

## **Hydraulische Antriebe in mobilen Maschinen – Entwicklungen vor dem Hintergrund energieeffizienter, vernetzter Systeme**

Jihao Guo, Hans Norbert Kossen, Hagen Neurath, Michaela Pußack, Kerstin Ritters, Philipp Winkelhahn

### **Kurzfassung**

Wie bereits in der jüngeren Vergangenheit wurden auch 2018 Komponenten, Systemlösungen und Methoden für den Betrieb hydraulischer Antriebe entwickelt, die vor allem der zunehmenden Vernetzung im Kontext Industrie 4.0 sowie gestiegenen Effizienzanforderungen Rechnung tragen sollen. Die publizierten Lösungen betreffen den gesamten hydraulischen Antriebsstrang. Neben klassischen Themen wie der Sensorik und Aktorik halten mittlerweile auch für die Branche neuartige Entwicklungsmethoden wie Neuronale Netze Einzug. Letztere können vor allem im Bereich der Zustandsüberwachung gewinnbringend eingesetzt werden.

### **Schlüsselwörter**

Dezentrale Antriebe, Topologien, Vernetzung, Zustandsüberwachung, Zylinderwegmessung

## **Hydraulic drives in mobile machines - developments against the background of energy-efficient, networked systems**

Jihao Guo, Hans Norbert Kossen, Hagen Neurath, Michaela Pußack, Kerstin Ritters, Philipp Winkelhahn

### **Abstract**

As in the recent past, 2018 saw the development of components, system solutions and methods for the operation of hydraulic drives, which are intended to take account above all of the increasing networking in the context of industry 4.0 and increased efficiency requirements. The published solutions concern the entire drive train of hydraulic drives. In addition to classic topics such as sensors and actuators, new development methods such as neural networks are now also being used in the industry. The latter can be used profitably especially in the field of condition monitoring.

### **Keywords**

Decentralized drives, topologies, networking, condition monitoring, cylinder stroke measurement

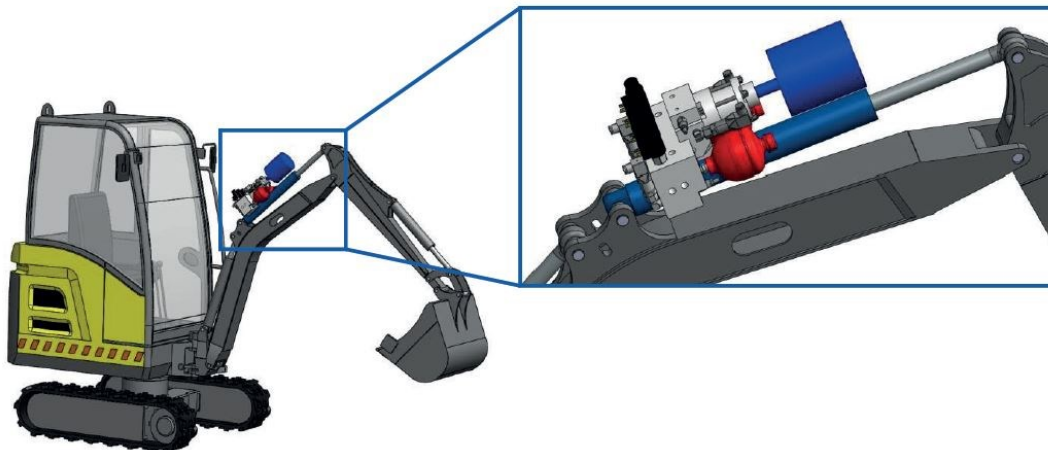
## Einleitung

Wie bereits in der jüngeren Vergangenheit wurden auch 2018 Komponenten, Systemlösungen und Methoden für den Betrieb hydraulischer Antriebe entwickelt, die vor allem der zunehmenden Vernetzung im Kontext Industrie 4.0 sowie gestiegenen Effizienzanforderungen Rechnung tragen sollen. Die publizierten Lösungen betreffen den gesamten hydraulischen Antriebsstrang.

Die maßgebende Tagung im Berichtszeitraum 2018 war die 11th International Fluid Power Conference, die vom 19. bis 21.03.2018 in Aachen ausgetragen wurde. Darüber hinaus wurden fachspezifische Publikationen auf den Veranstaltungen Getriebe in Fahrzeugen, dem Symposium on Fluid Power and Motion Control, sowie dem 10. Kolloquium Mobilhydraulik in Braunschweig vorgestellt.

## Dezentrale Antriebe

Dezentrale Antriebe bieten den Vorteil geringer Drossel- und Strömungsverluste durch die entfallenden Ventil- und Rohrdurchströmungen. Die zentrale Leistungsverteilung erfolgt bei dieser Antriebsform elektrisch, dezentral findet an jedem Verbraucher eine elektrisch-hydraulische Energiewandlung statt. Nachfolgend ist ein Anwendungsfall für einen dezentralen Antrieb an einem Minibagger dargestellt.



