

# Ein adaptives Hydrauliksystem für Traktoren

*Das Load-Sensing-System hat sich bei mittleren und größeren Traktoren als Standardhydrauliksystem durchgesetzt. Die wachsenden Anforderungen an Traktoren hinsichtlich Leistung, Verbrauch und Arbeitsqualität erfordern neue Lösungen im Bereich des Traktorhydrauliksystems.*

*Im vorliegenden Beitrag wird ein elektrohydraulisches Bedarfsstromsystem beschrieben, das aufgrund seiner Struktur mit elektronisch angesteuerten Wegeventilen und einer elektrisch ansteuerbaren Verstellpumpe eine Anpassung der Systemeigenschaften des Hydrauliksystems an die jeweiligen Einsatzbedingungen erlaubt.*

Dipl.-Ing. Thomas Fedde ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dr.-Ing. Thorsten Lang ist Akad. Rat am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: [T.Fedde@tu-bs.de](mailto:T.Fedde@tu-bs.de)  
Das Forschungsprojekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert und mit der Unterstützung der Unternehmen AGCO GmbH, Bosch Rexroth AG und Sauer-Danfoss GmbH & Co. KG durchgeführt.

## Schlüsselwörter

Mobilhydraulik, Elektrohydraulik, Bedarfsstromsteuerung

## Keywords

Mobile hydraulics, electro-hydraulics, flow-demand control

Bei über 70% der aktuellen Traktoren oberhalb einer Leistung von 74 kW kommen Load-Sensing-Systeme zum Einsatz [1]. Das sogenannte Closed-Center Load-Sensing (LS) mit Verstellpumpe weist dabei im Vergleich zu Konstantdruck- und Konstantstromsystemen eine relativ gute Ausnutzung der Dieselmotorleistung im praktischen Arbeitseinsatz auf. Das gute Betriebsverhalten des LS-Systems im Bereitschaftsmodus hat für Traktoren eine große Bedeutung, da hier große Zeitanteile ohne nennenswerte hydraulische Leistungsabgabe auftreten.

Der aktuelle Trend zur Optimierung landtechnischer Prozesse führt zu einem zunehmenden Einsatz von automatisierten Antrieben, für die das Traktorhydrauliksystem mit elektronisch ansteuerbaren Proportionalventilen eine gute Voraussetzung bietet. Hierbei treten allerdings die systembedingten Nachteile des Load-Sensing-Systems als deutliche Mängel hervor:

### 1. Dynamisches Verhalten

Load-Sensing-Systeme basieren auf der lastdruckabhängigen Regelung des Pumpendrucks. Prinzipbedingt entsteht hierbei ein von der jeweiligen Last abhängiges schwingungsfähiges System mit schwacher Dämpfung und begrenztem Beschleunigungsvermögen.

### 2. Wirkungsgrad

Die konstante LS-Systemdruckdifferenz von etwa 2 MPa ist bei größeren Volumenströmen für erhebliche Leistungsverluste verantwortlich. Beim Betrieb eines Dauerverbrauchers rufen diese systembedingten Leistungsverluste einen relevanten zusätzlichen Kraftstoffverbrauch des Traktors hervor und können zur Überhitzung des Öls und Zwangspausen zur Ölrückkühlung führen.

## Elektrohydraulisches Bedarfsstromsystem

Eine wesentliche Systemverbesserung gegenüber einem konventionellen LS-System ist durch eine direkte Einstellung des Pumpenfördevolumens zu erreichen, die auf der Basis der elektronischen Stellsignale an die Wegeventile ermöglicht wird (Bild 1). Hierbei entfällt im Vergleich zum LS-System ein direkter Einfluss des Lastdrucks auf das Pumpenfördevolumen. Bei diesem Schaltungsprinzip im Sinne einer Bedarfsstromsteuerung (BS) ist keine Messung von Pumpen- oder Lastdrücken erforderlich. Das notwendige Signal der Pumpendrehzahl steht bei modernen Traktoren allgemein als CAN-Botschaft der aktuellen Motordrehzahl zur Verfügung.

