

# Anpress-Systeme und Übersetzungsregelung für stufenlose Umschlingungsgetriebe

*Für stufenlose Umschlingungsgetriebe werden neue Ansätze zur Gestaltung des hydraulischen Anpress-Systems entwickelt. Ziele sind eine Verbesserung und Erweiterung der Funktion und eine Sicherstellung ausreichender Anpresskraft für die hohen Anforderungen in Traktoren.*

*Es wird zunächst ein an die Randbedingungen in modernen Traktoren adaptiertes, funktional ergänztes und verbessertes Konstantstromanpress-System eingeführt.*

*Anschließend werden erste Messergebnisse zu einem neuen energie-sparenden Hydrauliksystem mit Druckregelung vorgestellt.*

Dipl.-Ing. Ulrich Westenthanner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K.Th. Renius) der Technischen Universität München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, e-mail: west@ltm.mw.tum.de Das Forschungsvorhaben wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert (Sonderforschungsbereich 365).

**Referierter Beitrag der Landtechnik, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.**

## Schlüsselwörter

Stufenlose Getriebe, Umschlingungsgetriebe, Traktoren, Hydraulik

## Keywords

Continuously variable transmission (CVT), chain converter, tractors, hydraulics

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 00101 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Einführung von stufenlosen Getrieben in die Serienproduktion von Standardtraktoren (Fendt Vario) und bei Systemfahrzeugen (Claas Xerion) hat begonnen [1]. Beide Getriebe beruhen auf hydrostatisch leistungsverzweigten Konzepten mit Wirkungsgraden im Bestpunkt (ohne Achsen) von etwas über 90% [2]. Eine kostengünstige Technik für stufenlose Getriebe stellen auch die Umschlingungsgetriebe von P.I.V. Reimers (Kettenwandler) und Van Doorne Transmissie (VDT, Schubgliederband) dar. Diese Getriebe arbeiten mit reibschlüssiger Übertragung. Ihre Stärken (hoher Gesamtwirkungsgrad auch ohne Leistungsverzweigung) liegen für Traktoren nach [3] im unteren bis mittleren Leistungsbereich.

Eine geschickte Auslegung des Hydrauliksystems zur Anpressdruck- und Übersetzungseinstellung dient dazu, das außerordentlich hohe Wirkungsgradpotenzial (der mechanische Wirkungsgrad weist Bestwerte um 95% auf) möglichst gut auszunutzen. Es müssen vor allem Überanpressungen vermieden [4] und der Energieverbrauch der Versorgungshydraulik optimiert werden [5]. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 365 „Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge“ wird an der Technischen Universität München seit 1993 an einer Verbesserung der Kettenwandlerhydraulik gearbeitet. Um beim Einsatz in Traktoren eine hohe Lebensdauer zu erzielen, muss das Anpress-System in der Lage sein, auch bei härtesten Drehmomentstößen immer eine genügend hohe Anpresskraft bereitzustellen, damit ein Durchrutschen mit Schädigung des Kettenwandlers vermieden wird.

## Modifizierte Konstantstromhydraulik

Für eine erste Generation stufenloser Umschlingungsgetriebe in Traktoren stellt das P.I.V.-Konstantstromsystem [4] die hydraulische Grundlage aufgrund seiner sicheren Anpressdruckeinstellung (Drehmomentfühler) dar. Um es an die fortschreitende Vernetzung des Antriebsstrangs (CAN-BUS) anzupassen, wurde eine wesentlich flexiblere elektronische Regelung der Übersetzung mit Drehzahlmessung entwickelt, Bild 1. Hier sind zwei weitere Schaltventile integriert, mit deren Hilfe eine Verstellung in die Anfahrübersetzung auch bei stillstehendem Kettenwandler in weniger als 2 s durchgeführt werden kann. Das verwendete Steuergerät auf C167-Basis [6] findet bei Landmaschinen zunehmend Verbreitung. Die hydraulische Versorgung erfolgt entweder kostengünstig aus der Traktorhydraulik oder mit Hilfe einer eigenen Pumpe (60 bar, etwa 10 l/min) [7]. Das hydraulisch vorgesteuerte und mit einem eigenen Lageregelkreis ausgestattete Ventil mit Vierkantensteuerschieber ist eine Eigenentwicklung [8]. Durch eine gezielte Auslegung des Druckdifferenzventils konnte die Verstellgeschwindigkeit des Kettenwandlers erheblich reduziert werden. Für das Durchfahren des vollen Übersetzungsbereichs werden nur noch 1,3 s