**Bild 1:** Beispiel eines dezentralen Antriebes [1]  
**Figure 1:** Example for a decentralized drive [1]

Die mangelnde Kompaktheit und Leistungsdichte stehen dem Einzug üblicher dezentraler Antriebe mit den bekannten Vorteilen entgegen. In [1] wird ein Ansatz zur Steigerung der Kompaktheit sowie der Leistungsdichte durch eine Drehzahlerhöhung der Antriebskomponenten Elektromotor und Hydraulikpumpe am Beispiel eines Minibaggers beschrieben. Eine Erhöhung der Drehzahl der direkt angetriebenen Innenzahnradpumpe von 4.000 1/min auf 9.000 1/min erwirkt eine Steigerung der Leistungsdichte um 51 %. Mit einem zusätzlichen

Getriebe kann die Drehzahl des Elektromotors auf 30.000 1/min gesteigert werden, was eine weitere Steigerung der Leistungsdichte um 15 %-Punkte erzielt. Eine simulative Untersuchung des Kavitationsverhaltens durch die Drehzahlerhöhung lässt auf eine sehr gering zu wählende Zahnbreite der eingesetzten Innenzahnradeinheit schließen.

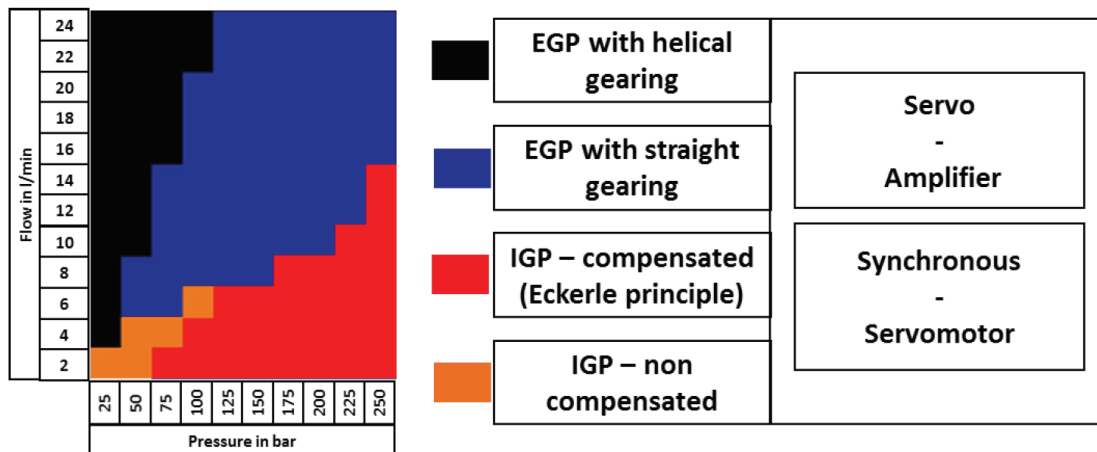
In einem weiteren Forschungsvorhaben wurde die Regelung eines bestehenden Systems mit dezentralen Antrieben verbessert [2]. Ziel ist es, die unbefriedigende Leistung und die Regelabweichung des bestehenden Prototypen in Form eines Fahrladers zu verbessern. Die Ergänzung der PID-Regelung durch einen Fuzzy-Regler kann die bestehende Regelabweichung von 34 % auf 1 % senken. Die Reaktionszeit wird von 2 s auf 0,3 s reduziert. Außerdem sorgt die beschriebene Maßnahme für eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades auf über 50 %.

### **Topologieuntersuchungen**

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, haben Konstruktionsmerkmale einen erheblichen Einfluss auf verschiedenste Systemeigenschaften. Welchen Einfluss verschiedene Pumpenprinzipien auf den Wirkungsgrad haben, wurde an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes eingehend untersucht [3]. Das hierzu entworfene Vorgehen besteht aus drei Teilschritten, wobei zunächst die Pumpe an die Systemanforderungen angepasst wird. Für die gegebene Beispielanwendung wurde hierzu das Wirkungsgradverhalten von verschiedenen Zahnradpumpen untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich Außenzahnradeinheiten insbesondere für Anwendungen mit hohen Volumenstrom- und geringen Druckerfordernungen eignen, während Innenzahnradpumpen eine umgekehrte Eignung besitzen.

Der zweite Verbesserungsschritt strebt eine möglichst gute Abstimmung von Pumpenantrieb und Pumpe an. Bei einer Wirkungsgradbetrachtung verschiedenster Kombinationen von E-Maschinen und Pumpenkonzepten gelang es, die Ergebnisse des ersten Schritts zu bestätigen und zu zeigen, dass die Wahl der E-Maschine sowie der Leistungselektronik hinsichtlich der Effizienz eine untergeordnete Rolle spielt. Aus diesem Grund wurden weitere, komponentenunabhängige Untersuchungen angestellt, die eine Abgrenzung der eingangs erwähnten Pumpenprinzipien zulassen. Hierzu wurden mehrere Komponenten eines Pumpentyps vermessen und gezeigt, dass sich schrägverzahnte Außenzahnradeinheiten (EGP with helical gearing) insbesondere für Anwendungen mit hohen Volumenstromanforderungen eignen (vgl. **Bild 2**). Mit steigendem Druckniveau weisen geradeverzahnte Außenzahnradpumpen (EGP with straight gearing) eine zunehmend höhere Eignung auf. Bei Anwendungen mit höheren Druckerfordernungen sind nicht kompensierte Innenzahnradpumpen (IGP - non compensated) spaltkompensierten Innenzahnradpumpen vorzuziehen.

Abschließend wird die gefundene Motor-Pumpen-Konfiguration an Prozessanforderungen angepasst, um weitere Verbesserungspotentiale zu nutzen.