Das Bedarfsstromsystem erlaubt eine unabhängige Anpassung des von der Pumpe

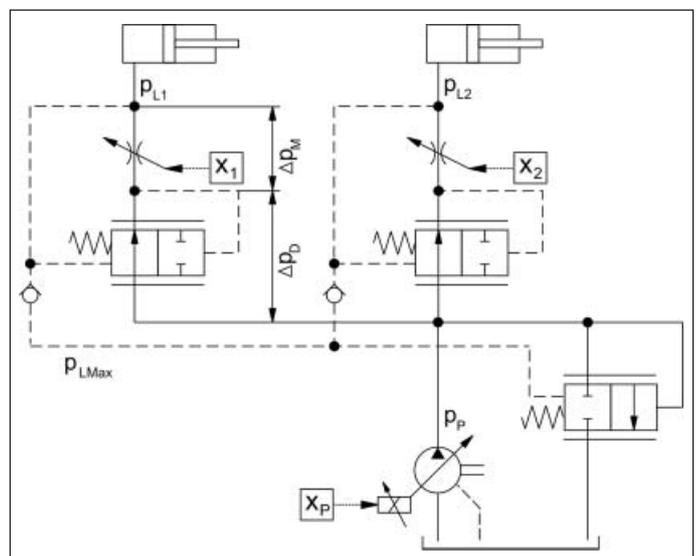


Bild 1: Elektrohydraulisches Bedarfsstromsystem

Fig. 1: Electro-hydraulic flow-demand system

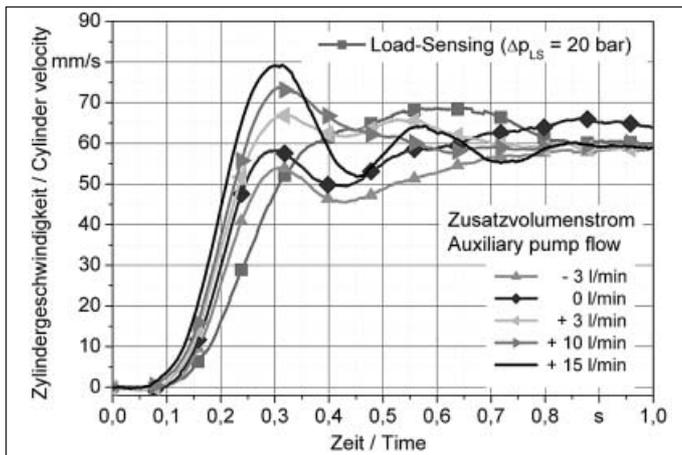


Bild 2: Dynamisches Verhalten

Fig. 2: Dynamic behaviour

erzeugten Volumenstroms und der Ventilvolumenströme. Bei geringen Verbrauchervolumenströmen ist eine zusätzliche Überwachung des Pumpendrucks erforderlich, da eine exakte Abstimmung von Fördervolumen der Verstellpumpe und Ventilöffnung, bedingt durch die Hysterese der Komponenten, nicht möglich ist. Diese Aufgabe wird bei der realisierten Schaltung von einer Bypass-Druckwaage im Sinne eines Open-Center-Load-Sensings übernommen, über den ein Zusatzvolumenstrom abgeführt werden kann.

### Beschleunigungsverhalten

Wird bei einem Verbraucher eine erhöhte Beschleunigung benötigt, kann ein entsprechender Zusatzvolumenstrom für die Überbrückung der zeitverzögert aufschwenkenden Verstellpumpe genutzt und somit eine erhöhte Dynamik der Verbraucher gegenüber dem klassischen Load-Sensing erreicht werden (Bild 2). Die Messungen zeigen eine aufgefächerte Beschleunigungsphase des Verbrauchers im Bereich 0,2 bis 0,4 Sekunden, die durch die Höhe des Zusatzvolumenstroms gesteuert werden kann. Bei größeren Zusatzvolumenströmen führt ein relevanter Bypassvolumenstrom allerdings auch zu einem LS-typischen Schwingungsverhalten. Gegenüber dem klassischen LS liegt hierbei jedoch ein günstigeres Systemverhalten vor, da die Pumpendruckregelung vom Bypass direkt am Wegeventilblock mit kleinen hydraulischen Kapazitäten und kleineren Zeitkonstanten ausgeführt wird.

### Systemwirkungsgrad

Wird bei gegebenem Fördervolumen der Verstellpumpe eine zusätzliche Öffnung des Ventils mit dem höchsten Lastdruck eingestellt, bewirkt die Untererfüllung bei diesem Ventil eine relative Öffnung der Individual-

