

anzugeben. In Abhängigkeit von der Steigung ist im Bild 2 der Verlauf der Größe von  $k_g$  dargestellt. Daraus ergibt sich, daß die Funktion  $k_g = f(p)$  für den agrotechnisch festgelegten Bereich bis zu einer Hangneigung von 25% nahezu fehlerfrei linearisiert werden kann. Jetzt ergibt sich in bedeutend einfacherer Form und in expliziter Schreibweise

$$k_g = k_0 + 8,6 \cdot 10^{-1} p \quad (10)$$

Dabei ist  $p$  in % einzusetzen, und  $k_0 = 1,27$  ist nichts anderes als der Koeffizient der labilen Bodenwendung in der Ebene.

### 3. Schlußfolgerungen

Eine stabile Bodenwendung erfordert immer, daß das Grenzverhältnis der Profilabmessungen des Bodenbalkens, d. h. der Wert des Koeffizienten  $k_g$ , überschritten wird. Bei vorgeschriebener Arbeitsweise wird also die Bodenwendung um so stabiler sein, je größer die Arbeitsbreite des Pflugkörpers ist. In Hanglagen tritt der kritische Fall der Bodenwendung bei der Pflugarbeit in Schichtlinie hangaufwärts auf. Bei gegebener Arbeitsbreite des Pflugkörpers

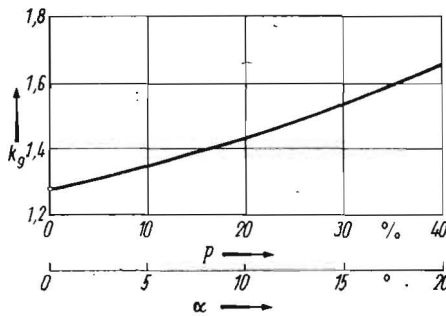


Bild 2. Stabilitätskoeffizient  $k_g$  in Abhängigkeit von der Hangneigung

muß mit zunehmender Hangneigung die Arbeitstiefe verringert werden, wenn die Stabilität der Bodenwendung gewährleistet sein soll. Daraus resultiert, daß der Pflugkörper nicht nur für die Arbeit in der Ebene auszulegen ist, sondern daß auch die Bedingungen des Hangeinsatzes zu berücksichtigen sind. Bei flach

arbeitenden Pflügen (z. B. Schälplüge) wird dementsprechend der Koeffizient  $k$  so gewählt, daß auch bei größerer Hangneigung noch eine befriedigende Wendearbeit erzielt wird. Um jedoch beim Tiefpflügen den Bearbeitungsquerschnitt und damit die Pflugkörperbeanspruchung nicht zu groß werden zu lassen, wird hier ein Vorschäler eingesetzt. Durch die zweistufige Bearbeitung des Bodenbalkens ist selbst bei Werten für  $k$  um 1,0 noch eine stabile Bodenwendung im betrachteten Bereich der Hangneigung möglich. Dadurch werden, wie allgemein bekannt, auch Pflanzenrückstände und Düngergaben vollkommener eingearbeitet und die Krümelung des Bodenbalkens begünstigt.

### Literatur

- [1] Krutikow, N. P. u. a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen, Bd. I. Berlin: VEB Verlag Technik 1955.
- [2] Bernacki, H.; Haman, J.: Grundlagen der Bodenbearbeitung und Pflugbau. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.

A 1677

## Möglichkeiten zur Verwirklichung einer „Differentialsperre“ beim hydrostatischen Fahrtrieb

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Hofmann, KDT/Dr.-Ing. H. Brunner, KDT  
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Hydrostatische Fahrtriebe haben sich in den letzten Jahren bei Spezialfahrzeugen, bei Baumaschinen und bei selbstfahrenden Landmaschinen durchgesetzt. Analog zum mechanischen Fahrtrieb muß

natürlich auch beim hydrostatischen Fahrtrieb bei Geradeausfahrt eine synchrone Drehzahl der Räder sowie beim Fahren in Kurven eine Drehzahldifferenz zwischen äußerem und innerem Rad möglich sein. Ferner

sollte beim charakteristischen Einsatz der o. g. Fahrzeuge eine Vorrichtung vorhanden sein, die ein Verhindern der Ausgleichswirkung zwischen beiden Rädern gestattet („hydraulische Differentialsperre“).