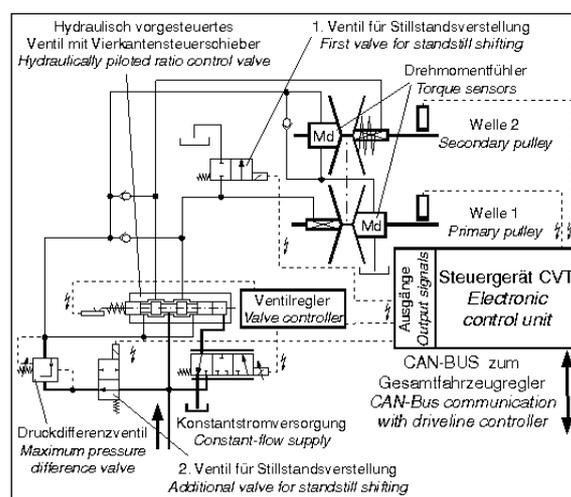


Bild 1: Modifiziertes Konzept für Konstantstromanpress-System

Fig. 1: Modified concept for constant-flow clamping system

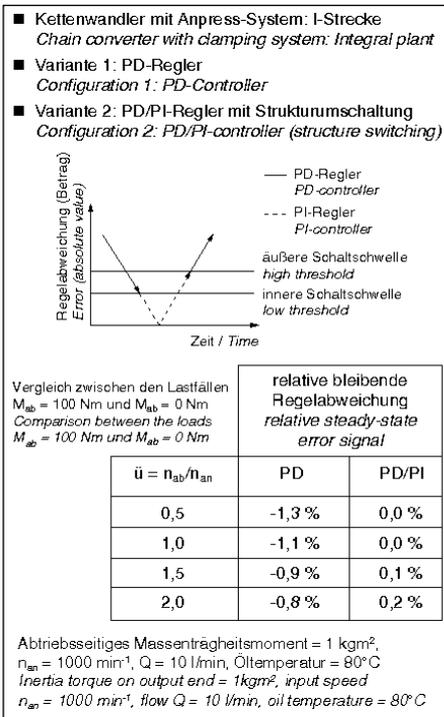


Bild 2: Geeignete Reglerstruktur minimiert lastbedingte bleibende Regeldifferenz

Fig. 2: A suited ratio control minimizes load depending steady-state error

benötigt. Der Übersetzungsregler hat die Aufgabe, bei hoher Regeldynamik die bleibende Regelabweichung möglichst klein zu halten und den Einfluss von Störgrößen wie Änderungen des Zugwiderstands bei der Feldarbeit oder Verspannmomente während Umschaltvorgängen in leistungsverzweigten Getrieben zu minimieren (Bild 2). Da der Kettenwandler wegen der ringförmigen Verstellzylinder I-Verhalten aufweist, wird ein einfacher strukturvariabler Regler eingesetzt, der große Regelabweichungen durch eine PD- und kleine durch eine PI-Struktur abbaut [9]. Eine Hysterese beim Umschalten verhindert Pendeln zwischen beiden Reglern. Messungen bestätigten die Unempfindlichkeit dieser Reglerstruktur gegenüber störenden Laständerungen. In Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass die Übersetzungsregelung selbst bei Öltemperaturen von  $-18^\circ \text{ C}$  zuverlässig arbeitet.

