

## Hydraulische Antriebe

Karl Hartmann, Lennart Roos, Johannes Untch

Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Technische Universität Braunschweig

### Kurzfassung

Das Gebiet der Neuvorstellungen bei hydraulischen Antrieben in der Landtechnik ist breit gefächert. Hinsichtlich System-Hardware weitet sich das Einsatzgebiet hydraulisch-mechanisch leistungsverzweigter Antriebe aus. Neue Ansätze zur Kombination elektrischer und hydraulischer Antriebstechnologie sowie zur hydraulischen Hybridisierung werden für verschiedene Offroad-Anwendungen untersucht. Gesamtmaschineneffizienz und Systemdynamik stehen im Fokus softwareseitiger Entwicklung. Bei den hydrostatischen Komponenten kommt den Verdrängereinheiten eine besondere Bedeutung zu, was sich in weiteren Steigerungen der Leistungsdichte und der Stelldynamik zeigt.

### Schlüsselwörter

Leistungsverzweigung, Elektrohydraulik, Hybrid, Verdrängersteuerung, Hydrostaten

## Hydraulic Drives

Karl Hartmann, Lennart Roos, Johannes Untch

Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles, TU Braunschweig

### Abstract

In 2015, a broad range of developments has been observed in the field of mobile hydraulics in agriculture. Hydro-mechanical power split transmission is being transferred to new applications. Combining electrics and hydraulics within new drivetrain concepts as well as hydraulic hybrid drives are being investigated in different applications. System efficiency and dynamics are the major objectives in software development. Concerning hydrostatic components, displacement machines are a key factor for compact, efficient and high dynamic drivetrain systems.

### Keywords

power split drives, electro hydraulics, hybrid, displacement control, displacement machines

## Einleitung

Die Hydraulikbranche blickt insgesamt auf ein wechselhaftes Geschäftsjahr 2015 zurück. Konnten im Vorjahr noch 3 % Umsatzwachstum verzeichnet werden, wird bei abschließender Betrachtung der Rückgang für das Jahr 2015 in ähnlicher Höhe liegen.

Während im Inland die Landtechnik als nach wie vor zweitgrößte Abnehmerbranche mit starkem Auftragsrückgang zu kämpfen hatte, bot sich bei verschiedenen Stationäranwendungen wie zum Beispiel Kunststoffverarbeitung mit 5 bis 15 % Plus ein ungleich besseres Bild. Im Mobilbereich konnten die hiesigen Baumaschinen- und Fördertechnikhersteller insgesamt mehr Aufträge als 2014 verzeichnen. Während aus Sicht der Hydraulik das Inlandsgeschäft damit unter dem Strich stagnierte, waren die meisten Auftragsrückgänge in Abnehmerländern außerhalb des Euroraumes zu verzeichnen, allen voran Russland und China. Die Perspektive der Branche für 2016 sieht demnach zunächst verhalten aus. Laut Dr. Ralf Wichers, Chefvolkswirt im VDMA, schlagen sich insgesamt die "[...] Maschinenbauunternehmen mit einer vergleichsweise starken Ausrichtung auf die klassischen Industrieländer und einem breit gefächerten, vornehmlich auf Automatisierungsaufgaben, Qualitätsverbesserung und Effizienzsteigerung ausgerichteten, hoch spezialisierten (Nischen-)Angebot recht gut." [1]

Maßgebende Tagungen im Berichtszeitraum waren das "Symposium on Fluid Power & Motion Control" in Chicago, die 14. "Scandinavian International Conference on Fluid Power" in Tampere, die 73. internationale Tagung LAND.TECHNIK-AgEng (VDI-MEG) in Hannover, sowie die 5. Fachtagung hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen in Karlsruhe. Auf der Agritechnica 2015 in Hannover präsentierte sich die Mobilhydraulik als nach wie vor wichtige Zulieferbranche im Ausstellungsbereich "Systems and Components".

