrieb nötigen Kurbel mit Kurbelstange mit einem oszillierenden Element direkt anzutreiben, sind infolge der notwendigen hohen Schaltfrequenzen und der auftretenden großen Massenkräfte zunächst nicht von Erfolg gewesen, so daß für den hydraulischen Mähwerksantrieb heute Zahnradmotoren verwendet werden müssen, die die Messerbalken wieder über Kurbel und Kurbelstange antreiben. Während Heckmähwerke noch überwiegend von der Zapfwelle aus mechanisch angetrieben werden, setzt sich der hydraulische Mähwerksantrieb für Zwischenachsmähwerke mehr und mehr durch, obwohl er in der oben beschriebenen Form für sich gesehen gegenüber dem mechanischen Antrieb die teurere Lösung darstellt. Der Wegfall der oft komplizierteren Antriebs- und Befestigungsmechanik, die einfachere nachträgliche Montage und die leichtere Handhabung des mit Hydraulik angetriebenen Mähwerks scheinen die Gründe dafür zu sein. Die relativ schnelle Verbreitung des hydraulischen Messerantriebs wird vielleicht auch durch die Tatsache beschleunigt, daß ohnehin vielfach ein hydraulisches Mähbalkenhubwerk verwendet werden muß, weil es gegenüber dem mechanisch angetriebenen wesentliche Vereinfachungen und Verbesserungen in Konstruktion und Betrieb mit sich bringt. Hinzu kommt, daß die für den Messerantrieb notwendigen Hydraulikleistungen von mindestens 30 l/min bei 175 bar bei den meisten neueren Schleppern heute zur Verfügung stehen. Versuche, den Mähwerksantrieb mit Hilfe einer neuentwickelten sogenannten Druckimpulstechnik noch weiter zu vereinfachen, erscheinen aus verschiedenen Gründen zunächst sehr fragwürdig. Die Druckimpulsgeber sind relativ einfache Steuergeräte, die einen konstanten Druckölstrom in einen pulsierenden von einstellbarer Amplitude und Frequenz verwandeln.

Auch die sogenannte hydraulische Steckdose, d.h. die am Schlepper befindliche Schnellkupplungshälfte für Druck- und Rücklaufleitung macht zunehmend von sich reden. Sie wird für den Antrieb von Hydromotoren und Zylindern an angehängten und angebauten Maschinen oder an Transportkippern benutzt, und sie wird in Zukunft eine sicherlich weiter wachsende Bedeutung erlangen. Neben Ackerwagenkippern, Containern usw., gibt es heute bekanntlich schon eine ganze Reihe von Landmaschinen und Geräten, die teilweise, seltener ganz, hydraulisch betrieben werden, wie beispielsweise Mährescher, Aufsammlerpressen, Kartoffel- und Rübenerntemaschinen, Pflüge, Drillmaschinen usw.. Mangels einer genügenden Zahl von Schleppern mit solchen "Steckdosen" und mangels der vielfach noch unzureichenden Hydraulikleistung der meisten im Einsatz befindlichen Schlepper werden solche Maschinen und Ackerwagen heute weitgehend noch mit eigener Hydraulik-Versorgung ausgerüstet. Auch ist die für die Kipperbetätigung entnehmbare Ölmenge häufig noch zu klein; sie sollte möglichst über 15 l liegen. Die in ihrer Leistung ausreichende hydraulische Steckdose und der damit am Schlepper abnehmbare Druckölstrom würde den hydraulischen Antriebsteil an mehreren Maschinen, bzw. Wagen, überflüssig machen, und für den landwirtschaftlichen Betrieb würde sich damit eine Verbilligung dieser Betriebsmittel ergeben. Könnte der Landmaschinenkonstrukteur mit einer ausreichenden hydraulischen Steckdose bei der überwiegenden Zahl der im Einsatz befindlichen Schlepper rechnen, so ergäben sich darüber hinaus für zahlreiche Maschinen neue Gestaltungsmöglichkeiten.