Mit den Lösungsmöglichkeiten für dieses Problem bei den grundsätzlichen Bauformen des hydrostatischen Fahrtriebs, Zentralantrieb und Einzelradantrieb, soll sich der nachfolgende Artikel beschäftigen.

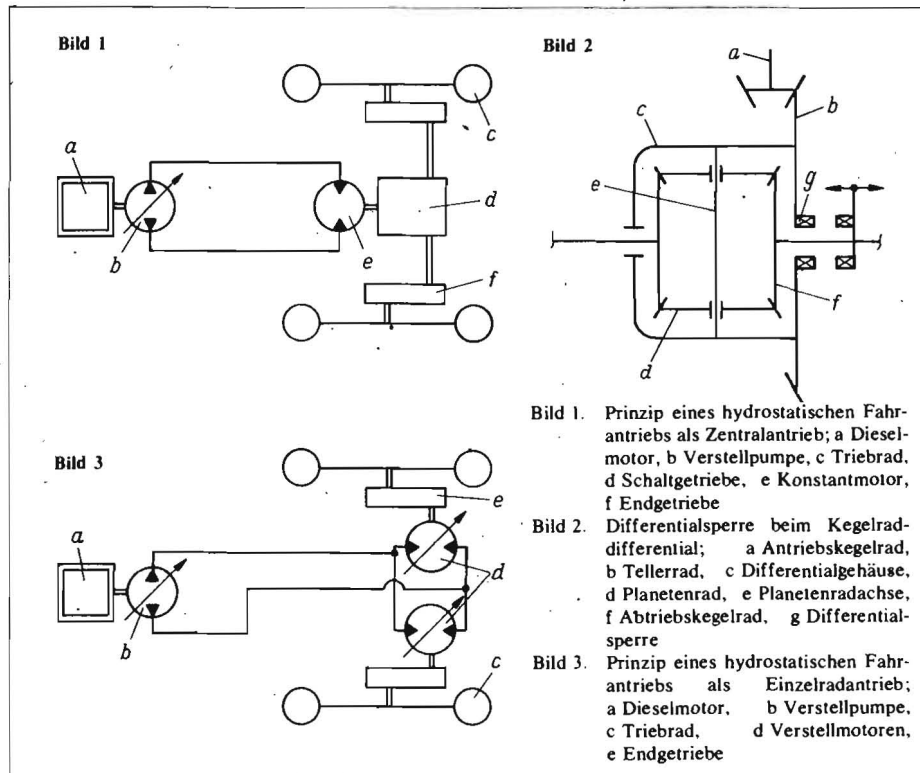


Bild 2

Bild 1. Prinzip eines hydrostatischen Fahrtriebs als Zentralantrieb; a Dieselmotor, b Verstellpumpe, c Triebtrieb, d Schaltgetriebe, e Konstantmotor, f Endgetriebe

Bild 2. Differentialsperre beim Kegelrad-Differential; a Antriebskegelrad, b Tellerrad, c Differentialgehäuse, d Planetenrad, e Planetenradachse, f Abtriebskegelrad, g Differentialsperre

Bild 3. Prinzip eines hydrostatischen Fahrtriebs als Einzelradantrieb; a Dieselmotor, b Verstellpumpe, c Triebtrieb, d Verstellmotoren, e Endgetriebe

### 1. Zentralantrieb

Der Zentralantrieb (Bild 1) besteht aus einer verstellbaren Pumpe und einem Konstantmotor. Der Konstantmotor ist an ein Schaltgetriebe mit 2 bis 3 Gängen angeflanscht, wodurch die Drehmoment-Drehzahl-Wandlung des Antriebs vergrößert wird. Außerdem enthält dieses Getriebe dann auch das in diesem Fall notwendige Differential. Unterschiedliche Raddrehzahlen bei Kurvenfahrt sind folglich bei dieser Variante durch die Wirkung des bei Fahrzeugen üblichen Kegelraddifferentials möglich. Ebenso gelöst ist dabei auch das Problem der Differentialsperre (Bild 2).