## Leistungsverzweigte Antriebe

Leistungsverzweigte Fahrtriebe erfahren in Traktoren seit nunmehr 20 Jahren zunehmende Verbreitung. Agco rüstet seit einigen Jahren alle Fendt-Modelle ausschließlich mit leistungsverzweigtem Fahrtrieb aus, so auch die neue 1000er Baureihe. Gegenüber bisher bekannten Konzepten werden hier allerdings ausschließlich zwei Hydromotoren verwendet und je einer fest zu Vorder- und Hinterachse zugeordnet. Da beide Hydromotoren hydraulisch parallel geschaltet sind, kann über ihr jeweiliges Schluckvolumen das Verhältnis zwischen Druck des Variators und Abtriebsmoment des Motors eingestellt werden. Werden Vorder- und Hinterachse nicht mechanisch verblockt, können verschiedene Drehmomente über die Achsen übertragen werden. Fendt variiert die Drehmomentaufteilung zwischen Vorder- und Hinterachse in Abhängigkeit der Geschwindigkeit [2].

Zunehmend ist der Einsatz leistungsverzweigter Antriebe auch auf Anbaugeräten oder für Arbeitsfunktionen von Selbstfahrern zu beobachten. Beispielsweise zeigte Grimme auf der Agritechnica mit dem Vario Drive einen drehzahlvariablen Siebbandantrieb für gezogene Kartoffelroder. Am Siebbandantrieb wird die vom Zapfwellenantrieb kommende mechanische Leistung mit vom Traktor bereitgestellter hydraulischer Leistung in einem Kompaktaggregat aus Planetengetriebe und Hydromotor überlagert. Es handelt sich also um ein eingangsgeschaltetes leistungsverzweigtes Getriebe mit Verzweigung im Traktor und Leistungssteue-

rung über die Wegeventile des Traktors [2]. Parallel werden aber auch elektrisch-mechanisch leistungsverzweigte Antriebe für Anbaugeräte diskutiert. In einer auf dem Antriebstechnischen Kolloquium vorgestellten Variante wird wie bei Grimme eine eingangsgekoppelte Struktur mit Verzweigung innerhalb des Traktors gezeigt [3].

Für die Arbeitsaggregate eines Feldhäckslers wurde auf der Landtechnik-Tagung die Untersuchung eines leistungsverzweigten Getriebekonzeptes gezeigt. In Betriebspunkten mit geringer Last kann durch die stufenlose Drehzahlverstellung des Getriebes die Dieseldrehzahl im optimalen Bereich gehalten werden. Bei steigender Last wird die Dieseldrehzahl angehoben, bis an einem Synchronpunkt der Übergang auf rein mechanische Leistungsübertragung erfolgt und dafür der hydraulische Teil des Getriebes deaktiviert wird. Während des rein mechanischen Betriebes gerät der Dieselmotor bei hohen Lasten in Drückung, sodass der Fahrer wie üblich eine Rückmeldung über die Motorauslastung erhält. Energetische Vorteile ergeben sich insbesondere in Bereichen geringer Last [4]. Bereits 2002 stellte John Deere einen leistungsverzweigten Antrieb für die Vorpresswalzen des Häckslers vor. Ziel war hier aber die Möglichkeit zur stufenlosen Schnittlängeneinstellung [5].