Geht man von dem notwendigen Öldruck von 150÷200 bar aus, so benötigt man heute für größere Ackerwagenkipper zwischen 5 und 8 t Fördermengen zwischen 40 und 60 l/min, für Aufsattel-pflüge 30 bis 40 und für Mährescher ca. 30 l/min oder beispielsweise für den Ballenwerferantrieb einer Aufsammlerpresse 42 l/min. Berücksichtigt man die weitere Entwicklung im Landmaschinenbau, so dürften für die von Söhne [6] verwendeten wichtigsten

Schlepperklassen bei einem Öldruck von 200 bar bis 1980 etwa die folgenden Ölfördermengen notwendig werden:

Schlepper mittlerer Leistung  
25 ÷ 45 kW : 40 ÷ 50 l/min

Schlepper großer Leistung  
45 ÷ 110 kW : 50 ÷ 60 l/min.

Möglichkeiten, die Ölliefermenge durch nachträglich leicht montierbare Zusatzgeräte zu vergrößern, sollten bei der Konstruktion, insbesondere für Schlepper mittlerer Leistung, nicht außer acht gelassen werden. Die zur Zeit bei Verwendung von Fördermengen über 40 l/min in der Schlepperhydraulik noch teilweise auftretenden Ventilprobleme dürften ohne allzu große Schwierigkeiten zu überwinden sein.

Zusammenfassend kann nach dem bisherigen Wissensstand gesagt werden, daß nach dem hydraulischen Kraftheber und dem hydraulischen Mähbalkenhubwerk auch der hydraulische Mähmesserantrieb und die hydraulische Steckdose im Schlepperbau in Zukunft in größerem Umfang Verwendung finden werden. Auf dem Gebiet der Regelkraftheber wird die Zukunft wahrscheinlich eine weitere Verbreitung der elektrohydraulischen Lösungen bringen. Mit dieser Entwicklung und vor allem mit dem weiteren Zunehmen der hydraulischen Steckdose wird das Problem "Konstantstrom- oder Konstantdruckanlage" erneut behandelt werden müssen. In den Bildern 14 und 15 sind beide Systeme in Form je eines ausführlicheren Schaltbildes für eine Schlepperhydraulikanlage einander gegenübergestellt.

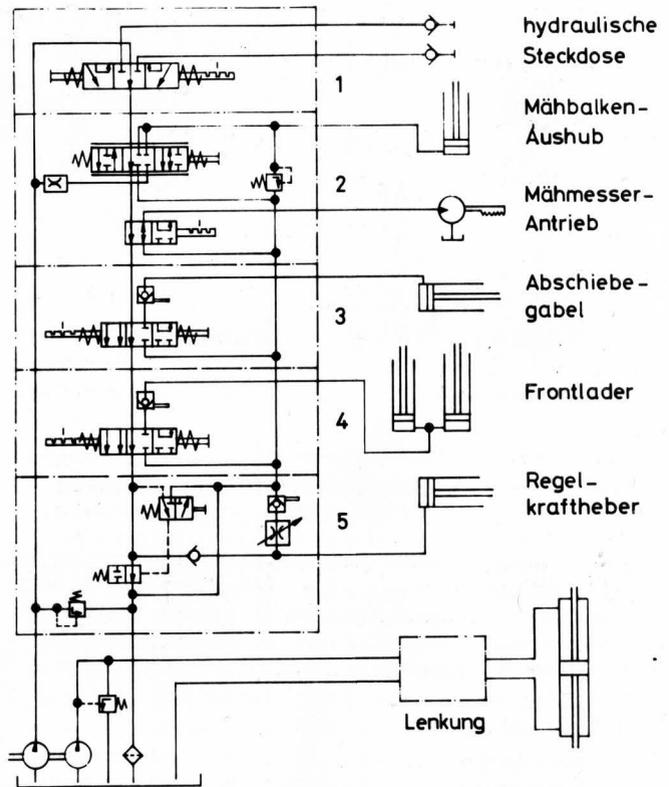


Bild 14. Konstantstromanlage für landwirtschaftliche Schlepper nach [7].

Die in offenem Kreislauf geschaltete und mit zwei zu einer Tandemeinheit zusammengeschlossenen Konstantpumpen arbeitende Konstantstromanlage, Bild 14, nach [7], entspricht dem heute am meisten verbreiteten System. Die hier in Reihe geschalteten Gerätegruppen 1 bis 5 können jedoch ohne besondere Vorkehrungen nur nacheinander benutzt werden und die eine der Pumpen wird allein für die Funktion der Lenkung benötigt. Ferner muß durch mechanische Kopplung der Ventile für Mähmesserantrieb und Mähbalkenhubwerk und durch Drosselung des Ölstroms für

das Hubwerk dafür Sorge getragen werden, daß das Mähwerk bevorzugt mit Öl beliefert wird und so die notwendige Messerantriebsdrehzahl erhalten bleibt. Auch die hydraulische Steckdose ist ohne besondere Maßnahmen bei dieser Schaltung nicht für den gleichzeitigen Antrieb mehrerer Verbraucher geeignet.