### 2. Einzelradantrieb

Prinzipiell andere Verhältnisse liegen beim Einzelradantrieb vor (Bild 3). Die vom Dieselmotor angetriebene Verstellpumpe liefert ihren Strom an zwei Verstellmotoren, die jeweils an ein Endgetriebe angeflanscht sind und ein Rad antreiben. Durch diese Parallelschaltung der beiden Hydromotoren wird eine Art „hydraulische Differential“ erreicht. Bei Kurvenfahrt wird automatisch dem äußeren Motor mehr Öl zugeführt, so daß ein zwangloses Abrollen beider Räder gewährleistet ist.

Bild 4

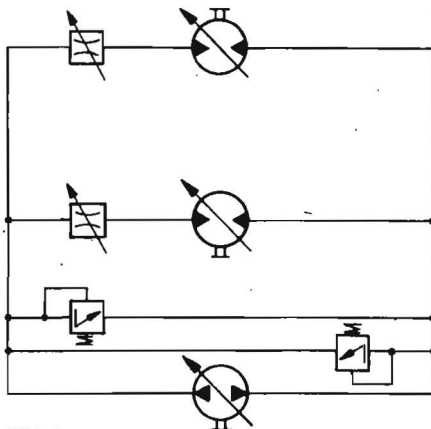
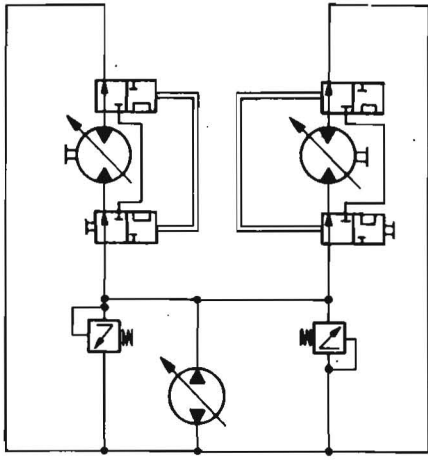


Bild 5

Bild 6

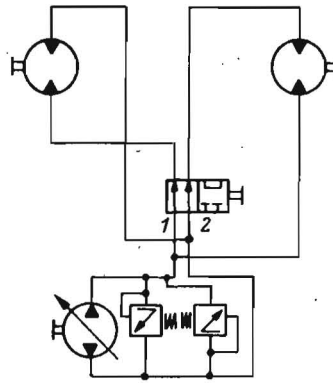


Bild 7

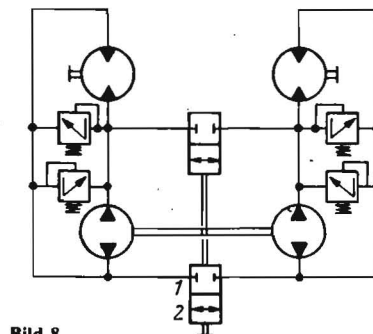
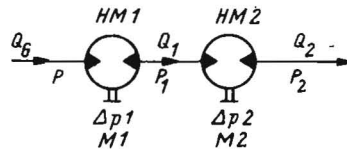


Bild 8

Bild 9

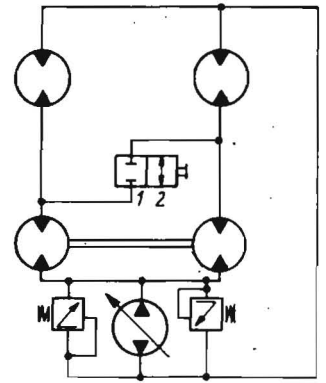


Bild 4. Schaltung für wahlweises Abschalten eines Hydromotors

Bild 5. Steuern der Hydromotoren durch Drosselventile

Bild 6. Umschalten von Parallel- auf Serienschaltung

Bild 7. Serienschaltung von Hydromotoren

Bild 8. Verwendung einer Pumpe je Hydromotor

Bild 9. Mechanisch gekoppelte Hydromotoren als „Dosiermotoren“

Diese positive Nebenwirkung des hydrostatischen Einzelradantriebs hat auch Nachteile. Analog zum mechanischen Differential ist auch hier beim Durchrutschen eines Rades (z. B. durch unterschiedliche Reibbeiwerte an den Antriebsrädern) nur das Moment des rutschenden Rades an beiden Antriebsrädern übertragbar. Im hydrostatischen Fahrtrieb baut sich dementsprechend nur der Druck auf, der dem Moment des durchrutschenden Rades entspricht. In vielen Fällen kann ein ungewolltes Anhalten des Fahrzeugs auftreten.