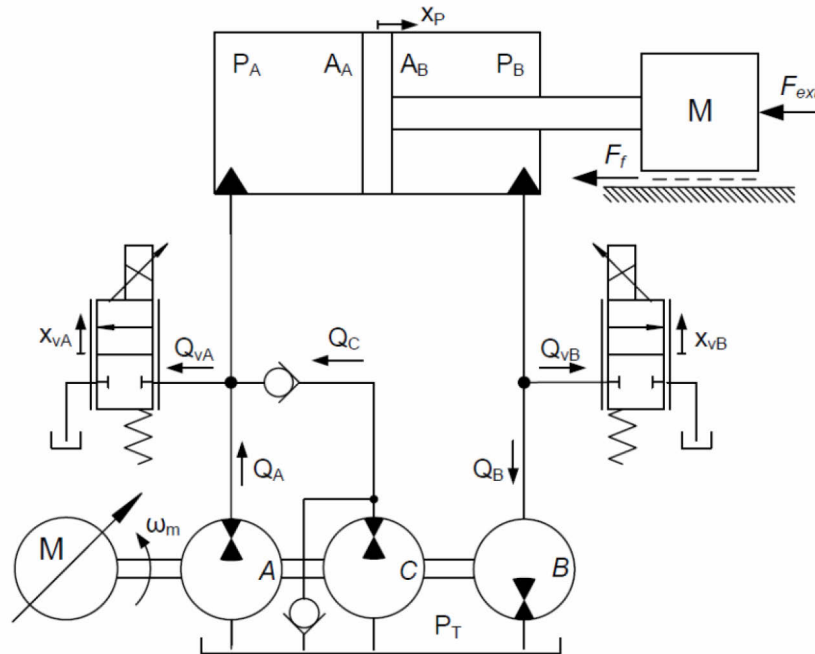
Zwar werden für Verstellsysteme hydraulisch-mechanischer leistungsverzweigter Getriebe nur geringe Leistungen benötigt. Doch weil diese häufig bedarfsunabhängig permanent zur Verfügung gestellt werden, entstehen relevante Verluste in der Gesamtenergiebilanz des Antriebssystems. Um diese Verluste zu reduzieren stellte ZF auf der Agritechnica ein Niederdrucksystem vor, in dem der Druck von 24 bar im Stillstand auf 10 bar abgesenkt werden kann. Dafür wird elektrisch die Vorspannung des bestimmenden Druckbegrenzungsventils (DBV) verändert. Da das System stets vorgespannt ist, werden gleichwohl die dynamischen Anforderungen an die Speisedruckversorgung erfüllt [2].

### **Elektrisch-hydraulische Antriebstechnologie**

Hydraulische und mechanische Antriebssysteme stellen aufgrund ihrer bekannten Eigenschaften nach wie vor die beiden bedeutendsten Technologien dar, wenn in mobilen Applikationen große Leistungsdichte bei guter Effizienz gefordert wird. Dennoch zeigt sich, dass für Aktoren der unteren Leistungsklasse (Stellantriebe) elektrische oder elektrohydraulische Lösungen eine Alternative darstellen. Sie bieten die Vorteile hoher Dynamik- und Regelgüte sowie sehr hoher Effizienz in Applikationen mit großen Standby-Anteilen. Werden translatorische Bewegungen gefordert, stellen dezentrale, elektrisch angetriebene Pumpe-Zylinder-Einheiten eine Alternative dar, welche Synergien beider Antriebstechnologien nutzen. Besonders die komplexen Strukturen bei Selbstfahrern können von der höheren Netzwerkfähigkeit dieses Ansatzes profitieren. Bietet ein Traktor keine ausreichende elektrische Schnittstelle, können geregelte elektrisch-hydraulische Generatoreinheiten auf den Anbaugeräten eine geeignete Lösung darstellen [6].

Die große Anzahl von (Differential-)Zylinderantrieben an den Arbeitsaggregaten von Landmaschinen rechtfertigt Untersuchungen an neuartigen Antriebskonzepten. Ein Ansatz zu diesen kompakten Lineareinheiten sieht den Einsatz eines drehzahlvariablen Servomotors und dreier Konstanteinheiten vor (**Bild 1**). Jedem Zylinderanschluss ist eine eigene Einheit zugeordnet, deren Hubvolumina dabei dem Zylinderflächenverhältnis entsprechen. Die zu-

sätzliche Einheit hat die Aufgabe betriebspunktabhängige Leckage der Einheiten selbst sowie des Zylinders auszugleichen, damit es nicht zu Kavitationsproblemen oder unkontrollierten Druckerhöhungen kommt. Überschüssiger Volumenstrom der dritten Einheit muss dennoch abgedrosselt werden. Die Dimensionierung der Einheiten erfolgt mittels einer Optimierung hinsichtlich Mindestdruck, Drosselverluste und Zylindergerwindigkeit. Der Ansatz ist bezüglich Dämpfung und Regelgenauigkeit mit einem konventionellen ventilgesteuerten Zylinderantrieb vergleichbar, jedoch in vielen Betriebsbereichen effizienter [7].



