

Vergleich von lastschaltbarem mit stufenlosem Getriebe bei schwerer Zugarbeit

Das stufenlose Getriebe kann ständig und kontinuierlich die maximale Geschwindigkeit fahren. Erhöhter Leistungsbedarf reduziert die Geschwindigkeit, könnte aber auch durch erhöhte Kraftstoffgabe kompensiert werden.

Das Lastschaltgetriebe verliert den Nachteil der Stufung, wenn der Motor über einen weiten Bereich wechselnde Belastung ausgleicht. Die „Extra-Power“ und die Elastizität des Motors kompensieren mehr als eine Stufe im Getriebe.

Über den arbeitswirtschaftlichen Effekt hinaus hat ein stufenloses Getriebe Vorteile, wenn konstante Motordrehzahl für die Zapfwelle verlangt wird. Zudem kann der Motor im optimalen Betriebspunkt mit günstigem Verbrauch betrieben werden, während die Geschwindigkeit nur über das Getriebe angepasst wird.

Prof. Dr. Edmund Isensee leitet das Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Max-Eyth-Str. 6, 24118 Kiel. Dr. Michael Weißbach ist dort wissenschaftlicher Assistent und Jens Thiessen Diplomand.

Schlüsselwörter

Getriebevergleich, stufenloses Getriebe, lastschaltbares Stufengetriebe, Wirkungsgrad, Motorelastizität

Keywords

Comparing transmissions, vario transmissions powershift range transmissions, efficiency, engine elasticity

Moderne Traktorgetriebe sowie Antriebssysteme aus Motor und Getriebe regen dazu an, den Effekt im praktischen Einsatz zu ermitteln. Das breite Interesse am stufenlosen Getriebe, hier dem Vario von Fendt, gibt den äusseren Anlass.

Den stufenlosen Antrieben geht der Ruf voraus, einen schlechteren Wirkungsgrad zu haben. Dass dieses nicht sein muss, belegen Prüfstandsmessungen der DLG. Insgesamt bewegt sich der Wirkungsgrad von Getrieben zwischen 80 und 90 %. In dieser Spanne liegen stufenlose wie Lastschaltgetriebe.

Der praktische Einsatz soll zeigen, ob das eine System gegenüber dem anderen Vorzüge aufweist.

Vorgehensweise und Messgrößen

Zum Vergleich wurden zwei Traktoren gleicher Leistungsklasse genutzt: ein Fendt mit dem Vario-Getriebe und ein John Deere mit Power-Shift-Getriebe. Beide Maschinen hatten die praxisübliche Ausstattung und vergleichbare Reifen- und Radlastverteilung (Tab. 1). Beide Motorkennfelder, gemessen im Leistungszentrum Eggers, weichen nur gering voneinander ab.

Als Einsatzfläche wurde ein grosser Schlag gewählt, heterogen in Bodenart und Relief. Dadurch konnten Hangneigung als Einflussgrösse auf den Traktor und der Zugwiderstand als relevant für den Pflug wirken. Der 7-Schar-Pflug Vario Diamant von Lemken bietet die Möglichkeit, den Druck im Zylinder der Vorderfurchen-Verstellung zu messen. Er dient als Indikator für Änderungen der Zugkraft. Die Kalibrierung ergibt eine enge lineare Korrelation zur Zugkraft.

Als Varianten galten die Geschwindigkeit, Drehzahl und Grenzlast. Insgesamt liegt die Geschwindigkeit für das Pflügen auf hohem

Kenndaten	Fendt Vario 926	John Deere 8400 Powershift
Motorenennleistung [kW]	191	191
max. Leistung an der Zapfwelle [kW]	174	168
Achslast [kg]		
- vorn	4580	5340
- hinten	4460	5210
Gesamtmasse [kg]	9000	10560
Reifen		
- vorn	600/65R34	600/65R28
- hinten	650/65R42	710/70R38
Pflug	Lemken - Voldrehpflug 7 Schare, 3,15 m breit, 28 cm tief	

Tab. 1: Kenndaten der Maschinen

Table 1: Characteristics of the machines

Niveau. Ein weiteres Schar zu montieren, schied aus. Unter schwierigen Verhältnissen wäre der Schlupf zu hoch geworden.

Einfluss des Ackers

Die Heterogenität des Ackers veranschaulichen die Messwerte für Zugwiderstand (als Druck gemessen), Dieseldurchfluss und Schlupf für Varianten mit geringer und damit konstanter Geschwindigkeit am Traktorrad. Der Kurvenverlauf (Bild 1) zeigt deutliche Parallelen in der Reaktion auf den Zugkraftbedarf, der dem wechselnden Bodenwiderstand entspricht.