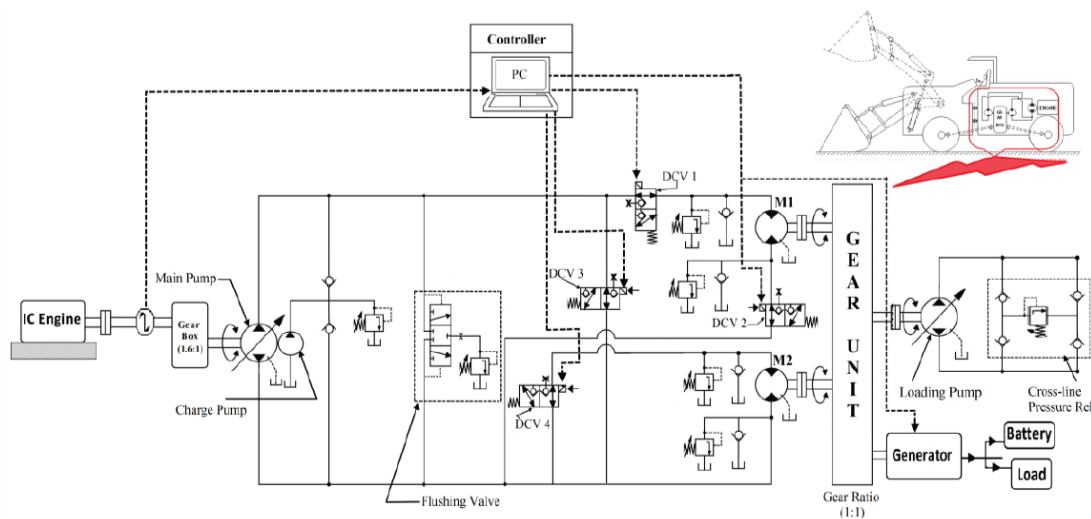
**Bild 2:** Eignung hinsichtlich des Wirkungsgrades verschiedener Pumpenprinzipien [3]

**Figure 2:** Suitability with regard to the efficiency of different pump principles [3]

Sind Belastungen unbekannt, starken Schwankungen unterworfen, fällt eine Einteilung in Drehzahl-Druck-Klassen schwer, womit die Pumpenauswahl zunehmend zur Kompromisslösung wird. Um auch in diesen Fällen Versorgungskonzepte mit höchsten Wirkungsgraden zu ermöglichen, stellte das Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge die Entwicklung eines Zweipumpenkonzepts vor [4]. In der Untersuchung wird eine variable Schrägachsenpumpe mit drei Konzepten verglichen, in denen je zwei Pumpen unterschiedlicher Baugröße die großvolumige Schrägachsenpumpe ersetzen sollen. Neben einer simulativen Voruntersuchung werden die Konzepte hinsichtlich des entstehenden Mehraufwands verglichen. Abschließende Prüfstandsversuche bestätigten die energetischen Einsparungen und zeigten, dass der Einsatz von zwei variablen Versorgungseinheiten eine Effizienzsteigerung von bis zu 60 % ermöglicht, jedoch deutlich höhere Aufwendungen verursacht. Ein ausgewogenes Kosten-Nutzen-Verhältnis konnte bei der Kombination von Verstell- und Konstantpumpe ermittelt werden. Hier lagen die Einsparungspotentiale bei 30 %, während sich der entstehende Mehraufwand auf 12 % beläuft.

Neben der Anpassung der Primärseite auf variierende Lasten wird parallel an einer wirkungsgradgeregelten Lastanhebung gearbeitet [5]. Wie **Bild 3** darstellt wird hierzu ein konventioneller hydrostatischer Fahrantrieb sekundärseitig um einen elektrischen Generator ergänzt, der die generierte Leistung in einer Batterie zwischenspeichert.

Anhand eines Y-Zyklus wurde der Vergleich zum konventionellen Antriebsstrang gezogen. Die Untersuchungen zeigten keine eindeutige Beeinflussung des Wirkungsgrades durch die Lastanhebung an der Pumpe sowie innerhalb des konduktiven Teils. Zu Wirkungsgradverbesserungen kam es hingegen bei der Verbrennungskraftmaschine (~2 %) sowie dem Hydraulikmotor (~2,5 %). Durch die Lastanhebung wurde ein 10 % höherer Kraftstoffverbrauch verursacht, es konnten jedoch 70 % der vom Motor zusätzlich zur Verfügung gestellten Energie in der Batterie gespeichert werden.



