

Genau so viel wie nötig

Elektrohydraulische Bedarfsstromsteuerung für mobile Maschinen



Björn Weiß, Martin Scherer

Neues Steuerungskonzept für die Arbeitshydraulik mobiler Maschinen spart Energie und erhöht den Bedienkomfort

Der Stand der Technik der Arbeitshydraulik der meisten mobilen Arbeitsmaschinen wird aktuell von hydraulisch-mechanischen Load-Sensing-Systemen (HMLS) beschrieben. Diese Systeme erlauben eine an den Volumenstrombedarf der Verbraucher und die anliegenden Verbraucherlasten angepasste Versorgung des Hydrauliksystems mit hydraulischer Leistung. Durch die Verwendung von Sektions-Druckwaagen können die Verbrauchergeschwindigkeiten lastunabhängig und ohne gegenseitige Beeinflussungen an die Bedienvorgaben angepasst werden. Diese Vorgaben entsprechen somit einer reinen Volumenstromsteuerung, wohingegen die Pumpe druckgeregelt bleibt. Zur Regelbarkeit des Systems ist ein Load-Sensing-Differenzdruck zwischen dem höchsten Lastdruck und dem Pumpendruck von $\Delta p = 20$ bis 30 bar erforderlich. Im Teillastbetrieb, insbesondere bei niedrigem Systemdruck und hohem Volumenstrombedarf, bedingt dieser Differenzdruck eine nicht unerhebliche Verlustleistung.

Durch die Überlagerung mehrerer hydraulisch-mechanischer Regler neigen Load-Sensing-Systeme zu einer unerwünschten Schwingungsanfälligkeit. Das Kaltstart-Verhalten der Systeme ist schlecht und die mobilen Arbeitsmaschinen erreichen erst nach einer längeren Aufwärmphase ihr volles Produktivitäts-Potenzial.

Idee

Elektrohydraulische Bedarfsstromsteuerungen sind aus der Forschung bekannt und wurden in zahlreichen internationalen Veröffentlichungen beschrieben [1 bis 4].

Björn Weiß, Geschäftsführer der Weiss Mobiltechnik GmbH, Rohrdorf
Dipl.-Ing. Martin Scherer, Oberingenieur am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Instituts für Technologie, Karlsruhe
 Lehrstuhlleitung Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer

Die prinzipielle Idee liegt in der Berechnung des erforderlichen Pumpenvolumenstroms anhand der Summe der einzelnen Verbrauchervolumenstromanforderungen und dessen direkter Einstellung mittels einer elektrohydraulischen Pumpenansteuerung (**Bild 1**). Der Volumenstrom wird dem System somit aufgeprägt. Der Pumpendruck stellt sich in Abhängigkeit des höchsten Lastdrucks selbst ein. Die Differenz zwischen beiden Drücken hängt von den Leitungsverlusten, sowie den Drosselverlusten über den Ventilen ab. Sie ist folglich nicht konstant, sondern eine Funktion der Öltemperatur, des Systemdrucks und insbesondere des Gesamtvolumenstroms. Die Druckdifferenz ist in allen Arbeitsbereichen geringer als bei LS-Systemen, speziell bei niedrigen und mittleren Volumenströmen beträgt sie nur etwa 10 bar.

Die Schwierigkeit bei der Entwicklung einer Bedarfsstromsteuerung liegt in der möglichst exakten Synchronisation des gelieferten Pumpenvolumenstroms mit den Verbrauchervolumenströmen, die über die Ventilstellungen verteilt werden. Insbesondere bei wechselnden Volumenstromanforderungen müssen gegenseitige Beeinflussungen vermieden werden.

Nicht zuletzt die Skepsis und Vorbehalte der Maschinenhersteller und Betreiber gegenüber elektrohydraulischen Komponenten und Systemen, haben trotz deren unbestreitbarer Vorteile, einen breiten Markteintritt dieser Technologien bisher verhindert.

Umsetzung

Die innovationsfreudige Forstmaschinenbranche könnte somit als Türöffner für den Einzug elektrohydraulischer Bedarfsstromsysteme in weitere Klassen mobiler Arbeitsmaschinen dienen. Im vorgestellten Forschungsprojekt wurde aus diesem Grund ein Forstkran als Referenzmaschine gewählt, der zudem eine der anspruchsvollsten Arbeitshydrauliken überhaupt darstellt. Die Anforderungen an dessen Dynamik bei gleichzeitig präziser Positionierbarkeit sind unvergleichlich. Die Entwicklung erfolgte in drei Stufen. Nach dem simulativen Nachweis des Einsparpotenzials, wurden die Komponenten der Bedarfsstromsteuerung zu einem Systemprüfstand kombiniert. Der Funktionsnachweis erfolgte anhand eines Demonstrators, der nach Projektende einer Dauererprobung im realen Forstmaschineneinsatz unterzogen wird.