Dieses „Idealbild“ aber wird gestört, wenn die Ansprüche an die Zugleistung und -übertragung mit der Geschwindigkeit steigen (Bild 2). Dann wirken die Hangneigung und die mehr oder minder lockere Oberfläche des gegrubberten Ackers. Die Durchsicht aller Versuchsvarianten lässt erkennen, dass der Schlupf nur in 40 % der Fälle von Zugwiderstand beeinflusst wird.

Tab. 2: Geschwindigkeit mit dem Vario-Getriebe und daraus abgeleitet die des Schaltgetriebes auf der Versuchsstrecke

Table 2: Vario transmission speed and deduced from it the speed of power shift transmission on the test

Variante Grenzlast	Schlaglänge [m]	Mittlere Geschwindigkeit [m/s]		Differenz absolut %	
		Vario	Lastschalt		
Vario 5-25%	425	2,20	1,94	0,26	13,4
Vario 7-15%	422	2,20	1,94	0,26	13,4
Vario 9-5%	427	2,18	1,94	0,24	12,4
Vario 15-25	470	2,46	1,94	0,52	26,8
Vario 18-15	539	2,45	2,18	0,27	12,4
Vario 10-5	423	2,40	2,18	0,22	10,1
Vario 26-25	574	2,64	2,18	0,46	21,1
Vario 24-15	526	2,67	2,18	0,49	2,5
Vario 20-5	571	2,51	2,18	0,33	15,1

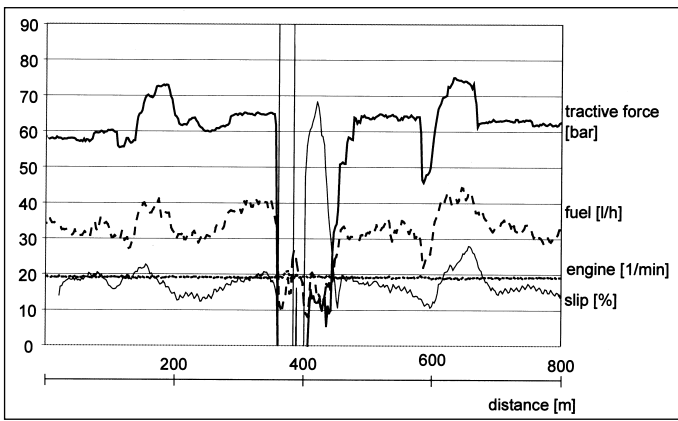


Bild 1: Zusammenhang von Zugkraft und Kraftstoff bei gleicher Geschwindigkeit (7,8 km/h)

Fig. 1: Traction force versus fuel consumption at constant speed (7.8 kph)

Einfluss der Geschwindigkeit

Der Vorteil, möglichst die höhere Geschwindigkeit zu fahren, wird von den komplexen Bedingungen auf dem Acker gedämpft. Die einzelnen Messungen sind danach ausgewertet:

- der Schlupf steigt um 2% je km/h
- die Zugkraft steigt um 10% je km/h
- der Rollwiderstand steigt um 15 bis 35% je km/h
- der Dieserverbrauch steigt um 20%

Vergleichende Ergebnisse

Der Vergleich trennt nach dem Effekt des stufenlosen Getriebes und dem des kompletten Antriebssystems aus Motor und Getriebe.

Effekt des Getriebes

Dem stufenlosen Getriebe wird ein gestuftes gegenüber gestellt, dessen Schaltstufen dem des Vergleichstraktors mit 0,25 m/s, also etwa 10% entsprechen.

Als Basis für den Vergleich gilt der Kurvenverlauf des Vario-Getriebes. Dahinein wird das Raster des Stufengetriebes gelegt

(Bild 3). Dieses Vorgehen erlaubt die direkte Gegenüberstellung ohne Störgrößen in einem Vergleichsversuch auf dem Acker.

Im Beispiel von Bild 3 löst nach 25 m der 8. Gang den 7. ab, auf dieser Strecke ist der Vario um 6% schneller. Damit ist die knappste Differenz genannt. Offen bleibt, inwieweit der Fahrer in der Praxis erkennt, wann er zu schalten hat. In der Realität käme der längere Abschnitt mit 16% höherer Geschwindigkeit zum Tragen.

In den Versuchen lag die Länge für eine denkbare Schaltstufe zwischen 15 und 160 m. Das Schalten lohnt erst ab 70 m, also je Schlaglänge ein bis drei mal. Der wenig engagierte Fahrer pflügt mit der niedrigsten Geschwindigkeit. Dann erhöht sich der Effekt des Vario-Getriebes beachtlich (Tab. 2).

Regelung des Motors

Der bisherige Vergleich beruhte auf dem starren Prinzip eines Schaltgetriebes. Tatsächlich aber ist die Reaktion des Motors einzubeziehen:

- die Drehzahl geht zurück, je nach Drehmomentverlauf
- die Einspritzpumpe erhöht die Kraftstoffmenge, so dass der Motor mehr leistet.