**Bild 3:** Hydrostatischer Fahrtrieb mit elektrischer Leistungsanhebung [5]

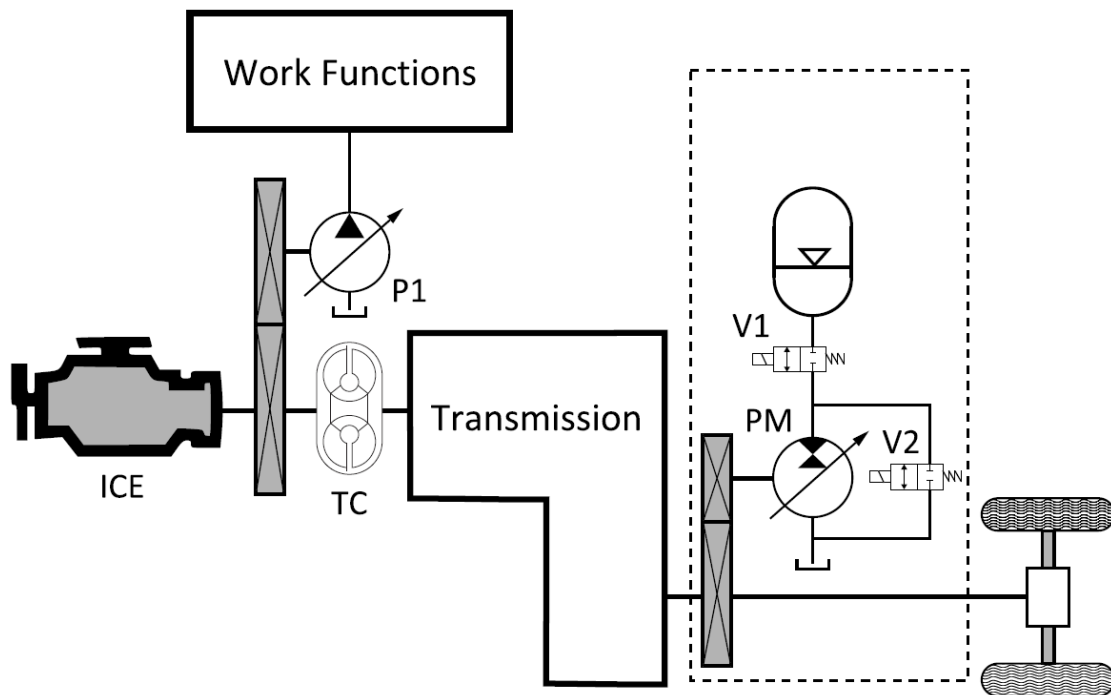
**Figure 3:** Hydrostatic drivetrain with electric power increase [5]

### Dimensionierung und Betriebsstrategie

Mutschler et al. [6] von der Firma Bosch Rexroth stellten Arbeiten zu einer Momentenregelung für Fahrtriebe vor. Sie fassen dabei das hydraulische Getriebe und die zugehörige Momentenregelung als abstrakt beschreibbare Einheit zusammen. Eine Fahrzeugregelungssoftware kann damit auf übergeordneter Ebene das Fahrverhalten unabhängig vom jeweiligen Komponentenverhalten vorgeben. Dies soll im Weiteren auch eine höhere Modularität des Antriebsstrangs ermöglichen, sodass die gleiche Gesamtfahrzeugsteuerung mit unterschiedlichen Getriebetechnologien verwendet werden kann.

Einen Beitrag zur Dimensionierung von Hybridsystemen lieferten Uebel et al. [7]. Basis für die Untersuchung ist der Antriebsstrang eines Radladers mit aufrüstbarem Hybridsystem (siehe **Bild 4**). In diesem Antriebsstrang wird über eine Zahnradstufe ein Hydrostat angetrieben, der nach Bedarf Energie in einen Druckspeicher umleiten oder aus diesem entnehmen kann.

Die Autoren untersuchten dazu diverse Optimierungsstrategien. In diesen werden in jeweils Komponentendimensionen und Betriebsstrategie in Abhängigkeit voneinander optimiert. Die Betriebsstrategien werden dabei wahlweise dynamisch oder regelbasiert erstellt, während für die Optimierung der Komponentendimensionen ein einheitlicher Algorithmus verwendet wird. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass für das vorliegende System eine regelbasierte Strategie mit relativ geringem Rechenaufwand zu einem guten Ergebnis führen kann. Exaktere Ergebnisse lassen sich durch ein zweistufiges Vorgehen mit einer Optimierung der Komponentendimensionen und einer darauf abgestimmten Optimierung der Betriebsstrategie erzielen.



