

Bernd Vahlensieck, Garching

# Steigende Motorauslastung durch geregelte stufenlose Getriebe

**Die Motorauslastung bei Traktoren steht immer dann im Blickpunkt, wenn es um Produktivität oder Bearbeitungsintensität in der Landwirtschaft geht [1, 2]. Die Verwendung von stufenlosen Getrieben in Traktoren eröffnet diesbezüglich Konstrukteuren und Anwendern neue Chancen zu weiterer Optimierung. Die gleichzeitige freie Wahl von Arbeitsgeschwindigkeit und Motorbetriebspunkt – verbunden mit einer stark vereinfachten Automatisierung des Motor-Getriebe-Managements – ist vorteilhaft gegenüber konventionell gestuften Getriebekonzepten. Durch den leistungsgeregelten Betrieb des stufenlosen Getriebes kann besonders bei Zugarbeiten eine Erhöhung der Motorauslastung erreicht werden.**

Das Getriebe eines Traktors hat die Aufgabe, Drehzahl und Drehmoment des Motors zu wandeln und der Anwendung zur Verfügung zu stellen. Jede Stufe – jeder Gang – des Getriebes stellt dabei eine Möglichkeit für die Wandlung dar, so daß theoretisch mit der Anzahl der Gänge der Nutzen für die Anwendung steigt. Optimal ist daher folgerichtig ein stufenloses Getriebe, welches neben unendlich vielen Gängen in einem bestimmten Übersetzungsbereich auch einen höheren Schaltkomfort und eine bessere Integrierbarkeit in Traktormanagementsysteme bietet [3] als vergleichbare gestufte Getriebe.

Am Lehrstuhl für Landmaschinen steht mit dem Münchner Forschungstraktor ein Versuchsträger zur Verfügung, der über ein einfaches stufenloses Getriebe verfügt – bestehend aus einem Kettenwandler der Firma P.I.V. Reimers und einem nachgeordneten Stufengetriebe mit zwei Vorwärtsgängen und einem Rückwärtsgang [4]. Mit diesem Versuchsfahrzeug wurden bereits zahlreiche Untersuchungen zur Ermittlung von Lastkollektiven am Getriebeeingang durchgeführt. Hierbei konnten Unterschiede zwischen Kollektiven herkömmlicher Schaltgetriebe und denen leistungsgeregelter stufen-

loser Getriebe nachgewiesen werden [5]. Durch diese Ergebnisse angeregt, wurde nun auch die Motorauslastung bei Verwendung eines leistungsgeregelten stufenlosen Getriebes einer genaueren Untersuchung unterzogen.

## Pflügen, Eggen, Transport

Potential zur Steigerung der Motorauslastung haben Zugarbeiten wie zum Beispiel das Pflügen, das Eggen oder Transportarbeiten, also Arbeiten an der Leistungsgrenze des Motors. Vor allem bei wechselnden Lasten hat hier ein rechnergestützter und kontinuierlich auf unendlich viele Übersetzungen zugreifender Regler Vorteile gegenüber dem „Regler Mensch“, dem bisher auch nur eine endliche Anzahl von Gängen zur Verfügung steht. Der Grund für wechselnde Last kann bei einer Transportfahrt das Gelände sein, beim Pflügen ohne Zugkraftregelung eine Änderung der Bodenverhältnisse und beim Eggen ein Wechsel beispielsweise der Steigungsverhältnisse. Feldversuche wurden daher in leichter Hanglage (Steigung bis maximal 7 %) mit einem angebauten Zweischar-Volldrehpflug sowie mit einer Zinkenegge durchgeführt. Zur Simulation von Transportversuchen wurde auf der neuen Versuchsbahn unseres Lehrstuhls in Garching ein Unimog mit laufendem Motor und eingeletem Gang vom Versuchsfahrzeug gezogen; die wechselnde Belastung erfolgte am gezogenen Fahrzeug durch Einlegen verschiedener Gänge. Verglichen wurden drei verschiedene Fahrstrategien, im einzelnen waren dies „stufenlos geregelt“ und „simulierte Lastschaltung“ für die

Transportsimulation, zusätzlich für die Zugarbeiten auf dem Feld die Strategie „fester Gang“. Zur Simulation der Strategien „Lastschaltung“ und „fester Gang“ kann das für den Kettenwandler geschriebene Regel- und Steuerprogramm konstante Übersetzungen vorgeben.