Die in geschlossenem Kreislauf arbeitende Konstantdruckanlage, Bild 15, ist mit einer Verstellpumpe ausgerüstet, die die parallel geschalteten Geräte der Arbeitshydraulik mit gleichbleibendem Öldruck versorgt; mehrere Geräte unterschiedlichen Ölbedarfs können gleichzeitig eingeschaltet werden und jedes Gerät entnimmt nur soviel Öl, wie es benötigt. Darüber hinaus erlaubt dieses System noch den Antrieb der Vorderräder, der über das 4/3-Wegeventil (WV) elektromagnetisch eingeschaltet wird. Ein 3/2-Wegeventil kuppelt die Ölmotoren mechanisch mit dem Antrieb der Vorderräder und über ein weiteres ebenfalls elektromagnetisch betätigtes 4/2-Wegeventil können die Motoren parallel (langsame Gänge) oder in Reihe (mittlere Gänge) geschaltet werden. Vor den Arbeitsgeräten wird die hydraulische Lenkung bevorzugt mit Hochdrucköl bedient und ein Zuschaltventil sorgt dafür, daß sie immer ausreichend mit Drucköl versorgt ist. Die mit etwa 7 bar arbeitende Speisepumpe sorgt für den Ausgleich der Leckölverluste im Hochdruckteil der Anlage und für die Ölversorgung der Bedienungshydraulik, also für die Versorgung von Bremsen, Kupplung, Schaltungen und Schmierung. Es ist zu bemerken, daß hier alle Hubwerke mit doppelt wirkenden Zylindern ausgerüstet sind, weil infolge des verwendeten geschlossenen Kreislaufes im Rücklauf ein Druck von etwa 7 bar herrscht. Man kann dies jedoch durch andere Schaltungen vermeiden, und man kann auch für das Konstantdrucksystem den offenen Kreislauf verwenden.

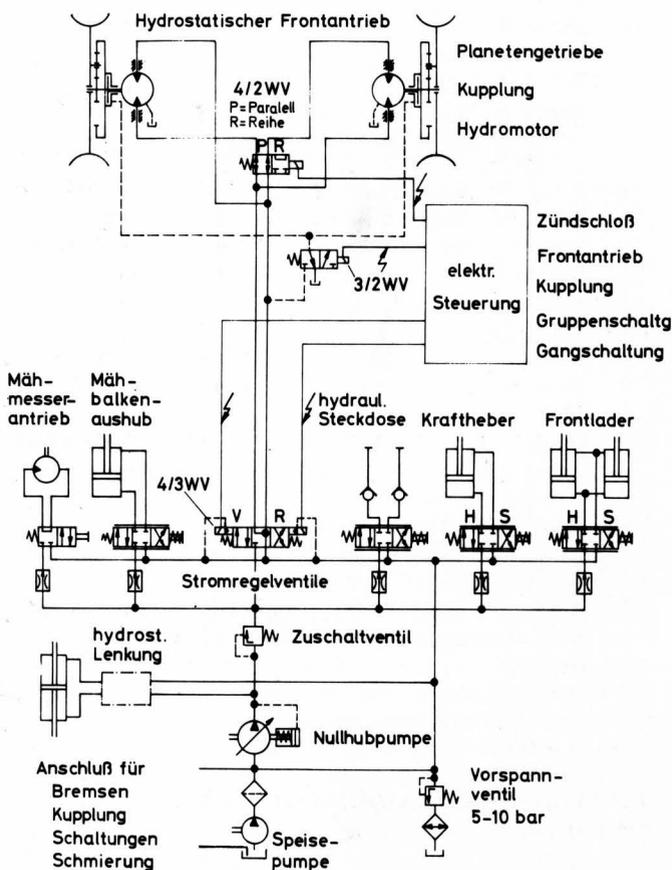


Bild 15. Konstantdruckanlage für landwirtschaftliche Schlepper.