**Bild 4:** Antriebsstrang eines Radladers mit betrachtetem Hybridsystem [7]

**Figure 4:** Drive train of a wheel loader with considered hybrid system [7]

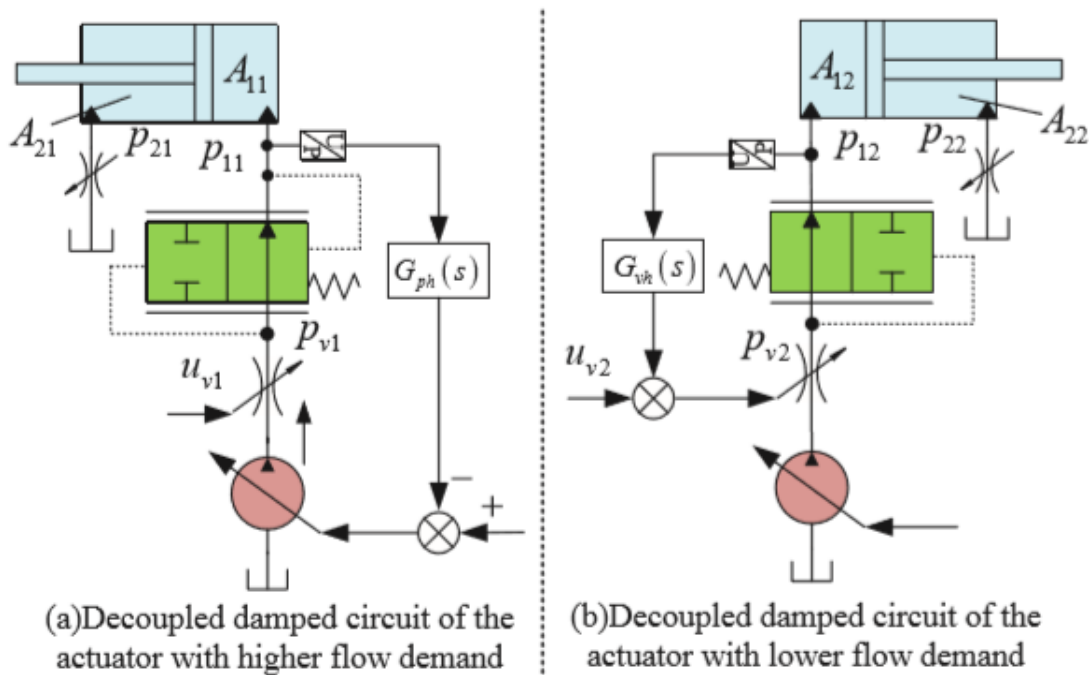
Ein weiterer Beitrag zur Effizienzbewertung von mobilen Maschinen geht aus der Arbeit von Tikkanen et al. [8] hervor. Sie untersuchten den Einfluss sowohl des Fahrers als auch des Fahrzyklus auf die Verluste in unterschiedlichen Antrieben eines Radladers. Sie zeigen, dass bei Fahrern mit unterschiedlichen Fahrstilen auch unterschiedliche Verlustanteile im hydraulischen System auftreten, und dass diese bei unterschiedlichen Fahrzyklen auch in unterschiedlichen Beträgen eingehen. Die Autoren machen damit darauf aufmerksam, dass bei der Effizienzuntersuchung mobiler Maschinen der zugrunde gelegte Fahrzyklus einen wichtigen Einfluss darstellt und dass zum Erhalt belastbarer Ergebnisse die Bewertung bei verschiedenen Fahrzyklen sinnvoll sein kann.

An der Schnittstelle zwischen Antriebsstrang und Untergrund setzen die Untersuchungen von Alexander et al. [9] an. Sie entwarfen ein Traktionskontrollsystem, in dem die Regelparameter fortlaufend für optimale Traktion angepasst werden. Dieses System wird in einem zweistufigen Aufbau umgesetzt: zunächst werden die Parameter des aktuell vorliegenden Untergrundzustands abgeschätzt. Anschließend werden die Parameter der Schlupfregelung an diesen Bodenzustand angepasst. Als Grundlage dafür werden jeweils Zustandsdaten gemessen und in vorsortierten Datenpaketen zwischengespeichert. Die Traktionsregelung selbst erfolgt dann konventionell durch individuelles Abbremsen der Räder.

### Hydraulische Schwingungen

Ein entkoppelter Kompensator für die Verbesserung des Dämpfungsverhaltens im elektronisch-hydraulischen System mit mehreren Verbrauchern wurde in [10] untersucht. Der Hydraulikkreis mit zwei parallel geschalteten Zylindern wird durch zwei separate Hydraulikkreise

mit dynamischer Kompensation ersetzt. Die Verbraucher mit größerer und kleiner Durchflussmenge werden jeweils durch Pumpendruckregler und Ventilregler gedämpft. Eine neue Regelungsstrategie wurde erstellt, um eine gemeinsame Steuerung von Pumpe und Ventil zu ermöglichen. Das Dämpfungsverhalten der beiden Verbraucher konnte gleichzeitig verbessert werden. Das Regelungskonzept kann erweitert und für Systeme mit mehreren Verbrauchern eingesetzt werden.

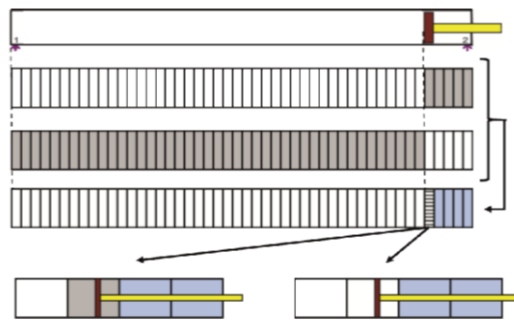


**Bild 5:** Entkoppelte Kompensation für Hydraulikkreis mit zwei Zylindern unter Verwendung einer Pumpe-Ventil kombinierten Regelung [10]

**Figure 5:** Decoupling compensation for the two hydraulic cylinders with pump/valve combined control [10]

Um Schwingungen eines Zylinders während eines vollständigen Lastzyklus simulativ analysieren zu können, werden Modelle mit konzentrierten und verteilten Parametern (concentrated parameter model and distributed parameter model) erstellt und verglichen [11]. Ziel der Untersuchung ist es, ein Simulationsmodell aufzustellen, um die Resonanzfrequenz und die Amplitude bei Resonanzfrequenz vorherzusagen. Nach dem Vergleich zwischen Simulations- und Messergebnissen zeigt das Modell mit verteilten Parametern höchste Genauigkeit. In diesem Modell wird das klassische Leitungsmodell (concentrated parameter model) durch ein verteiltes Modell mit flexibler Länge bzw. flexibler Anzahl von Elementen ersetzt. Der einfachste Ansatz für Zylinder ist die Anwendung von zwei parallelen Leitungsmodellen (**Bild 6**).