## Bezugsgrößen, Definition

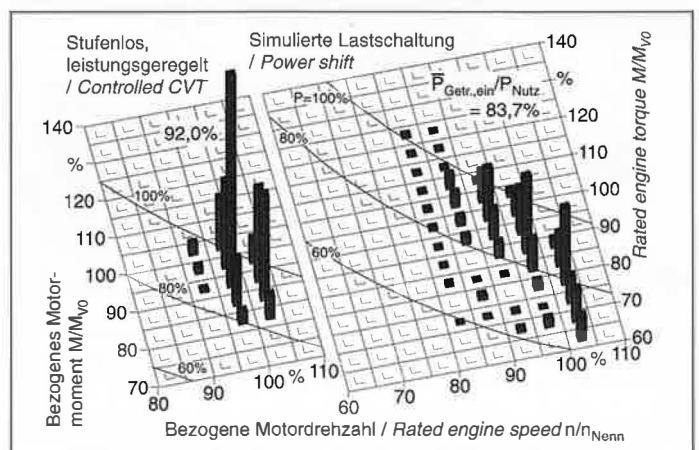
Gemessen wurden – mit einer Frequenz von 400 Hz – das Drehmoment und die Drehzahl am Getriebeeingang. Weitere Größen wurden zur Aufstellung von Lastkollektiven aufgezeichnet. Außerdem wurden für jeden Versuch die Temperaturen von Ansaugluft und Kraftstoff des Motors festgehalten. Die Bezugsgrößen für die Beurteilung der Motorauslastung und die Darstellung der Betriebspunktverteilung –  $P_{Nutz}$  und  $M_{V0}$  – wurden dann unter Berücksichtigung dieser Temperaturen nach DIN 6271 berechnet, um die auftretenden Temperatureinflüsse für jeden Versuch zu berücksichtigen. Somit soll folgende Definition der Motorauslastung gelten: durchschnittliche gemessene Getriebeeingangsleistung während des Versuchs bezogen auf die „blockierte ISO-Nutzleistung mit Temperatur-Korrektur“.

## Konzentration im Kennfeld

Beispielhaft werden die Auswirkungen der Verwendung eines leistungsgeregelten stufenlosen Getriebes in Form einer Häufigkeitsverteilung der gemessenen Betriebspunkte im normierten Motorkennfeld gezeigt (Bild 1). Verglichen wurde mit der Strategie „Lastschaltung“ beim Pflügen hangaufwärts (ohne Vorgewen-

Bild 1: Klassierte Getriebe-Eingangsgrößen Moment und Drehzahl während des Pflügens in leichter Hanglage (vgl. [2]); je eine Furche ohne Vorgewende

Fig. 1: Distribution of transmission input speed and torque during uphill plowing on a slightly sloped field; one furrow, headland operation excluded



Dipl.-Ing. Bernd Vahlensieck ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Landmaschinen der Technischen Universität München, Boltzmannstraße 15, 85747 Garching (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K.Th. Renius).