**Bild 1:** Drehzahlvariabler Pumpenantrieb mit zwei Haupteinheiten und einer Hilfseinheit [7]

**Figure 1:** Speed variable pump drive with two main units and one auxiliary unit [7]

### Elektronische Steuerungssysteme

In konventionellen Antriebssystemen führt eine intelligente Steuerung der Gesamtmaschine zu Vorteilen in Effizienz und Handhabung. Ein Beispiel dafür ist das übergreifende Managementsystem Best Point Control von Danfoss. Mit dem Ziel der Effizienzoptimierung werden unter Berücksichtigung der verschiedenen Verlustcharakteristika die Betriebspunkte des hydrostatischen Antriebsstrangs und des Dieselmotors miteinander abgestimmt. Bei hohen Lastanforderungen wird zum Zwecke der verbesserten Maschinenhandhabung von der effizienzoptimalen Einstellung abgewichen und dafür eine höhere Drehmomentreserve am Dieselmotor eingestellt [2].

Kjelland und Hansen untersuchten Maßnahmen zur aktiven Schwingungsvermeidung beim hydraulischen Drehantrieb eines Ladekrans. Der Ansatz besteht zum einen in der Einbindung der Lastdruckinformation in die elektronische Ventilansteuerung ("pressure feedback"). Zum anderen wird über zwei aufeinanderfolgende Soll-Impulse bestimmter Amplitude und bestimmten Zeitabstandes das Eingangssignal derart modifiziert, dass einer Entstehung von Schwingungen entgegengewirkt wird ("input shaping"). Letzteres erfordert die Kenntnis der

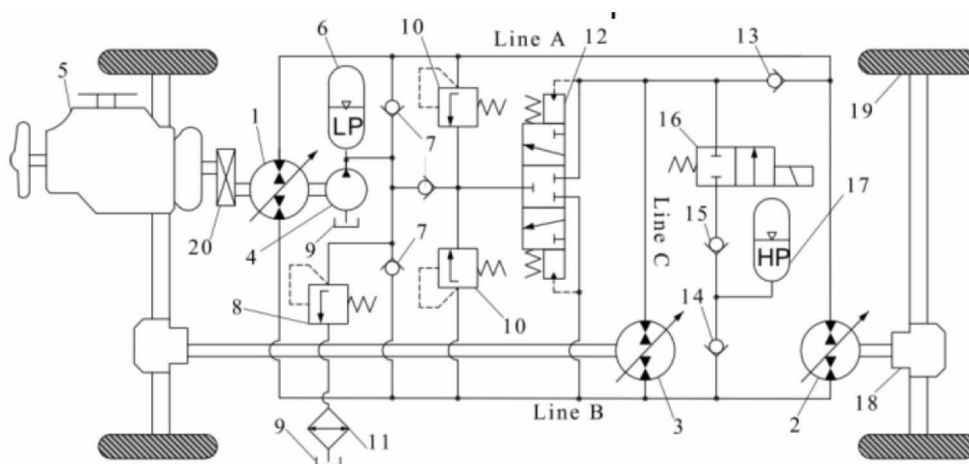
Systemeigenfrequenz und -dämpfung. Mit der Kombination beider Prinzipie gelingt es, sowohl im Bereich kleiner als auch großer Sollgeschwindigkeiten das Schwingungsverhalten deutlich zu verbessern [8].