Die Elemente wechseln die Seite (Veränderung der Randbedingung), wenn sich der Zylinder bewegt. Diese Erweiterung ermöglicht die detaillierte Betrachtung aller (Druck-) Welleneffekte in einem bewegten Zylinder, die eine Voraussetzung für die richtige Prädiktion von Resonanzfrequenzen eines transienten Systems ist.



**Bild 6:** Zylindermodell mit verteilten Parametern [11]

**Figure 6:** Distributed cylinder element assignment [11]

## Zylinder

Die Zylinder nahmen im vergangenen Jahr einen bedeutenden Stellenwert in der Forschung- und Entwicklung ein. Für die angestrebte Automatisierung sowie neue Diagnosefunktionen (Stichwort Condition Monitoring) müssen zunächst die Voraussetzungen durch eine geeignete Sensorik geschaffen werden. Es wurden daher mehrere Ansätze und Methoden zur Positions- und Kraftmessung gezeigt. Sick Stegmann [12] präsentierte die Produktfamilie "Max", eine magnetostriktive Positionsmesseinrichtung, die bereits eine Reihe von Diagnosefunktionen anbietet. Mit dem bekannten Messverfahren wird eine Auflösung von 0,1 mm bei Zylindern bis zu einer Länge von 2,5 m ermöglicht [12].

Siko [13] dagegen setzt mit einem Seilzuggeber auf ein anderes Messverfahren. Erstmals sind diese auch für Teleskopzylinder einsetzbar, Messlängen bis 5 m werden ermöglicht. Im Vergleich zu magnetostriktiven Lösungen ist hier keine Kolbenbohrung erforderlich, was zu geringeren Herstellungskosten und einem mechanisch stabileren Zylinder führt. Dennoch kann das Messsystem in den Zylinder integriert und so von äußeren Einflüssen geschützt werden. Hinsichtlich der Weiterverarbeitung der gemessenen Daten wird eine Vielzahl von Möglichkeiten offengehalten, so sind sowohl analoge als auch digitale (u.a. Canopen, SAE J1939) Schnittstellen verfügbar.

Eine Wegmessung über eine optische Erkennung eines auf der Kolbenstange aufgedruckten Barcodes setzte Weber Hydraulik um [14]. Darüber hinaus wird dort an einer Sensorik zur Kraftmessung im Zylinder gearbeitet. Laut [14] liegen die Messfehler bei der indirekten Kraftmessung über den Zylinderdruck insbesondere bei Querbelastung bei bis zu 20 %, was auf die Reibung an den Dichtstellen zurückzuführen ist. Es wird deshalb vorgeschlagen, über ein berührungsloses, induktives Messverfahren mit mehreren Sensoren die Kräfte an der Kolbenstange zu messen. Als Problem stellt sich aktuell noch dar, dass die Messtechnik an einem festen Punkt der Kolbenstange verbaut werden muss, da sonst die Inkonsistenz des Materials der Stange zu großen Messfehlern führen kann. Dadurch verringert sich die nutzbare Länge des Kolbens und dieser kann nicht mehr vollständig eingefahren werden. Durch den Einsatz mehrerer Sensoren wird es möglich, die angreifenden Kräfte in mehreren Raumrichtungen zu ermitteln. Ein Test des Systems am Prüfstand steht noch aus.



Zur Reduzierung der dynamischen Kräfte im Zylinder und in der angehängten Last entwickelte GKN Walterscheid einen hydraulischen Oberlenker mit integrierter Dämpfung. Durch die Integration des Stoßdämpfers in den Zylinder ist dieser mit herkömmlichen Oberlenkern kompatibel. Der Bediener kann die Dämpfungsrate individuell an das angehängte Gerät anpassen und die Funktion im Betrieb vom Fahrersitz aus aktivieren. [15]

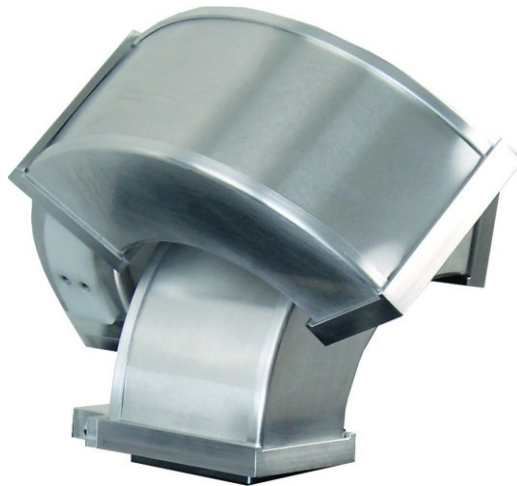
Ein Zylinder mit integrierter Übersetzung wurde bereits 2017 auf der Agritechnica von PistonPower vorgestellt. Der Zylinder ermöglicht über ein im Kolben eingebautes Verstärkermodule eine Erhöhung des Zylinderdrucks von 300 bar (pumpenseitig) auf bis zu 800 bar. Hierzu ist in das Innere des Kolbens ein weiterer Zylinder integriert, dessen Kolben unterschiedliche Wirkflächen aufweist (**Bild 7**). Über geeignete Steuerscheiben und Ventile wird das Volumen so gesteuert, dass der Pumpendruck nicht über den maximalen Systemdruck ansteigt. Durch den erhöhten Druck im Inneren werden entsprechend höhere Kräfte realisierbar. Andererseits kann auch die Ausfahrgeschwindigkeit erhöht werden. Die Leitungsanschlüsse liegen hier entgegen üblicher Zylinder am Ende der Kolbenstange. Als erste Anwendungsfelder werden Maschinen für Abrissarbeiten oder Ladevorgänge, in denen eine gute Steuerbarkeit erforderlich ist, genannt. [16]