### 5. Bedienungs- und Komforthydraulik

Wie im Abschnitt 1 beschrieben, soll in diesem Abschnitt die Entwicklung derjenigen hydraulischen Einrichtungen behandelt werden, die zum Betrieb des Schleppers selbst Verwendung finden,

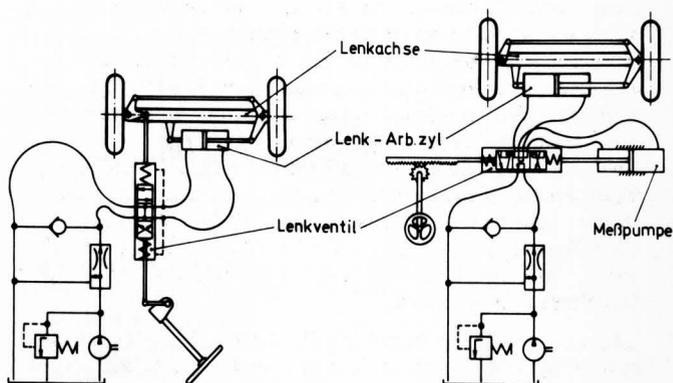
also im wesentlichen: Lenkung, Bremsen, Kupplungs- und Schaltbetätigungen, sowie Einrichtungen zur Schleppersitzführung und solche zur automatischen Schlepperlenkung.

Neben der hydraulischen Lenkhilfe, wie sie auch aus dem Automobil- und Schlepperbau bekannt ist, wird für Schlepper auch vielfach die vollhydraulische Lenkung verwendet, Bild 16. Die bei der vollhydraulischen Lenkung mögliche räumliche Trennung von Lenk-Arbeitszylinder und Lenkeinheit (bestehend aus Meßpumpe, Lenkventil und Lenkrad) und die Verbindung beider Elemente nur durch Hydraulikleitungen bzw. -schläuche, gibt weitgehende Freiheit bei der Konstruktion, und sie ermöglicht eine ergonomisch günstige Anordnung des Lenkrades. Die hydraulische Leitung zwischen Lenkeinheit und Lenkarbeitszylinder – das "hydraulische Lenkgestänge" – kann auch durch ein einfacheres elektrisches "Gestänge" ersetzt werden [8], was jedoch die Gestaltung einer Notlenkung erschwert. Bei der rein hydraulischen Lenkung kann dagegen die Meßpumpe auf einfache Weise mechanisch betätigt werden, so daß eine Notlenkung möglich ist.

Bekanntlich werden die größeren Schlepper heute sehr weitgehend und die vierradgetriebenen fast immer mit Lenkhydraulik ausgerüstet. Der Prozentsatz der in der BRD mit Lenkhydraulik produzierten Schlepper liegt heute schätzungsweise bei 15 % und er weist steigende Tendenz auf; nach Firmenangaben ist vorerst eine jährliche Steigerung von etwa 4 % zu erwarten.

Hydraulische Bremsen sind so allgemein bekannt, daß sie hier nicht besonders behandelt zu werden brauchen. Auch hier wird die Anwendung der Ölhydraulik in Zukunft einen steigenden Trend aufweisen, ebenso wie bei den Betätigungseinrichtungen für Kupplungen und Schaltungen. Die künftige Entwicklung auf dem Gebiet der Schlepperfahrer-Kabinen wird – langfristig gesehen – ohne Zweifel zu elastischer Lagerung und zu geräuschgedämpften Kabinen führen. Bei elastischer Lagerung der Kabine überwiegen die Vorteile der Hydraulik mit einfachen Verbindungsschläuchen zwischen Fahrerhaus und Schlepperrumpf gegenüber mechanischen Lösungen von vornherein. Die Forderung nach weitgehender Geräuschdämpfung der Schlepperkabine wird die Anwendung hydraulischer Betätigungseinrichtungen weiter begünstigen, denn Kabinendurchbrüche jeder Art verschlechtern die Geräuschdämmung in entscheidendem Maße.