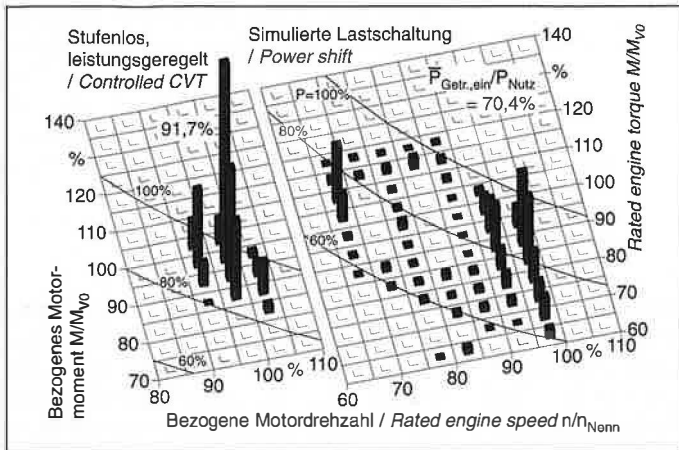


Bild 2: Klassierte Getriebe-Eingangsgrößen Moment und Drehzahl während des Eggens hangabwärts; je eine Überfahrt ohne Wendevorgang

Fig. 2: Distribution of transmission input speed and torque during downhill harrowing on a slightly sloped field; one pass, headland operation excluded

de). Man erkennt, wie sich die Betriebspunkte durch Leistungsregelung in der Nähe des Nennleistungspunktes konzentrieren lassen. Für die beiden gezeigten repräsentativen Versuche ergibt sich dadurch eine Steigerung der Motorauslastung von 83,7 % auf 92 %.

Im Bild 2 sieht man in der gleichen Darstellung den Vergleich der beiden Fahrstrategien für das Eggen hangabwärts am selben Feldstück. Wiederum wird deutlich, wie sich durch die Leistungsregelung die auftretenden Betriebspunkte sehr eng auf den Bereich des Leistungsmaximums des Motors zusammenschieben. Dies ergibt bei den ausgewählten Versuchen sogar eine Erhöhung der Motorauslastung von 70,4 % auf 91,7 %.

### Steigerung der Auslastung

Die durchschnittliche Motorauslastung, die jeweils über mehrere Versuche gemittelt wurde, ist für alle untersuchten Arbeiten in Bild 3 dargestellt. Für den geregelten Betrieb beträgt ihr Wert unabhängig von der Arbeit und der Hangneigung über 90 %. Beim Pflügen bergauf liegt er mit 90,5 % deutlich über den 82,5 %, die sich bei Verwendung einer simulierten Lastschaltung ergeben, und den 86,7 % aus Versuchen mit konstanter Übersetzung. Versuche, bei denen auf dem selben Feld hangabwärts gepflügt wurde, ergaben insbesondere gegenüber der Strategie „fester Gang“ einen großen Vorteil für den stufenlos geregelten Betrieb. Die Motorauslastung für die Simulation der Lastschaltung wurde hangab- und -aufwärts auf vergleichbarem Niveau gehalten.

Ähnliches gilt für die Versuche mit der Zinkenegge und simuliertem Transport. Deutlich wird auch hier die Steigerung der Motorauslastung durch die Verwen-

dung des stufenlosen, geregelten Antriebs. Die Auslastungswerte für die unregelmäßigen Strategien liegen beim Eggen etwas niedriger als beim Pflügen, da die Lastwechsel größer sind und schneller auftreten und sich so der Nachteil der fehlenden Regelung stärker auswirkt.

### Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus Versuchen mit unregelmäßiger Strategie streuen stärker als die mit dem Regler ermittelten. Daher bergen selbst die aus drei bis fünf Einzelversuchen gemittelten Auslastungswerte der unregelmäßigen Arbeiten noch gewisse statistische Unsicherheiten. Die Streuung der geregelten Versuche ist dagegen sehr gering, so daß die hierfür ermittelten Werte mit einiger Sicherheit angegeben werden können.

Insgesamt ist dabei zu beachten, daß die vor dem Getriebeeingang abgenommene Nebenabtriebs-Leistung zur hydraulischen Versorgung des Kettenwandlers nicht berücksichtigt wurde. Beispielsweise ergibt sich bei einer aus Druckmessungen geschätzten Hydraulikleistung von 1,5 kW für den geregelten Pflugversuch in Bild 1 eine durchschnittliche Motorauslastung von 97,6 %.