druckwaage. Hierdurch ergibt sich ein reduzierter Druckabfall am Wegeventil und der Bypass schließt. Folglich sinkt der Pumpendruck auf den höchsten Lastdruck zuzüglich der verbleibenden Druckverluste am betreffenden Wegeventil. Hierbei ist eine Druckdifferenz am Wegeventil von etwa 0,5 MPa erreichbar, was eine erhebliche Reduzierung des Leistungsverlusts gegenüber dem klassischen Load-Sensing mit 2 MPa bedeutet. Der gleiche Effekt lässt sich durch eine gegenüber der gegebenen Ventilöffnung verkleinerte Fördermenge an der Verstellpumpe erzielen, wobei dann der höchstbelastete Verbraucher einen verminderten Ölstrom erhält. Bild 3 zeigt eine Messung der entstehenden Leistungsverluste am Wegeventil für den Fall einer mittleren Belastung des Hydrauliksystems. Da die Komponentenwirkungsgrade von Pumpe und Motor unberührt bleiben, genügt für die Untersuchung des Systemwirkungsgrads die Betrachtung der am Wegeventil vorliegenden Leistungsflüsse. Die gezeigte Grafik enthält hierfür die an die Verbraucher und die über den Bypass abgeführten hydraulischen Leistungen bezogen auf die eingehende hydraulische Pumpenleistung, die durch eine Messung der jeweiligen Drücke und Volumenströme ermittelt wurden. Die Volumenstromverluste an die Vorsteuereinheiten werden bei diesem Verfahren berücksichtigt.

Die gezeigte Messung belegt, dass eine deutliche Anhebung des Systemwirkungsgrads um 10% bei dieser Belastung gegenüber dem klassischen LS zu erreichen ist. Gerade in dem für die Mobilhydraulik typischen Bereich mittlerer Belastungen ist eine signifikante Erhöhung des Wirkungsgrads von praktischer Bedeutung.

Eine erhöhte Dynamik kann dagegen bei automatisierten Bewegungen, wie etwa einer elektrohydraulischen Parallelführung eines Frontladers [2], die Qualität der Bewegungs-

führung erhöhen. Ein verringerter hydraulischer Wirkungsgrad erscheint hierbei als akzeptabel, da die Einschaltdauer derartiger Antriebe relativ kurz ist.

Eine kontinuierliche Adaption der Systemeigenschaften des Hydrauliksystems ermöglicht einen Antrieb der landtechnischen Prozesse mit einem Kompromiss aus optimalem Wirkungsgrad und notwendiger Systemdynamik.

### Ausblick

Die Verbesserung des Wirkungsgrads von Hydrauliksystemen mit Druck- und Volumenstromanpassung im offenen Kreislauf konnte im Rahmen des durchgeführten Projekts eindrucksvoll gezeigt werden. Das vorgestellte elektrohydraulische Bedarfsstromsystem erlaubt eine flexible Anpassung der Systemeigenschaften an die jeweiligen Arbeitsaufgaben des Hydrauliksystems.

Die Entwicklung elektrohydraulisch ansteuerbarer Verstellpumpen für den offenen Kreislauf ist der Schlüssel für die Einführung derartiger Hydrauliksysteme. Die Qualität der Fördervolumenverstellung und der Ventile bestimmt den erreichbaren Wirkungsgrad und die dynamischen Eigenschaften des Bedarfsstromsystems. Es ist zu erwarten, dass die steigenden Kraftstoffkosten zu einem verstärkten Interesse der Anwender an derartigen adaptiven Antriebssystemen führen wird.

### Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] • Fedde, T.: 3.4 Traktorhydraulik. In: Jahrbuch Agrartechnik 2004, Band 16, S. 73 – 78, ISBN 3-7843-3272-2
  - [2] Fedde, T., Th. Lang und H.-H. Harms: Integrierbare Positions- und Geschwindigkeitssensoren für die Mobilhydraulik. Landtechnik 59 (2004), H.4, S. 206 – 207

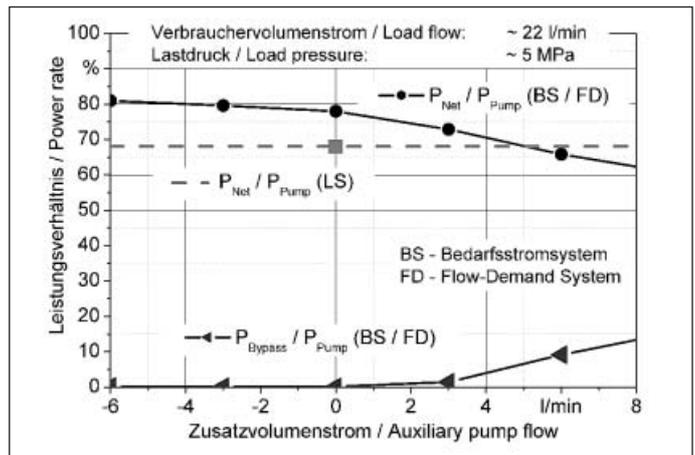


Bild 3: Gemessene Wirkungsgrade am Wegeventil

Fig. 3: Measured efficiencies at the valve