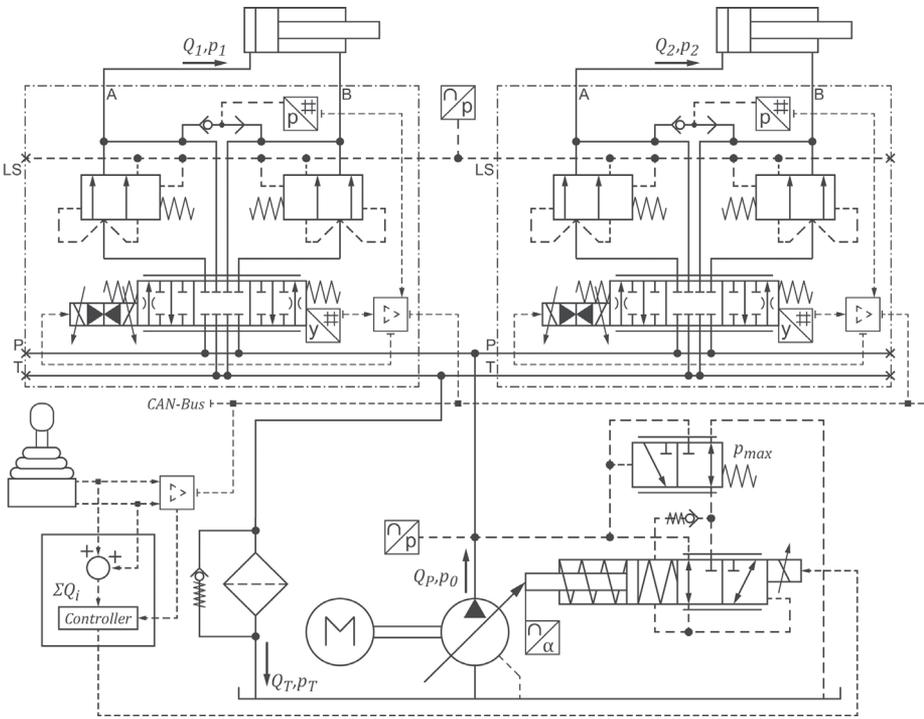
Simulation

Anhand des mit der Referenzmaschine aufgezeichneten, charakteristischen Lastzyklus eines Forstkrans [5] erfolgte der simulative Nachweis des erreichbaren Einsparpotenzials einer elektrohydraulischen Bedarfsstromsteuerung gegenüber einem herkömmlichen Load-Sensing-System. In **Bild 2** ist der Energiebedarf der beiden Hydrauliksysteme während eines Lastzyklus dargestellt. In der Simulation konnten Einsparungen von mindestens 13 % nachgewiesen werden. Die schraffierte Fläche spannt den zusätzlichen Optimierungsraum auf, der unter Ausnutzung der Möglichkeiten einer intelligenten und rechenstarken Mobilsteuerung in Kombination mit elektrohydraulischen Komponenten, weiteres Potenzial aufzeigt.

Prüfstand

Zur Inbetriebnahme und iterativen Optimierung der elektrohydraulischen Bedarfsstromsteuerung wurde am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen in Karlsruhe ein Systemprüfstand aufgebaut. Dieser verfügt über vier Belastungseinheiten, sowie Sensoren zur Erfassung aller relevanten Drücke und Volumenströme. Zudem werden Ventilschieberwege, Zylinderpositionen, der Pumpenschwenkwinkel sowie alle Sollwertvorgaben erfasst. Exemplarisch für die





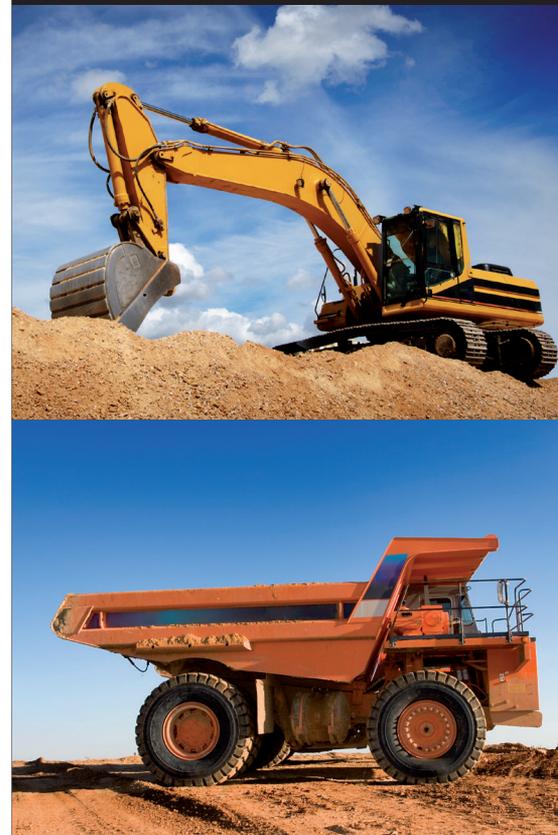
01 Die Summe der Verbraucheranforderungen bestimmt die erforderliche Pumpenansteuerung

