

# Energieoptimierte druckgeregelter Anpresshydraulik für stufenlose Umschlingungsgetriebe

Stufenlose Getriebe repräsentieren sieben Jahre nach ihrer Serieneinführung in hochentwickelten Märkten den Stand der Technik bei Traktorfahrantrieben mittlerer bis hoher Leistung. Für kleinere Leistungen stellen stufenlose Umschlingungsgetriebe mögliche Ausführungen von stufenlosen Getrieben in Traktoren dar [1]. Großes Potenzial für eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades liegt in der Optimierung der Anpress- und Übersetzungshydraulik. Hierfür wurde ein neues druckgeregeltes System entwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf der Verwirklichung einer hochdynamischen Anpressdruckbereitstellung bei Drehmomentenanstiegen, wie sie im Traktor häufig auftreten. In Prüfstandsversuchen konnten Funktionsfähigkeit und Einsparpotenziale aufgezeigt werden. Die nächsten Schritte stellen Optimierungen dar:

Dipl.-Ing. Bernhard Stöckl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. K. Th. Renius) der TUM, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching; e-mail: [stoeckl@itm.mw.tum.de](mailto:stoeckl@itm.mw.tum.de)

## Schlüsselwörter

Stufenlose Getriebe, Umschlingungsgetriebe

## Keywords

CV transmission, CV belt and chain transmission

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03340S über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Übersetzungs- und Anpressregelung erfolgt beim Kettenwandler hydraulisch. Um eine Beschädigung durch Rutschen der Kette zu verhindern [2], muss ein Drehmomentproportionaler Öldruck in beiden Anpresszylindern anliegen. Für die Übersetzungsregelung wird einer der Drücke zusätzlich erhöht.

### Druckgeregelter Anpresshydraulik

Elemente des neuen energieeffizienten Hydraulikkonzepts sind eine Verstellpumpe, je ein 3-Wege-Druckregelventil und ein neuartiger Drehmomentfühler pro Scheibensatz [3]. Wichtiges Merkmal ist die bedarfsgerechte Erzeugung von Volumenstrom und Druck. Die zurzeit in Serie gefertigten Ausführungen (Audi Multitronic [4]) benötigen einen konstanten Ölvolumenstrom, da der Anpressdruck durch eine momentenabhängige Drosselung im sogenannten Drehmomentfühler entsteht. Gleichzeitig wirkt dieser bei steilen Drehmomentanstiegen als Pumpe, um den Druck hochdynamisch zu erhöhen.

Diese Pumpfunktion wurde im Gegensatz zu anderen bekannten druckgeregelten Anpresssystemen beibehalten, um den Anpressdruck möglichst nahe am Anpressbedarf einstellen zu können, gleichzeitig aber eine Sicherheit gegen Kettenrutschen zu besitzen. Damit können trotz der Trägheiten von Ventil und Pumpe große positive Drehmomentgradienten zuverlässig abgedeckt werden. Zusätzlich wird am Drehmomentfühler das anliegende Moment elektronisch gemessen und der Öldruck am Anpresszylinder mittels Verstellpumpe und Druckregelventil entsprechend eingestellt. Verwendung findet ein direktgesteuertes Druckregelventil. Um die Hysterese und die

im niedrigen Druckbereich unzureichende Dynamik zu vermeiden, wurde zusätzlich ein elektronischer Druckregler implementiert. Da die Dynamik des Ventils stark vom aktuellen Druck abhängt, sind die Reglerparameter variabel ausgeführt.

### Prüfstandsversuche

Erste Versuche konnten erfolgreich absolviert werden. Beispielhaft soll das Einsparpotenzial in speziellen Betriebspunkten aufgezeigt werden (Tab. 1). Gegenüber gestellt sind eine druckgeregelter Anpresshydraulik mit konstantem oder geregelter Pumpendruck und das alte Konstantstromsystem. In den druckgeregelten Versionen ersetzt bei konstanter Übersetzung  $\ddot{u}=1/i$  und Antriebsmoment  $M_{an}$  der geringe Volumenstrom  $Q$  lediglich die Leckage (Spalte 1). Damit ergibt sich eine niedrige auf die mechanische Leistung bezogene hydraulische Leistung  $P_{hyd}/P_{mech}$  (ohne Pumpenwirkungsgrad). Bei Übersetzungsänderungen hängt die Leistungsaufnahme stark von der Verstellgeschwindigkeit  $d\ddot{u}/dt$  ab (Spalte 2 bis 4). Bei sehr schnellen Änderungen (Spalte 3) kann der Energieverbrauch der geregelten Systeme höher sein, da bei gleichem Volumenstrom ein höherer Druck  $p_{Pumpe}$  erzeugt werden muss. Bei reiner Momentenänderung (Spalte 5) tritt wieder eine deutliche Einsparung auf.

Über die gesamte Messung (50% Zeitannteile mit Verstellung) ergab sich für die Konstantdruckversorgung eine Einsparung von 73%, mit der druckgeregelten Versorgung von 80% gegenüber dem Konstantstromsystem. Für eine endgültige Bewertung müssen repräsentative Zyklen generiert werden, was neben weiteren Optimierungen die nächsten Schritte darstellt.

Tab. 1: Vergleich der hydraulischen Verluste bei charakteristischen Betriebspunkten

Table 1: Comparing hydraulic losses at characteristic conditions

$n_{an} = 1000 \text{ min}^{-1}$ $\Theta_{ab} = 0,21 \text{ kgm}^2$	$d\ddot{u}/dt \text{ [1/s]}$	0	0,6	-1,19	-0,058	0
$M_{an} \text{ [Nm]}$		100	153→250	244→75	102→66	4→100
$p_{Anpress,max} \text{ [bar]}$		18	46→50	40→41	17→12,8	4,5→17,8
druckgeregelt	$P_{hyd}/P_{mech} \text{ [%]}$	0,03	1,69	6,27	0,56	0,26
$p_{Pumpe} = 57 \text{ bar} = \text{const}$	$Q \text{ [l/min]}$	0,03	3,80	6,00	0,50	0,25
druckgeregelt	$P_{hyd}/P_{mech} \text{ [%]}$	0,02	1,74	4,90	0,23	0,13
$p_{Pumpe} = p_{Anpress,max} + 10 \text{ bar}$	$Q \text{ [l/min]}$	0,03	3,80	6,00	0,50	0,25
Konstantstrom	$P_{hyd}/P_{mech} \text{ [%]}$	1,73	2,23	4,12	1,70	1,27
$p_{Pumpe} = p_{soll,max}$	$Q \text{ [l/min]}$	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00