Auf dem Gebiet der Kupplungs- und Schaltbetätigungen wird – wieder langfristig gesehen – den elektrohydraulischen Einrichtungen mit elektromagnetischer Ventilbetätigung eine besondere Bedeutung zukommen, da hier (ähnlich wie bei der Regelhydraulik in Bild 13) die Verbindung zwischen Schlepperkabine und Schlepperrumpf über noch einfachere elektrische Leitungen möglich ist. Auch auf den in diesem Abschnitt bisher behandelten Gebieten, von der Lenkung bis zu den Schaltungen, dient die Hydraulik neben der reinen Bedienung dieser Elemente in hervorragendem Maße auch zur Verbesserung des Komforts. Eine weitere Steigerung



hydrostatische Lenkhilfe

vollhydrostatische Lenkung

Bild 16. Hydrostatische Lenkungen.

des Fahrkomforts, die ebenfalls nur mit Hilfe der Hydraulik zu erreichen ist, wird durch Untersuchungen angezeigt, die auf den Gebieten der Schleppersitzfederung und der automatischen Schlepperlenkung laufen. Wenn auch die praktische Anwendung der Ergebnisse solcher Entwicklungen noch nicht in naher Zukunft liegen mag, so sind sie doch auf lange Sicht gesehen von Interesse. Während einstellbare Schleppersitze mit niedriger Eigenfrequenz und hydraulischer Dämpfung schon zur Standardausrüstung gehören, ist man vor allem in Hinblick auf die angestrebten höheren Fahrgeschwindigkeiten um weitere Verbesserungen bemüht. Als ein Beispiel hierfür möge die von Göhlich und Mitarbeitern [9] beschriebene Entwicklung einer sogenannten "aktiven Sitzfederung", Bild 17, genannt werden. Hierbei wird der Schleppersitz durch einen am Schlepperrumpf befestigten elektrohydraulisch gesteuerten Zylinder so bewegt, daß er nicht oder nur wenig an den Vertikalschwingungen des Schlepperrumpfes teilnimmt, auch wenn dieser durch den unebenen Ackerboden zu starken Schwingungen angeregt wird. Für die fernere Zukunft liegt hier eine sicher sehr interessante Technik vor, zumal es grundsätzlich möglich ist, nicht nur den Schleppersitz, sondern unter Umständen auch die gesamte Schlepperkabine in dieser Weise abzufedern. Auch die automatische Schlepperlenkung ist ein Beispiel nicht nur für die Erweiterung des Komforts bei der Bedienung des Schleppers, sondern auch für Möglichkeiten zur Steigerung der Arbeitsproduktivität. Vorschläge hierzu sind in den letzten Jahren häufiger gemacht worden; so zeigt beispielsweise Bild 18 einen über Leitlinien und Fühler automatisch gelenkten Schlepper, wie er von Batel und Mitarbeitern [10] vorgestellt wurde; auch hier wird elektrohydraulisch gearbeitet.

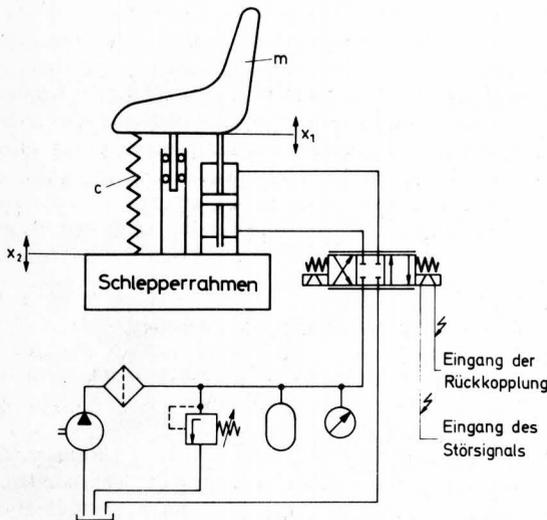


Bild 17. Aktive Schleppersitzfederung nach Göhlich [9].

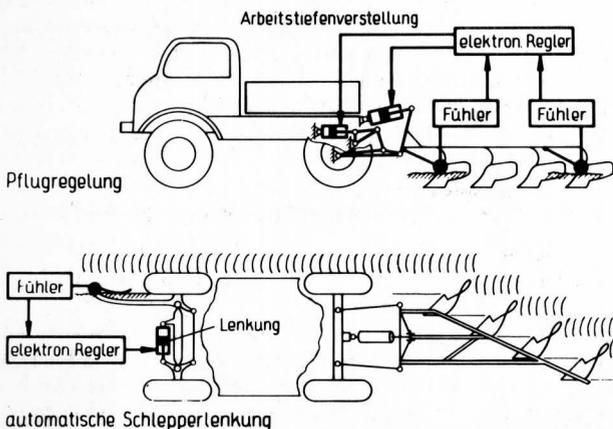


Bild 18. Automatisch gelenkter Schlepper nach Batel [10].