### 3. Lösungsmöglichkeiten für eine „hydraulische Differentialsperre“

#### 3.1. Abschalten eines Hydromotors

Eine einfache Möglichkeit, beim Durchdrehen eines Rades trotzdem eine Fortbewegung des Fahrzeugs zu gewährleisten, ist das Abschalten des Hydromotors am durchrutschenden Rad. Als Antriebsmoment steht dann theoretisch nur noch das halbe Moment zur Verfügung. Die entscheidende Frage ist, ob dieses Moment ausreicht, um den kritischen Fahrzustand zu bewältigen. Die Drehbewegung des abgeschalteten Hydromotors ergibt sich durch Kurzschluß von Ein- und Ausgang des Motors mit Hilfe eines Wegeventils.

Die prinzipielle Schaltung dieser Variante ist im Bild 4 angegeben. Zur Vereinfachung werden in allen Schaltplänen nur die Hauptleitungen dargestellt.

#### 3.2. Steuern der Hydromotoren durch Drosselventile

Eine weitere Möglichkeit ist der Einbau von Drosselventilen. Die hierbei erzielte Drehzahlgleichheit der beiden Motoren bei unterschiedlicher Belastung ermöglicht, daß das Drehmoment des nicht durchrutschenden Rades voll übertragen werden kann (Bild 5).

Da sich beim Wechsel der Fahrtrichtung die Strömungsrichtung des Öls umkehrt, liegt die Drossel einmal in der Hochdruckleitung und einmal in der Niederdruckleitung.

Bei eventuellem Durchdrehen eines Antriebsrades verringert sich der Druck im System. Das Drosselventil in der Leitung zum durchrutschenden Rad muß verstellt werden. Durch die Verringerung des Strömungsquerschnitts erhöht sich der Strömungswiderstand. Vor dem Drosselventil und damit in der Hochdruckleitung baut sich ein erhöhter Druck auf, der die vollständige Ausnutzung des Reibschlusses am nicht durchrutschenden Rad ermöglicht. Der Nachteil dieser Variante besteht in der zusätzlichen manuellen Steuerung der Drosseln durch den Fahrer.

#### 3.3. Umschalten von Parallel- auf Serienschaltung

Der Schaltplan für diese Variante ist im Bild 6 dargestellt. In der Schaltstellung 1 des 4/2-Wegeventils sind die beiden Hydromotoren parallelgeschaltet, in Stellung 2 besteht eine Reihenschaltung. Vernachlässigt man die Leckölverluste, dann haben die Motoren in der

Stellung 2 des Ventils die gleiche Drehzahl. Da die Hydromotoren in Serie geschaltet sind, können sie durch unterschiedliche Momente belastet werden.

Entsprechend der Darstellung im Bild 7 gelten folgende Beziehungen:

$$p = p_2 + \Delta p_2 + \Delta p_1$$

$$Q_G = Q_1 = Q_2$$

Wenn die Motoren gleiches Schluckvolumen haben, kann die Beziehung zwischen den Momenten wie folgt ausgedrückt werden:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{(p - p_1) \eta_{hm1}}{(p_1 - p_2) \eta_{hm2}}$$

Durch die Serienschaltung wird an jedem Rad das Moment abgestützt, das durch den jeweiligen Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn möglich ist. Die Drehzahl der Motoren verdoppelt sich dabei, wenn die Pumpenauslenkung unverändert bleibt.

Untersucht werden muß, ob das verminderte Antriebsmoment ausreicht, um ein weiteres Fortbewegen des Fahrzeugs zu erreichen. Der technische Aufwand für die Variante ist gering, da nur ein zusätzliches Wegeventil erforderlich ist.

#### 3.4. Verwendung einer Pumpe je Hydromotor

Im Bild 8 ist eine derartige Variante dargestellt. Ist eine Differentialwirkung erwünscht (normaler Fahrbetrieb), so werden die beiden Parallelzweige durch Schalten des Wegeventils in Stellung 2 miteinander verbunden. Um die Sperrwirkung zu erreichen, wird die Stellung 1

des Wegeventils eingeschaltet, wodurch dann zwei getrennte Kreise vorliegen. Die beiden Pumpen könnten auch als Axialkolben-Doppelpumpe ausgeführt werden. Der wesentliche Nachteil dieser Variante dürfte der hohe Anschaffungspreis sein.