### Hydraulische Hybridtechnik

Hybridsysteme mit nennenswertem Leistungsdurchsatz haben sich bislang nicht in Traktoren oder Landmaschinen durchgesetzt, da die Leistungszyklen bzw. Einsatzprofile der Maschinen je nach Aufgabe und Einsatzbedingungen zu stark variieren oder quasistationäre Zustände beschreiben. Dies erschwert die Dimensionierung und die Führung des Speicherladezustandes sowie die Realisierung effizienter Betriebsstrategien. Ferner sind Betriebspunktverschiebungen des Verbrennungsmotors problematisch, weil zahlreiche Prozessaggregate fest an die VKM-Drehzahl gekoppelt sind und keine Variation erlauben. Der hohe Rollwiderstand im Offroad-Einsatz widerspricht zudem Rekuperationsansätzen in Fahrantrieben; mit nur wenigen Ausnahmen (z.B. Forst- oder Frontladerarbeiten) bietet sich auch keine Rekuperation aus der Arbeitshydraulik an.

In dieser Nische wurde von [9] ein hydraulischer Parallel-Hybrid für einen Holzvollernter vorgestellt und erste Ergebnisse präsentiert. Das System zielt auf eine Phlegmatisierung und ein Downsizing der VKM sowie auf die Nutzung von Rekuperationspotential ab. Zusätzlich zur konventionellen Verstellpumpe (offener Kreislauf) wird eine durchschwenkbare Einheit für den geschlossenen Kreis zur Versorgung des Arbeitskopfes verbaut, welche zum einen mit der Pumpendruckleitung zum anderen mit einem Blasenspeicher verbunden ist. Dieser ist als Schaumspeicher ausgeführt und besitzt gerade bei dynamischen Lastspielen eine höhere Effizienz gegenüber konventionellen Blasenspeichern aufgrund einer größeren Wärmekapazität und Isolationswirkung [10]. Messergebnisse bestätigen die gewünschte Gesamtfunktionalität, die Phlegmatisierung der VKM sowie die Drehmomentunterstützung durch die zusätzliche Einheit. Da die Schwenkzeiten dieser Einheit zu groß waren, wurde ein Bypass zwischen Speicher und Hochdruckseite integriert.

In einem Forschungsvorhaben zu hybriden Fahrantrieben wurde ein geschlossener Kreis durch eine weitere Verdrängereinheit sowie einen Nieder- und Hochdruckspeicher (HD) zu einem seriellen Hybrid erweitert. Durch die Parallelschaltung mit dem konventionell vorhandenen Hydromotor entsteht ein Allradantrieb mit Längsdifferential (**Bild 2**). Beide Achsen können durch Laden des HD-Speichers Bremsenergie rückgewinnen, während nur eine im motorischen Betrieb Energie dem Speicher entnehmen kann. Beide beschriebenen Modi werden durch eine Drehmomentregelung realisiert. Im Vordergrund steht eine Methode zur Untersuchung des Einflusses der Hydrostatenbaugrößen, des HD-Speichervolumens und dessen Vorspannung auf Effizienz und Performance des Systems. Relativ kleine Hydromotoren führen zu effizienten Konstellationen, wohingegen diese für ein hohes Beschleunigungsvermögen stets die gesamte VKM-Leistung übertragen können müssen. Das Speichervolumen hat nur einen geringen Einfluss auf die Effizienz, verständlicherweise aber einen großen Einfluss auf die Beschleunigung aufgrund des höheren Energieinhaltes bei größerer Bauform. Die Vorspannung des HD-Speichers sollte für beide Kriterien relativ gering gewählt werden [11].



**Bild 2:** Konzept eines seriellen Allrad-Hybrids [11]

**Figure 2:** Four-Wheel-Drive series hybrid concept [11]

Weitergehende Forschungs- und Entwicklungsarbeit betrifft auch das Prinzip des Mehrkammer-Kolbenspeichers. Mit der Zu- und Abschaltung einer oder mehrerer Kolbenkammern vom Systemdruck- und Tankdruckanschluss wird eine Druckübersetzung erreicht und der Speicher kann auch dann genutzt werden, wenn der Systemdruck unterhalb des Speicherdrucks auf der Gasseite liegt. Um das Potential des Konzepts gegenüber herkömmlicher Speichertechnik zur Energierückgewinnung voll ausnutzen zu können, wird eine Reduzierung der Strömungsverluste über den verwendeten druckkompensierten Sitzventilen als wesentliche Herausforderung identifiziert [12].