durchgeführten Versuche, zeigt **Bild 3** den Parallelbetrieb von drei Verbrauchern. Bei Verbraucher 1 handelt es sich um ein proportional verstellbares DBV, Verbraucher 2 ist ein Hydromotor zum Antrieb des Lüfterrades eines Ölkühlers. Verbraucher 3 ist ein Differentialzylinder, der eine Masse auf einem Schlitten bewegt. Neben dessen Volumenstrom Q_3 , ist auch der entsprechende Zylinderweg x_3 gezeigt. Das Bild verdeutlicht, dass die Volumenströme entsprechend

ihrer Vorgaben verteilt werden und auch bei abrupten Änderungen nur geringe Wechselwirkungen auftreten. Die Druckdifferenz Δp liegt bei energieeffizienten 10 bar.

Funktionsmuster

Nach der Optimierung am Prüfstand wurde das System in das Beschickungsfahrzeug einer mobilen Holzentrindungsmaschine eingebaut. Das konventionelle LS-System



WINKEL



NEIGUNG



LÄNGE



STEUERUNG



WIND

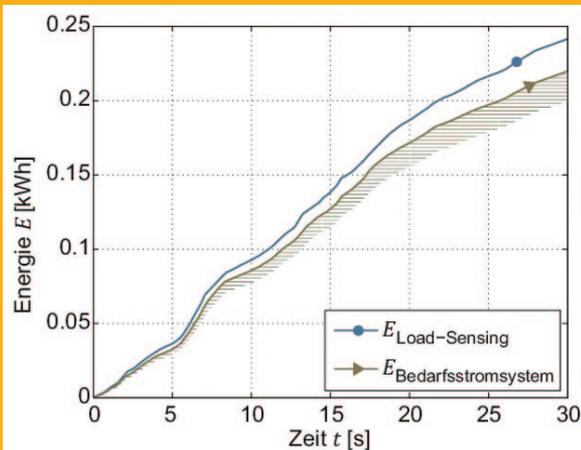


LÄNGE

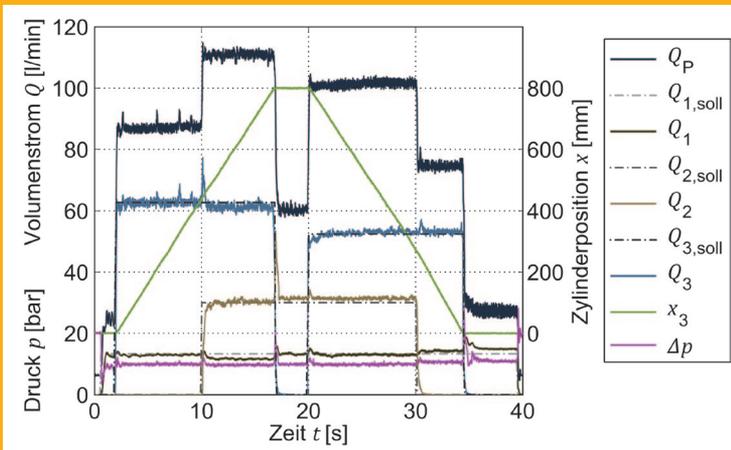


Informationen zu unseren Produkten für **Kran- und Baggeranlagen** finden Sie hier:





02 Simulativer Vergleich des Energiebedarfs zwischen LS-System und elektrohydraulischer Bedarfsstromsteuerung



03 Parallelbetrieb von drei Verbrauchern (Messergebnisse vom Prüfstand)

wurde durch die neuen Komponenten ersetzt. Durch die Nachrüstung besteht die Möglichkeit die Messwerte der beiden Systeme zu vergleichen. Diese Maschine wird täglich im Dauerbetrieb genutzt und bietet dadurch optimale Erprobungsvoraussetzungen. Die Daten werden über ein Mobilmodem erfasst und per GPRS übertragen. So ist eine dauerhafte Datenerfassung möglich, ohne dass der Betriebsablauf gestört wird und es liegen täglich aktuelle Daten für die Auswertung vor. Das Hydrauliksystem besteht aus zwei Hydraulikkreisläufen mit je drei CAN-Ventilen für den Forstkran. Zusätzlich ist noch ein LS-Steuerblock mit sechs Funktionen für die Abstimmung und für Aufbaufunktionen verbaut. Die beiden Pumpen fördern jeweils 150 l/min und werden über einen Nebenabtrieb vom Lkw-Motor angetrieben. Auf einen Ölkühler konnte verzichtet werden.

Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse zeigen wesentliche Verbesserungen gegenüber dem LS-System. Die Bedieneigenschaften des Krans haben sich deutlich verbessert. Die Ansteuerung ist direkter und der Kran lässt sich dadurch feinfühler steuern. Der Differenzdruck konnte auf <10 bar gesenkt werden und dadurch die angestrebte Energieeinsparung von 10 bis 15% erreicht werden. Die Öltemperatur im Dauerbetrieb bei 20°C Außentemperatur liegt bei etwa 60°C.

Möglichkeiten der Verwendung

Die Steuerung wurde als zentrales Bauteil zur Ansteuerung der Hydraulik entwickelt. Es können 24 CAN-Ventile, 12 Proportionalventile und 12 Schaltventile ange-

schlossen werden. Die CAN-Ventile können in der Betriebsart elektrohydraulische Bedarfsstromsteuerung (eBSS) betrieben werden. Für Nebenverbraucher die nur zeitweise benutzt werden, können günstige Schalt- oder Proportionalventile verwendet werden. Wird eines dieser Ventile angesteuert, dann wird in die Betriebsart elektrohydraulisches Load-Sensing (eLS) geschaltet und die Nebenverbraucher können betrieben werden. Sind die Durchflussmengen bekannt können auch die Nebenverbraucher in der Betriebsart eBSS betrieben werden.

Der Maschinenhersteller kann wie bisher die Auslegung der Hydraulik durchführen und anschließend die Parameter in die Steuerung übertragen. Die Steuerung übernimmt dann die Ansteuerung der Ventile und der Pumpen. Die Sollwerte können per CAN oder durch den direkten Anschluss von Joysticks vorgegeben werden. Für jede Achse kann der maximale Durchfluss, eine Steuerkurve, sowie Rampen vorgegeben werden und für die Pumpe kann eine Leistungs- und Durchflussbegrenzung aktiviert werden. Dadurch kann die Hydraulik auf einfache Weise an die jeweilige Maschine angepasst werden.

Ausblick

Durch dieses System wurde die Grundlage für weitere Entwicklungsschritte gelegt. So kann z. B. zum Schutz der Maschine die Pumpenfördermenge an die Öltemperatur angepasst werden. Auch beim Kaltstart oder bei Überhitzung wird die Pumpenansteuerung automatisch reduziert.

Außerdem können Leistungsregler für die Pumpe, Pumpenkombinationen oder für einzelne Hydraulikfunktionen aktiviert und einfach über Parameter in der Steuerung angepasst werden. Dadurch ergeben sich für die Hersteller einfache Möglich-

keiten die Hydraulik optimal auf die jeweilige Maschine abzustimmen, ohne dass Komponenten getauscht werden müssen. Durch geteilte Schieber lässt sich Energie zurückgewinnen oder es können Druckspeicher gefüllt werden, ohne dass ein komplizierter hydraulischer Aufbau entsteht.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), die durch die Förderung des Projektes „Entwicklung und Erprobung eines Systems zur Steigerung der Energieeffizienz von Hydrauliksystemen in Forstmaschinen“ die gemeinschaftliche Forschung an der vorgestellten elektrohydraulischen Bedarfsstromsteuerung ermöglicht hat.

Literaturhinweise:

[1] Djurovic, M.: *Energiesparende Antriebssysteme für mobile Arbeitsmaschinen „Elektrohydraulisches Flow Matching“*, Dissertation, Techn. Univ., Dresden, 2007

[2] Fedde, T.: *Elektrohydraulische Bedarfsstromsysteme am Beispiel eines Traktors*, Dissertation, Techn. Univ., Braunschweig, 2007

[3] Finzel, R.: *Elektrohydraulische Steuerungssysteme für mobile Arbeitsmaschinen*, Dissertation, Techn. Univ., Dresden, 2010

[4] Axin, M.: *Fluid Power Systems for Mobile Applications with a Focus on Energy Efficiency and Dynamic Characteristics*, PhD thesis, Linköping University, Linköping, Sweden, 2013

[5] Scherer, M.; Geimer, M.; Weiß, B.: *Contribution on Control Strategies of Flow-On-Demand Hydraulic Circuits*, Proceedings of the 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Linköping, Sweden, 2013