**Bild 7:** Hydraulikzylinder mit integriertem Verstärkermodule von PistonPower [Werksbild]

**Figure 7:** Hydraulic cylinder with integrated cartridge amplifier designed by PistonPower [factory image]

Eine neuartige Lösung zur Realisierung von Schwenkbewegungen entwickelte Bremer-Kock mit dem „Curvedrive“. Dabei handelt es sich um einen bogenförmigen Zylinder, mit dem eine kurvenförmige Bewegung bis zu 120° ausgeführt werden kann. Außerdem können mehrere Zylinder kombiniert werden, um komplexe Bewegungen zu ermöglichen (**Bild 8**). Dabei kann die Versorgung aller Zylinder über einen einzigen Anschluss erfolgen, da eine Durchführung zwischen den einzelnen Zylindern möglich ist. Ein Einsatz ist überall dort denkbar, wo nicht-lineare absätzigte Bewegungen gefordert werden, die aktuell durch einfache Zylinder in Kombination mit Gelenken, Hebeln, Lagern etc. ausgeführt werden. Neben dem geringeren konstruktiven Aufwand bietet der bogenförmige Zylinder weiterhin den Vorteil, dass die Kraft während der Schwenkbewegung konstant bleibt und nicht durch Resultierende im Winkelgetriebe beeinflusst wird. Der Hersteller schlägt aktuell vor allem den Einsatz des Zylinders im Bereich der Robotik vor, sicherlich sind aber auch Einsatzgebiete in der Landtechnik denkbar. [17]



**Bild 8:** Kombination zweier bogenförmiger Zylinder [17]  
**Figure 8:** Combination of two curved cylinders [17]

### Ventiltechnik

Für den Bereich der hydraulischen Ventiltechnik sind für 2018 vor allem Arbeiten zur Ventilbetätigung sowie zur Ausfallsicherheit hydraulischer Systeme erwähnenswert. Für das erstgenannte Themenfeld verglich und analysierte Reinertz in [18] verschiedene Ansteuersignale für Proportional-Magnete mit dem Ziel einer wissensbasierten Signalparametrierung. In dieser Studie konnte darüber hinaus der auf Dynamik- und Temperaturstabilität positive Einfluss geregelter anstelle gesteuerter Magnetsignale nachgewiesen werden. Zhang stellte in [19] ein System zur unabhängigen Steuerung der Zu- und Ablaufkanten eines Ventils vor. Um u.a. die energetischen Vorteile dieses Ventilkonzepts nutzen zu können, ist ein komplexer Regelalgorithmus erforderlich, der als gekoppelte Druck- und Volumenstromregelung ausgeführt wurde. Am Beispiel einer einfachen Hydraulikschaltung wurde der Funktionsnachweis des Regelalgorithmus erbracht. Eine weitere Arbeit zu proportional steuerbaren Auslassventilen wurde in [20] veröffentlicht. Die Hydraulikarchitektur, die beispielhaft für einen Frontlader aufgebaut wurde, charakterisiert sich zum einen durch eine "negative flow"-Versorgung sowie der Einstellung des Druckabfalls an der Steuerkante des Auslassventils und zum anderen durch eine 3-Wege-Druckwaage. Die Energieeinsparung wird durch geringere Drosselverluste in Verbindung mit der Regenerationsfunktion erreicht. Eine neue Generation elektromechanischer Ventilaktuatorik, die heute vor allem in Traktorventilen eingesetzt wird, zeigte Lux in [21]. Im Vergleich zu vorherigen Versionen wurde die Stelleistung gesteigert, sodass heute mit Maximalkräften von 400 N Sprungantwortzeiten von Ventilen reduziert werden können. Darüber hinaus ermöglicht die neue Generation eine Vielzahl von Anschlussmöglichkeiten sowie On-Board-Diagnosefunktionen.

Zum zweitgenannten Themenfeld – Ausfallsicherheit von Ventilen – sind stellvertretend die Arbeiten von Bianchi [22] und Ding [23] zu nennen. Bianchi schlägt für die Zustandsüberwachung elektrohydraulischer Systeme einen auf einem neuronalen Netzwerk basierenden Diagnosealgorithmus vor, der die Parameter der elektrohydraulischen Steuerung nutzt. An der Referenzanwendung Lkw-Ladekran konnten verschiedene Fehlerquellen mit der vorge-

schlagenen Methode identifiziert werden. Die zweite Arbeit befasst sich mit Fehlerfällen von Ventilen mit unabhängigen Zu- und Ablaufkanten. Im ersten Schritt wurden typische Fehlersituationen in einem Bagger untersucht, um deren negative Auswirkungen zu analysieren. Im zweiten Schritt wurde dann ein Fehlertoleranzregler so konzipiert, dass er im Fehlerfall den normalen Regler durch die Koordinatensteuerung parallel verfügbarer Ventile neu konfiguriert.