### Verdrängersteuerungen

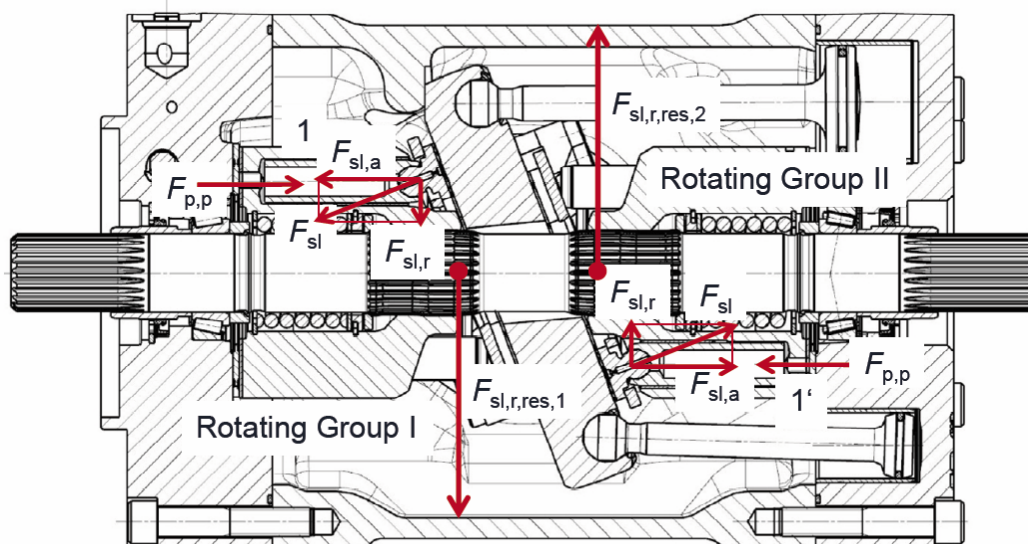
Verdrängergesteuerte Systeme besitzen in der hydraulischen Antriebstechnik die höchste Effizienz, weil sie keine systembedingten Verluste aufweisen. Als nachteilig sind jedoch die geringe Systemdämpfung und die große Anzahl der erforderlichen (Verstell-)Pumpen zu nennen. In hydrostatischen (leistungsverzweigten) Fahrtrieben ist die Verdrängersteuerung als Primär- und Sekundärsteuerung im geschlossenen Kreis seit vielen Jahren Stand der Technik, im offenen Kreis ist hier die Sekundärdrehzahlregelung am Konstantdrucksystem eine Alternative zum Konstantstrom- oder Load-Sensing-System (LS). Dies wurde von Dreher [13] am Beispiel drehzahlvariabler Düngerstreuer untersucht und mit dem Verhalten eines Closed Center LS-System verglichen. Die Verstellpumpe des Traktors wurde auf 210 bar (Nenndruck) geregelt und die Wurfscheiben und das Rührwerk mithilfe von Schrägscheibenmotoren sekundär geregelt. Die Regelgüte des verwendeten PI-Reglers zeigt ein mit dem LS-System vergleichbares Niveau, jedoch konnten die erwarteten Effizienzvorteile in Experimenten besonders bei geringen Leistungen nicht bestätigt werden, da die Motoren hier bei geringen Schwenkwinkeln mit geringer Effizienz arbeiten. Als vorteilhaft wird eine dynamische Anpassung des Druckniveaus herausgestellt, sodass immer einer der Verstellmotoren voll aufgeschwenkt ist.

## Hydrostatische Komponenten

Mehrere Produktneuvorstellungen im Bereich Komponenten zielen darauf ab, die Modularität und Leistungsdichte hydrostatischer Antriebe weiter zu steigern.