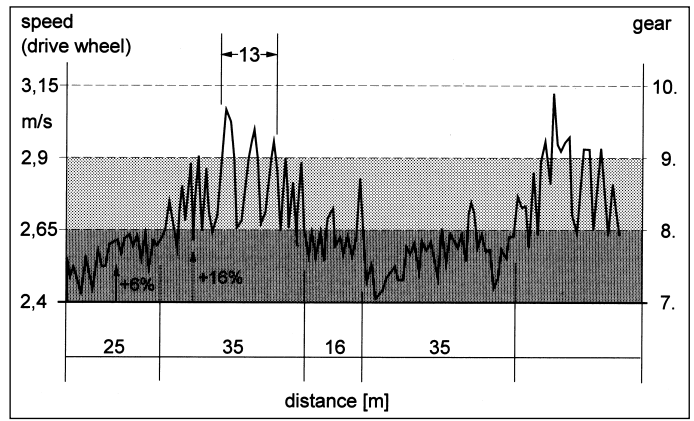


Bild 3: Geschwindigkeit des stufenlosen Getriebes und Zuordnung des Lastschaltgetriebes

Fig. 3: Vario transmission speed and allocation of the power shift transmission

Der John-Deere Traktor kann damit erhöhten Zugkraftanspruch überwinden. Danach steigt die Zugkraft um 15%, der Durchfluss an Kraftstoff aber deutlich bis 30%.

Schalten des Getriebes

In Konkurrenz zum stufenlosen Getriebe steht, dass der Fahrer engagiert die Schaltung betätigt. Aus Bild 4 wird ersichtlich, dass der Fahrer dies auch für kurze Abschnitte getan hat: auf 180 m also 12 mal nach 15 bis 75 m.

Der Kurvenverlauf weist nicht ausgeprägte Getriebesprünge auf. Denn die Motordrehzahl wird von +/- 2000 min⁻¹ um 300 bis 500 min⁻¹ gedrückt. In der Praxis würde der Fahrer im 8. Gang (2,65 m/s) als Basis fahren; den höheren Anspruch an die Zugleistung gleicht die Motorregelung aus. Und für die beiden längeren Abschnitte lohnt der schnellere Gang. Also gleicht die Motorregelung mindestens den Stufensprung aus. Dieser Vorteil von 13% für das Vario-Getriebe (Tab. 2) entfällt also völlig und gegenüber der Differenz aus zwei Schaltstufen beträgt die Differenz nur 5 bis 7%.

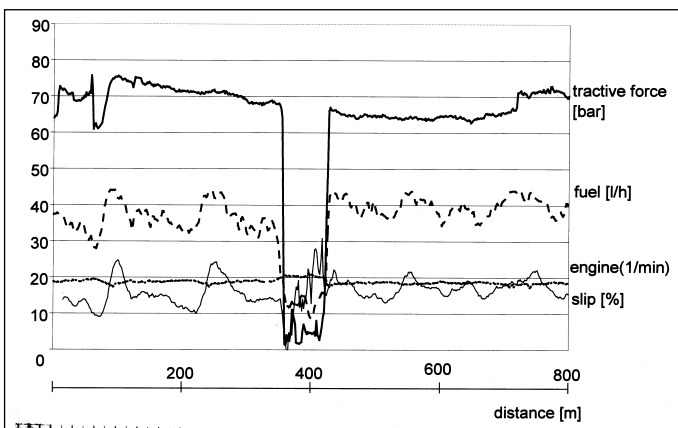


Bild 2: Zusammenhang von Zugkraft, Kraftstoff und Schlupf bei konstanter Motordrehzahl und Geschwindigkeit (8,1 km/h)

Fig. 2: Traction force versus fuel consumption and slip at constant engine rpm and speed (8.1 kph)

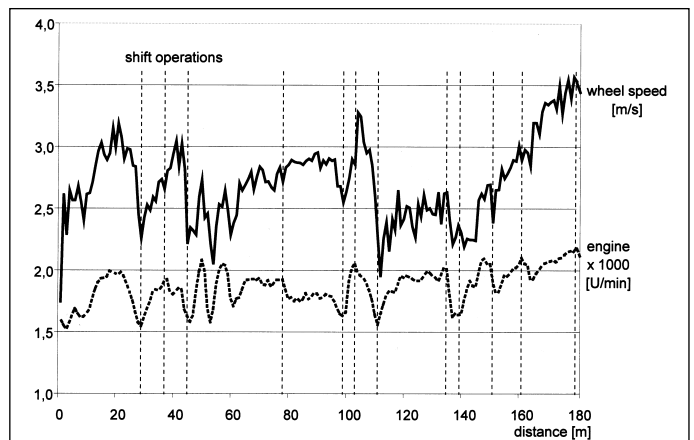


Bild 4: Schaltvorgänge und Geschwindigkeit beim Pflügen (John Deere 8400)

Fig. 4: Shift operations and speed during ploughing