### 3.5. Verwendung mechanisch gekoppelter Hydromotoren

Eine weitere Möglichkeit, eine Sperrwirkung zu erreichen, ist der zusätzliche Einbau von zwei mechanisch gekoppelten Hydromotoren in die Leitung nach der Pumpe (Bild 9).

In Stellung 1 des Wegeventils bekommen die Hydromotoren an den Rädern nur den von den mechanisch gekoppelten Motoren gleichmäßig dosierten Strom. Ein Durchdrehen eines Rades mit erhöhter Drehzahl ist also nicht möglich. Der Antrieb ist gesperrt. Durch Schalten des 2/2-Wegeventils in Stellung 2 können die parallelen Leitungen miteinander verbunden werden, und somit ist die „Differentialsperre“ aufgehoben. Das Prinzip dürfte gut geeignet, aber zu teuer sein.

### 3.6. Verwendung von Stromteilern

In der Literatur [1] [2] [3] [4] wird auf die Möglichkeit hingewiesen, daß mit Hilfe von Stromteilern ein gleichzeitiger Antrieb mehrerer Motoren erreicht werden kann.

Stromteiler können entweder nach dem Verdrängungsprinzip oder nach dem Drosselprinzip arbeiten.

#### 3.6.1. Stromteiler nach dem Verdrängungsprinzip

Im Bild 10a ist ein hydrostatischer Antrieb mit einem derartigen Stromteiler dargestellt. Dieser ist im Prinzip wie eine Zahnradpumpe mit 3 Zahnrädern aufgebaut. Er hat demzufolge 2 Eintritts- und 2 Austrittsanschlüsse.

Ein derartiger Stromteiler kann den Ölstrom auch in verschiedenen Verhältnissen teilen. Weiterhin kann er auch als Sammler wirken. Das Sammel- bzw. Teilungsverhältnis wird durch die Zähnezahlen festgelegt.

Das Einschalten dieses Stromteilers als „Differentialsperre“ wird durch Stellung 1 des Wegeventils erreicht.

#### 3.6.2. Stromteiler nach dem Drosselprinzip

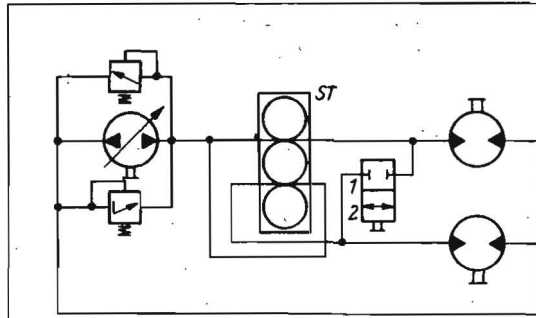
Der Einsatz von Stromteilern, die nach dem Drosselprinzip arbeiten, gestattet ebenfalls den Antrieb von mehreren Hydromotoren, die gleichzeitig und unter unterschiedlicher Belastung laufen.

Bild 10b zeigt einen Fahrtrieb, bei dem jeweils in der Zulaufleitung zum Motor entsprechend der Förderrichtung der Pumpe ein Stromteiler eingebaut ist.

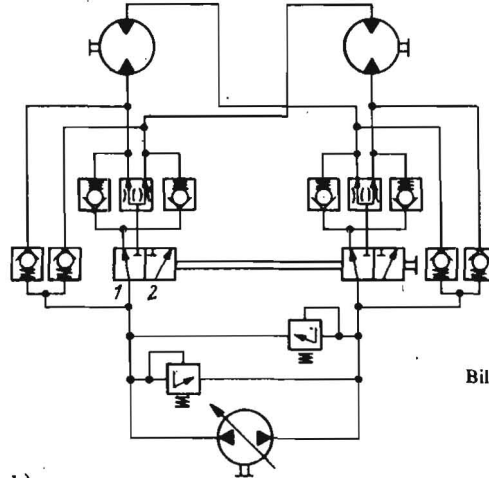
In Stellung 1 der Wegeventile sind die Stromteiler ausgeschaltet, in Stellung 2 eingeschaltet.