So präsentierte HYDAC mit dem „Smartzylinder“ einen kompakten hydraulischen Linearantrieb, der erstmals für die Scharverstellung einer Einzelkornsämaschine entwickelt wurde. Es handelt sich um ein Modul bestehend aus einem Differentialzylinder mit zugehörigem Wegeventil sowie Druck- und Wegsensorik. Die integrierte Regelelektronik wird über CAN/ISOBUS angesprochen. Durch die Onboard-Ventilsteuerung können mehrere Einheiten parallel über eine Hochdruck- und Niederdruckleitung versorgt werden, was den Aufwand für Verrohrung bzw. Verschlauchung auf der Maschine deutlich reduziert. Durch die einheitliche Regelstrecke zwischen Ventil und Aktuator kann zudem eine hohe Regelgüte erreicht werden. Es ist sowohl eine Kraft- als auch eine Positionsregelung möglich [2].

Im Bereich der Hydrostaten stellte Linde Hydraulics den Doppelmotor „HMV105D“ in Schrägscheibenbauweise vor. Darin arbeiten zwei Rotationsgruppen mit einer gemeinsamen Schrägscheibe („Face-to-Face“-Anordnung, **Bild 3**) und folglich einer gemeinsamen Schluckvolumenverstellung. Mit einem gemeinsamen Hochdruckanschluss ist die Einheit für den Einkreisbetrieb vorgesehen und verhält sich makroskopisch wie ein konventioneller Schrägscheibenmotor mit nur einem Zylinderblock. Im Vergleich zu klassischen Doppelseinheiten in Tandem- oder Back-To-Back-Anordnung ermöglicht die gemeinsame Schrägscheibe die Kompensation der radialen Kraftanteile zur Drehmomenterzeugung und damit eine verlustarme Triebwellenlagerung. Durch die Ausführung als Doppelmotor werden die Leistungsverluste gegenüber einem gleichgroßen Einzelmotor vermindert und eine höhere Nenndrehzahl erreicht [14].



**Bild 3:** Doppelmotor HMV105D in Schrägscheibenbauweise [14]

**Figure 3:** Double motor in swashplate design [14]

Neben der Leistungsdichte ist die Steuerungs- und Regeldynamik hydrostatischer Antriebe weiterhin Gegenstand von Forschung und Entwicklung. Seitens der Hydrostaten wurde von Bosch Rexroth eine Lösung präsentiert, wie eine 90 cm<sup>3</sup> Schrägscheibeneinheit mit Niederdruckverstellung in rund 45 ms von Voll-auf Nullhub geschwenkt werden kann. Bei der Anwendung handelt es sich um die Schnellstopp-Funktion für den Einzug eines Feldhäckslers, die ansonsten serienmäßig durch Einsatz eines großdimensionierten, schnellschaltenden Ventils im Hauptstrom realisiert wird.

Für die Schnellverstellung des Hydrostaten wird über einen kleineren Stellzylinder und stärkere Federn zum einen unmittelbar die Kraft- und Bewegungserzeugung modifiziert. Zum anderen werden die Druckverluste im Stellsystem reduziert, unter anderem durch eine direkte Rückführung des abfließenden Stellvolumenstroms zum Tank. Des Weiteren wird parallel zum Pumpenansteuergerät über ein Schnellschaltventil Hydrauliköl direkt in die Stellzylinderkammern geleitet, um die Schwenkzeit weiter zu verkürzen. Für den kurzfristig erhöhten Bedarf an Verstellleistung wird in der vorliegenden Anwendung der extern bereitgestellte Steuerdruck von 30 auf 40 bar erhöht sowie ein Hydrospeicher (Volumen: 1 l) eingesetzt. Der Bedarf an Stellenergie soll nicht höher sein als in der Referenz-Einheit, wobei in der konkreten Anwendung der Stelldruck von 40 bar mittels Konstantpumpe und direktbetätigtem DBV erzeugt wird [15].

### **Zusammenfassung**

Im Jahr 2015 waren anhand von Forschungs- und Produktveröffentlichungen drei Trends auszumachen. Es sind weiterhin Beiträge zur hydraulischen Hybridisierung sowohl von Fahr- als auch Arbeitsantrieben zu verzeichnen. Leistungsverzweigte Getriebe kommen zunehmend auch auf Anbaugeräten mit Nutzung mehrerer Traktorschnittstellen und für Arbeitsaggregate von Selbstfahrern zum Einsatz. Schließlich werden auch im Bereich der Komponenten neue Ansätze verfolgt, um beispielsweise ihre Leistungsdichte zu erhöhen oder ihren Einsatzbereich auszudehnen.