### Druckgeregeltes Hydrauliksystem

Wie bereits früher veröffentlicht [10], bietet ein druckgeregeltes Hydrauliksystem mit Verstellpumpe theoretisch den geringstmöglichen Energieverbrauch, da Druck und Volumenstrom dem aktuellen Bedarf entsprechen. Neue Simulationsrechnungen mit verfeinerten Modellen bei Zugrundelegung von Messfahrten (Feld- und Transportarbeiten) mit dem Münchner Forschungsaktor [11] bestätigten das große Energieeinsparpotenzial. Insgesamt zeigte sich, dass durch Verwendung eines druckgeregelten Anpress-

Systems gegenüber einem optimierten Konstantstromsystem nochmals erheblich Energie eingespart werden kann. Der Anteil der hydraulischen Energie an der (vom Verbrennungsmotor erzeugten) Gesamtenergie geht von etwa 1,7 % bis 2,5 % auf 0,4 % bis 0,6 % zurück (je nach Traktoreinsatz). Das bedeutet, dass eine Steigerung des Kettenwandlergesamtwirkungsgrades im Mittel um rund einen Prozentpunkt zu erwarten ist.

Wie schon erwähnt, muss das Hydrauliksystem in der Lage sein, mit der Anpressdruckregelung auch steilsten Drehmomentanstiegen folgen zu können. Am Lehrstuhl für Landmaschinen ist deshalb ein neuer Drehmomentfühler entwickelt worden, der diese Funktion auch in Verbindung mit der neuen Druckregelung erfüllt [8]. Der hydraulische Schaltplan konnte sehr einfach gehalten werden (Bild 3).

Im Normalfall wird der Druck in den Anpresszylindern über die Druckregelventile nach dem gewünschten Übersetzungsverhältnis und dem anliegenden Drehmoment (aus elektronischer Messung) eingestellt. Der von der Pumpe erzeugte Systemdruck liegt dabei nur wenig darüber. Die untere Grenze stellt dabei der für die Verstellung der Flügelzellenpumpe notwendige Mindestdruck dar. Steigt das Drehmoment sehr schnell an, kann der Druckregelkreis aufgrund der (fast gänzlich von den Ventilen verursachten) Verzögerung von bis zu 100 ms nicht rechtzeitig antworten. Hier setzt nun die Pumpwirkung des neuen Drehmomentfühlers ein, der Druck steigt unverzüglich.

Bild 3: Neues Konzept für druckgeregeltes Anpress-System mit den modifizierten Drehmomentfühlern

Fig. 3: New concept for CVT hydraulic with pressure control

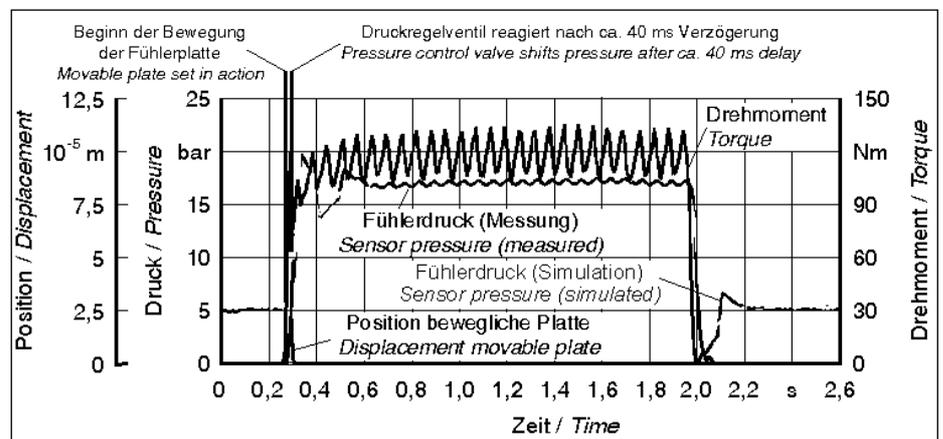
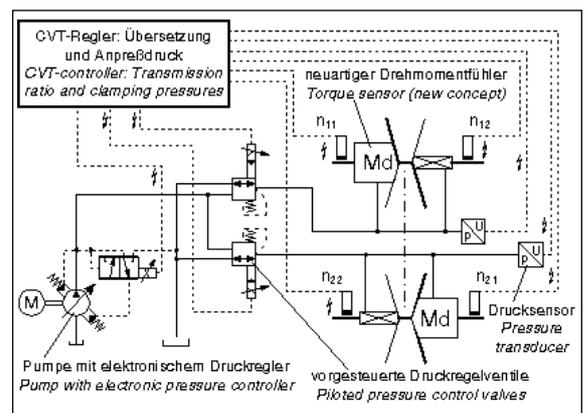