Der Systemdruck im Zulaufstrom zum Stromteiler stellt sich immer entsprechend dem Arbeitswiderstand des höher belasteten Motors ein. Damit trotz unterschiedlich belasteter Motoren durch beide der gleiche Ölstrom fließt, wird in dem Teil des Stromteilers, der mit dem niedriger belasteten Motor verbunden ist, ein Druckverlust durch Drosselung erzeugt. Dieser ist so groß wie der Druckunterschied zwischen beiden Motoren infolge ungleicher Belastung.

Die Energiemenge, die an der Drossel in Wärme umgesetzt wird, ist ein Verlust und beeinflusst den Wirkungsgrad des Antriebs. Beachtet man jedoch, daß der Stromteiler nur kurzzeitig unter schwierigen Fahrbahnbedingungen eingesetzt wird, kann man diesen Nachteil vertreten.



a)



b)

Bild 10. Schaltung mit Stromteiler  
a) nach dem Verdrängungsprinzip  
b) nach dem Drosselprinzip

### 4. Differentialsperre bei zwei angetriebenen Achsen

Bei einem Fahrzeug mit Allradantrieb sollen nur die Möglichkeiten der Sperre zwischen den beiden Achsen betrachtet werden.

Das Sperren der beiden Motoren einer Achse gegeneinander dürfte dann nicht mehr notwendig sein.

Prinzipiell ergeben sich die gleichen Lösungsmöglichkeiten wie die unter den Punkten 3.1. bis 3.6. aufgezeigten. Als praktikabel erscheinen folgende Varianten:

- Umschaltung von Parallel- auf Serienbetrieb
- Verwendung einer Pumpe je Achse
- Stromteiler nach dem Drosselprinzip.

Die genannten drei Möglichkeiten sollen im folgenden näher betrachtet werden.

#### 4.1. Umschaltung von Parallel- auf Serienbetrieb

Im Bild 11 ist ein Antrieb dargestellt, der aus einem Hauptantrieb (normale Triebachse) und aus einem Hilfsantrieb (z. B. angetriebene Lenkachse) besteht. Tafel 1 vermittelt einen Überblick über die möglichen Schaltkombinationen der beiden Wegeventile A und B mit der daraus resultierenden Antriebsvariante. Die Stellung A 2; B 2 muß durch eine Sperrvorrichtung verhindert werden.

Für ein Fahrzeug, das ständig mit Allradantrieb fahren soll, kann die im Bild 11 gezeigte Schaltung ebenfalls verwendet werden. Für diesen Fall braucht nur das Wegeventil A entfernt zu werden. Die beiden Antriebsachsen können dann durch Betätigen des Wegeventils B wahlweise in Parallel- oder Serienschaltung gebracht werden, d. h., man kann sowohl mit gesperrtem als auch mit ungesperrtem Antrieb fahren.

Tafel 1. Schaltkombinationen bei Umschaltung von Parallel- auf Serienbetrieb

Stellung der Wegeventile	Antriebsart
A 1; B 1	Allradantrieb ungesperrt
A 1; B 2	Allradantrieb gesperrt
A 2; B 1	nur Antrieb der Hauptachse

Tafel 2. Schaltkombinationen bei Verwendung einer Pumpe je Achse

Stellung der Wegeventile	Antriebsart
A 1; B 1	Antrieb der Hauptachse
A 2; B 2	Allradantrieb ungesperrt
A 2; B 1	Allradantrieb gesperrt

#### 4.2. Verwendung einer Pumpe je Achse

Den Schaltplan einer derartigen Lösung zeigt Bild 12. Die beiden Ölströme zum Antrieb der Hauptachse HA und der Hilfsachse HI werden von einer Axialkolben-Doppelpumpe erzeugt.

Die möglichen Schaltkombinationen sind in Tafel 2 zusammengestellt. Die Stellung A 1; B 2 bedeutet Leerlauf.

#### 4.3. Verwendung von Stromteilern

Entsprechend der Anwendung bei einer Achse kann der Stromteiler auch als „Differentialsperre“ bei Allradantrieb verwendet werden. Einen Schaltplan für diesen Anwendungsfall zeigt Bild 13.