### **Zusammenfassung**

Für den Berichtszeitraum 2018 kann zusammenfassend formuliert werden, dass neben wiederkehrenden, klassischen Themen wie der Sensorik, Aktorik sowie Topologieuntersuchungen für hydraulische Antriebe mittlerweile auch für die Branche neuartige Entwicklungsmethoden wie neuronale Netze Einzug halten. Letztere können vor allem im Bereich der Zustandsüberwachung gewinnbringend eingesetzt werden. Es ist zu erwarten, dass in diesem Themenfeld vermehrt industrielle Produktlösungen erscheinen werden.

### **Literatur**

- [1] Pietrzyk, T.; Roth, D.; Schmitz, K. und Jacobs, G.: Design study of a high speed power unit for electro hydraulic actuators (EHA). Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 2, S. 116-122.
- [2] Martinovski, T.; Sourander, T.; Turunen, A.; Minav, T. und Pietola, M.: Control strategy for a direct driven hydraulics system in the case of a mining loader. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 147-152.
- [3] Speicher, T.; Thies, T.; Keffenhofen, O. und Gessat, J.: Process-driven component adjustment on variable speed pump drives - development of a strategy to increase the overall energy efficiency. International Fluid Power Conference, 19.- 21.03.2018 Aachen. In: FLUID POWER NETWORKS. Aachen: HP - Fördervereinigung Fluidtechnik 2018, S. 183–195.
- [4] Ritters, K.; Roos, L. und Frerichs, L.: Efficiency studies on double pump supply units. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 334-345.
- [5] Bhola, M.; Sreeharsha, R. und Kumar N.: Electrical Energy Regeneration of Hydraulic-Split Power Transmission System Using Fuel Efficient Controller. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 72-81.
- [6] Mutschler, S.; Brix, N. und Xiang, Y.: Torque Control for Mobile Machines. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19-21.03.2018, Vol. 1, S.186-195.
- [7] Uebel, K.; Raduenz, H.; Krus, P. und de Negri, V. J.: Design Optimisation Strategies for a Hydraulic Hybrid Wheel Loader. BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control, American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [8] Tikkanen, S.; Ahola, V. und Koskela, E.: Effect of Driver and Work Cycle on Losses of a Loader. BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control. American Society of Mechanical Engineers, 2018.

- [9] Alexander, A.; Sciancalepore, A. und Vacca, A.: Online Controller Setpoint Optimization for Traction Control Systems Applied to Construction Machinery. BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control, American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [10] Cheng, M.; Zhang, J.; Xu, B. und Ding, R.: Active damping improvement of the electro-hydraulic control system with dual actuators for mobile machinery. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 50-59.
- [11] van Bebber, D. und Baum, H.: System Resonance Frequency Analysis With Distributed Parameter Cylinder Models. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 2, S. 460-473.
- [12] Hirt, A.: Mobile Intelligenz – Zukunftssichere Positionsmessung in Hydraulikzylindern. Fluid 01-02 (2018), S. 48-51.
- [13] Roth, M.: Auch für Teleskopzylinder – Seilbasierte variable Positionsmessung in Hydraulikzylindern. Fluid 11-12 (2018), S. 50-53.
- [14] Weidemann, R.; Javdaniteheran, M.; Winkler, T. und Boldt, T.: Smart hydraulic cylinder with force measurement system. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 2, S. 274-281.
- [15] GKN: Hydraulischer Oberlenker mit integrierter Dämpfung. O+P Fluidtechnik 4/2018, S. 38.
- [16] PistonPower: The piston power concept. URL – <https://pistonpower.eu/the-pistonpower-concept> - Zugriff am 15.01.2019.
- [17] Bremer, A.: Wenn der Zylinder ums Eck geht – Bogenförmiger Zylinder ermöglicht innovative Konstruktionen. Fluid 11-12 (2018), S. 28-29.
- [18] Reinertz, O.: A comparative study on dither signals and their parameterisation. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 3, S. 270-282.
- [19] Zhang, B.; Zhong, Q.; Niu, M.; Hong, H. und Yang, H.: Design of Control System for Independent Metering Valve. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 158-167.
- [20] Pietro, M.; Milani, M.; Mesturini, D. und Busani, U.: Experimental Evaluation of the New Meter Out Sensing Architecture. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 2, S. 164-174.
- [21] Jan Lux, J. und Habegger, C.: New generation of intelligent electromechanical valve actuation. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 3, S. 394-402.
- [22] Bianchi, R. und Vacca, A.: Combining Control and Monitoring in Mobile Machines: the Case of an Hydraulic Crane. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 306-318.
- [23] Ding, R.; Xu, B.; Zhang, J. und Cheng, M.: Fault-tolerance Operation for Independent Metering Control Valve. Proceedings of the 11th International Fluid Power Conference, 19.-21.03.2018, Vol. 1, S. 320-333.

### **Autorendaten**

M. Sc. Jihao Guo, M. Sc. Hans Norbert Kossen, M. Sc. Hagen Neurath, M. Sc. Michaela Pußack, M. Sc. Kerstin Ritters und Dipl.-Ing. Philipp Winkelhahn sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Guo, Jihao; Kossen, Hans Norbert; Neurath, Hagen; Pußack, Michaela; Ritters, Kerstin und Winkelhahn, Philipp: Hydraulik in Traktoren und Landmaschinen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019. S. 1-13

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201901211132-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2018/chapter/hydraulik.html>