## Literatur

- [1] Wichers, R.: Kein Wachstum in Sicht. In: Fluid Markt 2016, Dezember 2015, S. 14-20.
- [2] Hartmann, K. et al.: Agritechnica 2015: Die Highlights, Ölhydraulik + Pneumatik 2016, H. 1-2, S. 82-89.
- [3] Bögel, T., et.al.: Leistungssummierung für landtechnische Arbeitsgeräte am Beispiel des Ladewagens. 16. Antriebstechnisches Kolloquium, ATK, 03.-04.03.2015, Aachen.
- [4] Böckemeyer, D.: Research of continuous variable transmission for efficiency improvements of self-propelled forage harvesters, 73. internationale Tagung LAND. TECHNIK-AgEng (VDI-MEG), 6.-7. November, 2015, S. 53-58.
- [5] Eikel, G.: Der Pfiff steckt im Detail. Profi 09/2002, S. 35-37.
- [6] Labenda, P.: Synergetic utilization of hydraulic, electric and electro-hydraulic drive and control systems in agricultural vehicles, 73. internationale Tagung LAND. TECHNIK-AgEng (VDI-MEG), 6.-7. November, 2015, Hannover, S. 77-82.
- [7] Schmidt, L., et al.: Speed-variable switched differential pump system for direct operation of hydraulic cylinders, FPMC 2015, Proceedings of the ASME/BATH 2015 Symposium on Fluid Power and Motion Control, 12.-14.10.2015, Chicago.
- [8] Kjelland, M.; Hansen, M.: Using input shaping and pressure feedback to suppress oscillations in slewing motion of lightweight flexible hydraulic crane, in: International Journal of Fluid Power, 2015, Vol. 16, Nr. 3, S. 141-148.
- [9] Einola, K., Kivi A.: First experimental results of a hydraulic hybrid concept system for a cut-to-length forest harvester, 14th SICFP 2015, Proceedings of the 14th Scandinavian International Conference on Fluid Power, 20.-22.05.2015, Tampere.
- [10] Feld D., Keßler M.: Hydrospeicher mit schaumgefüllter Blase: Leistungsspeicher mit erhöhter Energiekapazität, 5. Fachtagung Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, KIT Scientific Publishing, 25.02.2015, Karlsruhe, S. 107-126.
- [11] Bleazard T., et al.: Optimal control and performance based design of the blended hydraulic hybrid, FPMC 2015, Proceedings of the ASME/BATH 2015 Symposium on Fluid Power and Motion Control, 12.-14.10.2015, Chicago.
- [12] Stauch, C.; Rudolph, J.: Energy saving using a multi chamber accumulator: Experimental results and proof of concept, The Fourteenth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 20-22, 2015, Tampere, Finland.
- [13] Dreher, T.: Energieeffizienz von Konstantdrucksystemen mit sekundärgeregelten Antrieben beim Einsatz in mobilen Arbeitsmaschinen, Dissertation, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
- [14] Lasaar, R., Schneider, H., Dückinghaus, H.: Development of a new hydrostatic motor in swashplate design, 73. internationale Tagung LAND. TECHNIK-AgEng (VDI-MEG), 6.-7. November, Hannover, 2015.
- [15] Rapp, T.: Two loops – five functions: New hydraulic design and components for self-propelled Harvesters, 73. internationale Tagung LAND. TECHNIK-AgEng (VDI-MEG), 6.-7. November, Hannover, 2015.

**Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

**Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 17.02.2016

**Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Hartmann, Karl; Roos, Lennart; Untch, Johannes: Hydraulische Antriebe. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2016. S. 1-10

**Zitierfähige URL / Citable URL**

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055112>

**Link zum Beitrag / Link to Article**

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/237.html>