Die Auslastungswerte, die bei Verwendung einer festen Getriebeübersetzung ermittelt wurden, liegen im Vergleich zur Lastschalt-Strategie unerwartet hoch. Das hat vermutlich folgende Gründe:

- Bei der Auswahl der jeweiligen festen Übersetzung lag keinerlei Einschränkung hinsichtlich Gangstufen vor, so daß der Vorteil des stufenlosen Getriebes indirekt ausgenutzt wurde.
- Zufällig lag die gewählte konstante Übersetzung, vor allem für das Bergauf-Pflügen, sehr nah an der optimalen Übersetzung.

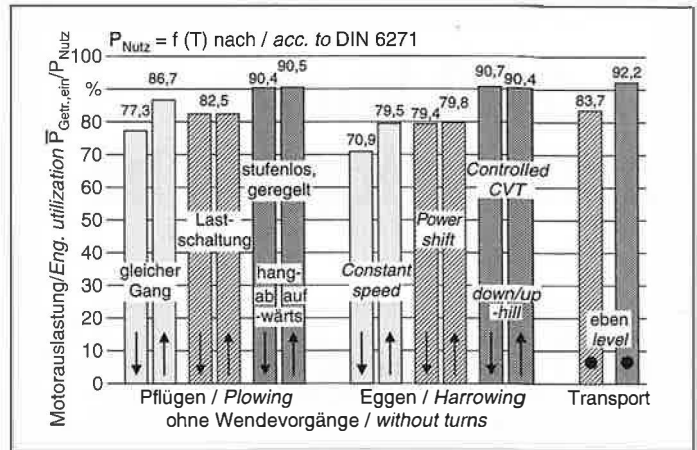


Bild 3: Vergleich der Motorauslastungen für drei Arbeiten und drei Fahrstrategien; Feldarbeiten ohne Wendevorgänge

Fig. 3: Comparing engine utilization during three different operations (plowing, harrowing, transport) using „one speed“, „power shift“ and „CVT“ strategy

c) Bei der Simulation der Lastschaltung lag keine der zehn zur Verfügung stehenden Übersetzungen (Stufensprung 1,18) in der Nähe des Optimums.

### Zusammenfassung

Das Potential eines geregelten stufenlosen Getriebes zur Steigerung der Motorauslastung von Traktoren wird durch Messungen in Feldversuchen nachgewiesen und an drei Beispielen für Zugarbeiten dargestellt. Es wird gezeigt, wie sich die Leistungsregelung in einer Konzentration der Motor-Betriebspunkte nahe an der Vollast-Drehmomentkennlinie auswirkt. Unter Einbeziehung einer geschätzten Nebenabtriebs-Leistung werden so längerandauernde Motorauslastungen über 97 % nachgewiesen.

### Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] Eimer, M.: Auslastung von Traktoren. Landtechnik 51 (1996), H. 1, S. 14/15
  - [2] • Kipp, J.-C.: Optimierung des Leistungsumsatzes von Traktoren durch den Einsatz elektronischer Hilfsmittel. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 14, Nr. 35, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987
  - [3] Jaufmann, A.: Traktormanagementsystem. Jahrbuch Agrartechnik 9, S. 85-90 u. 283/4, Landwirtschaftsverlag Münster, 1997
  - [4] • Kirste, T.: Entwicklung eines 30-kW-Forschungstraktors als Studie für lärmarme Gesamtkonzepte. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 14, Nr. 43, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989
  - [5] Vahlensieck, B.: Lastkollektive für ein leistungsgeregeltes stufenloses Traktor-Getriebe. VDI-Berichte 1297, S. 23-26, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996

### Schlüsselwörter

Stufenlose Getriebe, Traktor, Motorauslastung, Regelung

### Keywords

Continuously variable transmission, digital control, tractor, engine utilization