In Stellung 1 des Wegeventils A ist der

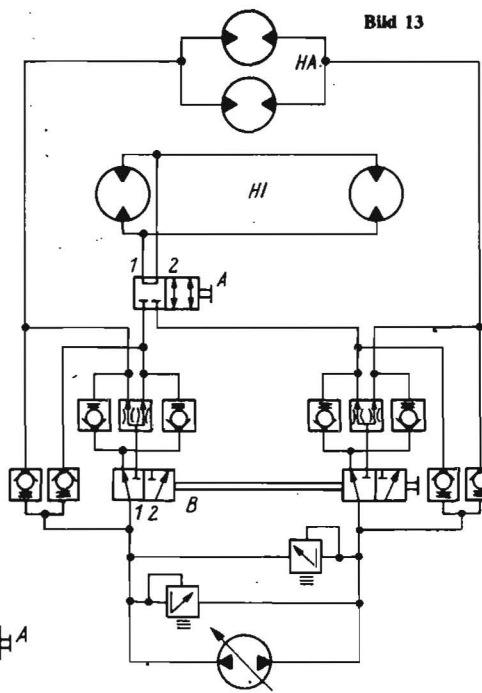
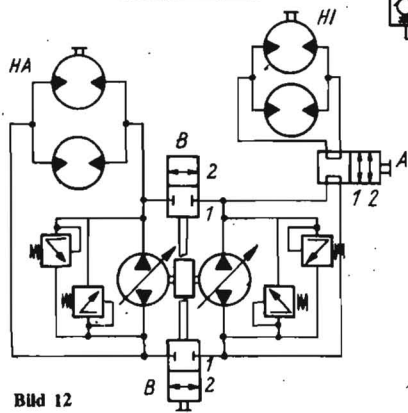
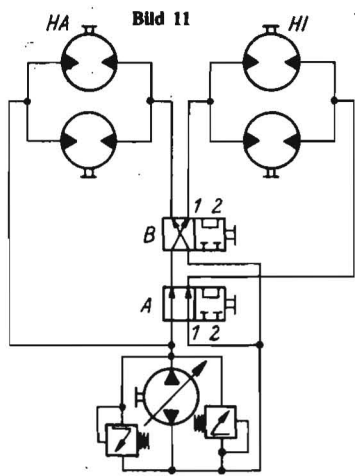


Bild 11. Umschalten von Parallel- auf Serienbetrieb bei Allradantrieb

Bild 12. Schaltplan bei Verwendung einer Pumpe je Achse

Bild 13. Schaltung mit Stromteilern bei Allradantrieb

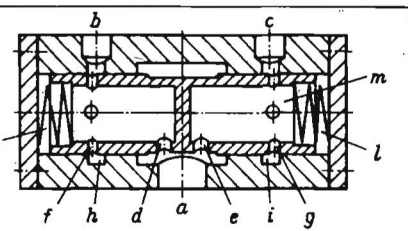


Bild 14. Schnittbild eines Stromteilers; Erläuterung im Text

Tafel 3. Schaltkombinationen bei Verwendung von Stromteilern

Stellung der Wegeventile	Antriebsart
A 1; B 1	Antrieb der Hauptachse
A 2; B 1	Allradantrieb ungesperrt
A 2; B 2	Allradantrieb gesperrt

Zusatzantrieb HI abgeschaltet. Befinden sich bei abgeschaltetem Zusatzantrieb die Wegeventile B in Stellung 1, wird die Hauptachse angetrieben, und der Stromteiler wird umgangen. Bei dieser häufigen Antriebsvariante erfolgt also keine Wirkungsgradminderung durch den Stromteiler.

Durch Stellung 2 des Wegeventils B wird der Stromteiler eingeschaltet. Hier muß beachtet werden, daß der Betrieb mit Stromteiler und abgeschaltetem Zusatzantrieb (Stellung A 1; B 1) vermieden werden muß. Hierbei würde der Antrieb der Hauptachse über den Stromteiler erfolgen, was einen entsprechend hohen Druck- und Wirkungsgradverlust zur Folge hätte.

Befindet sich das Wegeventil A in Stellung 2, so wird der Zusatzantrieb HI mit angetrieben. Die Kombination A 2; B 1 verwirklicht dann den Antrieb beider Achsen mit Differentialwirkung. Die „Differentialsperr“ zwischen beiden Achsen wird verwirklicht, wenn das Wegeven-

til A in Stellung 2 und die Wegeventile B in Stellung 2 sind.