Bild 4: Überbrückung der Verzögerung im Druckregelkreis durch Pumpwirkung

Fig. 4: „Pumping function“: Compensation for the time delay in the pressure control loop

In Prüfstandsversuchen konnte das Zusammenwirken von Druckregelventil und Drehmomentfühler inzwischen nachgewiesen werden (Bild 4). Durch das Pumpen wird ab Beginn des Drehmomentsprungs der Anpressdruck ohne Verzögerung auf 10 bar erhöht, bis dann nach einer Verzögerung von etwa 40 ms das Druckregelventil den neuen Sollwert umsetzen kann.

### Weiteres Vorgehen

Als nächstes müssen die Strategien für die Druckregelung fertig entwickelt und untersucht werden (unterstützt durch den Einsatz dynamischer Simulationen mit MATLAB/SIMULINK). In Bild 4 ist hierzu ein erster Vergleich zwischen Messung und Simulation dargestellt. Im nächsten Schritt sollen die somit validierten Modelle für Druckregelventil und Drehmomentfühler in die Simulation des vollständigen druckgeregelten Hydrauliksystems eingebunden und mit dem bereits vorhandenen Modell des kompletten Kettenwandlerprüfstands [12] zusammengeführt werden. Die Fertigentwicklung der Regelstrategien und der neuen Hydraulik soll schließlich am realen Getriebe experimentell unterstützt werden.

## Literatur

Bücher sind mit • gekennzeichnet

- [1] *Renius, K.Th.*: Gesamtentwicklung Traktoren. Jahrbuch Agrartechnik 1999, S. 39 – 44 und 248 – 249, Landwirtschaftsverlag, Münster, 1999
- [2] *Renius, K. Th.* und *B. Vahlensieck*: Wirkungsgrade stufenloser Traktorfahrertriebe. Landtechnik 51 (1996), 5, S. 248 – 249
- [3] *Renius, K.Th.*: Stufenlose Fahrertriebe für Traktoren. Landtechnik 50 (1995), H. 5, S. 254 – 255
- [4] • *Sauer, G.*: Grundlagen und Betriebsverhalten eines Zugketten-Umschlingungsgetriebes. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 293, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
- [5] • *Westenthanner, U.* und *M. Koberger*: Hydraulic systems for continusly variable chain drives. Vortrag auf dem 10th Bath International Fluid Power Workshop „Challenges & Solutions“, Bath, 10.-12. September 1997. Tagungsband S. 353 – 365, Research Studies Press LTD, Baldock, Herfordshire, England, 1998
- [6] *Koberger, M.*: Fortschritte bei hydraulischen Versorgungssystemen für Kettenwandler. O+P „Ölhydraulik und Pneumatik“ 43 (1999), H. 3, S. 182 – 187
- [7] *Koberger, M.* und *U. Westenthanner*: Höhere Wirkungsgrade stufenloser Kettenwandlergetriebe. Landtechnik 53 (1998), Sonderheft 1998, S. 189 – 190
- [8] • *Westenthanner, U.*: Neue Ansätze zur Regelung von Übersetzung und Anpressung eines Zugkettenwandlers. VDI-Berichte Nr. 1459, S. 181 – 196, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999
- [9] • *Pfab, H.*: Grundlagen zur Auslegung des geregelten Krafthebers bei Traktoren. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14, Nr. 70, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995
- [10] • *Westenthanner, U.* und *M. Koberger*: Energiesparende Hydraulik für stufenlose Kettenwandlergetriebe. VDI-Berichte Nr. 1356, S. 25 – 28, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
- [11] • *Vahlensieck, B.*: Messung und Anwendung von Lastkollektiven für einen stufenlosen Kettenwandler-Fahrertrieb. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 385, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999
- [12] • *Renius, K.Th., M. Koberger* und *U. Westenthanner*: Kettenwandlerregelung und Hydraulische Versorgungssysteme. Arbeits- und Ergebnisbericht Juli 1996 bis Dezember 1999 „Sonderforschungsbereich 365: Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge“ vom 26.4.1999, S. 07 – 157, Technische Universität München, 1999