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß man bei Entwicklung und Anwendung der einzelnen Gebiete der Schlepperhydraulik, also der Fahrhydraulik, der Arbeitshydraulik und der Bedienungs- und Komfortshydraulik, niemals das einzelne Gebiet für sich allein betrachten sollte. Alle behandelten Gebiete sind nur Teilgebiete der gesamten Schlepperhydraulik. Die Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Anwendung der Hydraulik im Schlepperbau und die Möglichkeiten für die Ausnutzung ihrer Vorteile durch die landwirtschaftliche Praxis werden um so eher zum Tragen kommen, je mehr es gelingen wird, eine optimale Verbindung zwischen Mechanik und Hydraulik zu finden. Darüber hinaus werden auch die Elektronik und die Möglichkeiten ihrer Verbindung mit der Hydraulik in Zukunft Beachtung verdienen.

## Schrifttum

- [ 1 ] Renius, K.Th.: Untersuchungen zur Reibung zwischen Kolben und Zylinder von Schrägscheiben-Axialkolbenmaschinen. Dissertation TU Braunschweig (erscheint in Kürze als VDI-Forschungsheft).
- [ 2 ] -: Hydraulically propelled Tractor. Farm. Mech. 6 (1954) S. 224/225.
- [ 3 ] Hoffmann, D.: Wirkungsgrade, Druckpulsationen und Einsatzmöglichkeiten verschiedener Zahnradpumpen. Vortrag VDI-Tagung < Landtechnik >, Braunschweig 15./16. 11. 1973.
- [ 4 ] Meyer, H.: Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. Grndl. Landtechnik Heft 11 (1959) S. 5/12.
- [ 5 ] Renius, K.Th.: Die neueren Getriebeentwicklungen bei Ackerschleppern, Teil 2: Stufenlose Getriebe. VDI-Z. Bd. 115 (1973) Nr. 13, S. 1067/1071.
- [ 6 ] Söhne, W.: Versuch einer Prognose der Leistung und Produktion der Ackerschlepper sowie ihrer konstruktiven Weiterentwicklung. Grndl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 6, S. 161/165.
- [ 7 ] Hanke, H.W.: Hydraulik-Bauteile für Schlepper. Landtechnik Jg. 26 (1971) S. 556/559.
- [ 8 ] Möller, R.: Fahrzeuglenksysteme für manuelle und automatische Betätigung. ölhydraulik + pneumatik Bd. 17 (1973) Nr. 8, S. 225/228.
- [ 9 ] Göhlich, H.: Regelsysteme zur aktiven Sitz- oder Kabinenfederung. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Landtechnik u. Baumaschinen, TU Berlin.
- [ 10 ] Batel, W., G. Jahns u. F. Schoedder: Der technische Fortschritt in der Landtechnik. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 14, (1972) S. 58/64.
- [ 11 ] Bergren, H.E. u. R.H. Witt: Small tractor hydrostatic drive poses design opportunities. SAE-Journal 74 (1966) Nr. 1, S. 92/95.
- [ 12 ] Böinghoff, O. u. D. Hoffmann: Hydrostatik in Landmaschinen. ölhydraulik + pneumatik Bd. 16 (1972) Nr. 11, S. 458/463.
- [ 13 ] Franke, R.: Ackerschlepper - Heute und morgen. Landtechnik Jg. 25 (1970) S. 486/492.
- [ 14 ] Höfer, F.W.: Elektrohydraulische Regelsysteme für Landmaschinen. ölhydraulik + pneumatik Bd. 16 (1972) Nr. 11, S. 463/467.
- [ 15 ] Krick, G.: Ackerschlepper 1970. ATZ, Bd. 72 (1970) Nr. 9, S. 323/330.
- [ 16 ] Renius, K.Th.: Stufenlose Drehzahl-Drehmoment-Wandler in Ackerschleppergetrieben. Grndl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 4, S. 109/118.
- [ 17 ] Wieneke, F.: Entwicklungstendenzen in der Verfahrenstechnik der pflanzlichen Produktion. Landtechnik Jg. 27 (1972) S. 492/496.