In Tafel 3 sind noch einmal die möglichen Schaltkombinationen zusammengefaßt.

### 5. Auswahl der geeigneten Variante

Von den betrachteten Varianten für eine hydraulische „Differentialsperr“ scheinen unter Beachtung von Aufwand und Nutzen zwei Lösungen für die Praxis geeignet:

- Serienschaltung der Hydromotoren
- Stromteiler nach dem Drosselprinzip.

Die Serienschaltung scheint kostengünstiger zu sein, sie ist jedoch technisch ungünstiger als der Stromteiler, da unter bestimmten Bedingungen nur noch ein geringeres Antriebsmoment zur Verfügung steht.

Der Einbau eines Stromteilers ist die technisch vollkommener Lösung, bedeutet jedoch Wirkungsgradverlust während seiner Einschalt- dauer und ist teuer.

Für eine weitergehende Entscheidung sind Versuche und ökonomische Betrachtungen notwendig.

### 6. Funktion eines Stromteilers

Eine Ausführungsform eines Stromteilers, wie sie für die Verwirklichung einer „Differentialsperr“ verwendet werden kann, ist im Bild 14 dargestellt.

Der Ölstrom tritt bei Anschluß a in den Stromteiler ein. Die Anschlüsse b und c sind die beiden Ausgänge. Bei seinem Weg zu den Ausgängen passiert der Ölstrom die beiden Lochblenden d und e, um über die Abströmbohrungen f und g in die mit den Ausgängen verbundenen Ringkanäle h und i zu gelangen.

Solange die beiden an den Ausgängen b und c austretenden Ölströme dem vorgegebenen Teilungsverhältnis entsprechen, entsteht in den beiden Drosselstellen d und e der gleiche Druckabfall. Dadurch werden die beiden Kolbenflächen k und l von gleichen Drücken beaufschlagt, und der Regelkolben m nimmt seine Mittelstellung ein. Dabei wird er von den Zentrierfedern unterstützt. Übersteigt der Arbeitsdruck z. B. am Ausgang b den von Ausgang c, so würde durch die größere Druckdifferenz von a zu c mehr Öl zu diesem Ausgang fließen. Infolgedessen nimmt der Druckabfall in e zu und in d ab, wodurch die Kolbenfläche l mit weniger Druck als die Kolbenfläche k beaufschlagt wird. Somit verschiebt sich der Steuerkolben in Richtung gegen die Steuerkante i und verdeckt dabei die Abströmbohrungen so weit, bis die Druckdifferenz an den Kolbenflächen k und l wieder ausgeglichen ist. Damit fließen wieder durch beide Ausgänge Ölströme, die unabhängig vom Druck wieder im richtigen Teilungsverhältnis stehen. Die beschriebene Variante arbeitet nur als Stromteiler. Andere Konstruktionen können sowohl als Stromteiler als auch als Stromsamm- ler betrieben werden.

Bei derartigen Konstruktionen ist dann für eine „Differentialsperr“ für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt nur noch ein Ventil erforderlich.

### 7. Zusammenfassung

Für das Problem „Differentialsperr“ beim hydrostatischen Fahntrieb werden Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Berücksichtigt werden dabei der Einachs- antrieb und der Allradantrieb. Am günstigsten erscheinen die Reihenschaltung der Hydromotoren und die Verwendung von Stromteilern. Eine Entscheidung zwischen den beiden Vari- anten kann nur durch Versuche und ökonomi- sche Betrachtungen herbeigeführt werden.

### Literatur

- [1] Zoehl: Grundschriftpläne der Hydraulik. Mainz: Krauskopf-Verlag 1963.
- [2] Kopacek: Gleichlauf hydrostatischer Mehrmoto- ren-Fahntriebe. Antriebstechnik 13 (1974) H. 10.
- [3] Megerlin: Hydrostatische Antriebe für moderne Landmaschinen. Ölhydraulik und Pneumatik 18 (1974) H. 6.
- [4] Krumrey: Der Einsatz von Stromteilern in Hy- draulik-Systemen von Landmaschinen. Landtech- nische Forschung 19 (1971) H. 2.

A 1650