

Jörg Seeger, Braunschweig

# Pflügen mit elektronischem Motorregler und stufenlosem Getriebe

## Steigerung der Flächenleistung durch Veränderung des Drehmomentanstiegs

Beim Pflügen wird in der Regel eine Maximierung der Flächenleistung angestrebt. Um dies zu erreichen sollte die Traktor-Pflug-Kombination optimal aufeinander abgestimmt sein. In jedem Fall muss aber vom Traktormotor die maximale Leistung abgefordert werden. Beim Einsatz eines stufenlosen Getriebes kann der heute übliche, sich über einen weiten Drehzahlbereich erstreckende Drehmomentanstieg auf einen kleinen Drehzahlbereich reduziert werden. Hierdurch wird die Motorleistung vergrößert, wodurch beim Pflügen die Flächenleistung gesteigert werden kann.

Dipl.-Ing. Jörg Seeger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: jl@tu-bs.de. Das Forschungsprojekt „Traktormanagementsystem“ wird finanziell von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.

### Schlüsselwörter

Stufenloses Getriebe, elektronischer Motorregler, Drehmomentcharakteristik

### Keywords

Continuously variable transmission, electronic engine controller, torque characteristics

Die maximale Motorleistung ist ein entscheidendes Kriterium für die Flächenleistung beim Pflügen. Am Beispiel eines simulierten Lastkollektivs wird die Flächenleistung einer Traktor-Pflug-Kombination mit drei unterschiedlichen Motorkennfeldern untersucht. Dabei wird bewusst auf die Optimierung der Traktor-Pflug-Kombination verzichtet. Bei den hier angenommenen wechselnden Boden- und Steigungsverhältnissen müssten die Arbeitsbreite des Pfluges und das Traktorgewicht sich in jedem Punkt des Lastkollektivs ändern, um optimale Traktionsverhältnisse zu erzielen.

### Lastkollektiv

Um möglichst große Lastschwankungen zu erzeugen, wurde als Lastkollektiv das Pflügen in einem hügeligen Gelände mit wechselndem Boden ausgewählt. Die Kräfte des Lastkollektivs werden über ein Simulationsmodell berechnet, welches folgende Einflussgrößen berücksichtigt: Arbeitsbreite, -tiefe und -geschwindigkeit des Pfluges, Bodenart (lehmiger Sand, sandiger Lehm und toniger Lehm), Steigungs- und Rollwiderstände, statische Achslast, Traktor- und Pflugmasse, Reifenkennlinie und Schlupf.

Die Beschaffenheit des „Feldes“ und der Bodenart sind in Bild 1 dargestellt. Das Feld besitzt einen sinusförmigen Hügel mit einer Hügellänge von 600 m und einer Hügelhöhe von 25 m. Die maximale Steigung beträgt dabei 13,9%. Gleichzeitig ist in Bild 1 die

wegabhängige Verteilung der Bodenart dargestellt. Auf den ersten 100 m liegt zu 100% sandiger Lehm vor. Innerhalb von 50 m wechselt die Bodenart dann zu tonigem Lehm, so dass sich der Pflugwiderstand erhöht. Durch die bodenbedingte Erhöhung des Pflugwiderstandes und die gleichzeitig auftretende Steigung treten sehr große Lastschwankungen am Antriebsstrang auf. Ab 250 m geht die Bodenart innerhalb von 50 m wieder in sandigen Lehm über.

### Motorkennfelder

In Bild 2 sind die untersuchten Motorkennfelder anhand der Drehmoment- und Leistungsverläufe dargestellt.

Die Leistungskurve 1 hat einen großen Konstantleistungsbereich von 90 kW. Erreicht wird dies durch einen kontinuierlichen Drehmomentanstieg von 2200 hinunter bis 1700  $\text{min}^{-1}$ . Dieser relativ hohe und sich über einen großen Drehzahlbereich erstreckende Drehmomentverlauf ist bei heutigen Traktormotoren üblich [1]. Meistens liegt der Punkt des höchsten Drehmoments sogar bei noch niedrigeren Drehzahlen. Traktoren mit Schaltgetrieben haben dadurch ein großes Durchzugsvermögen. Bei einem Lastanstieg kann der jeweilige Gang beibehalten werden und solange sich der Motor im Konstantleistungsbereich befindet, wird immer noch die Maximalleistung abgegeben. Die Gefahr des Abwürgens ist relativ gering, da der Fahrer bis zum Erreichen des Maximalmoments bei

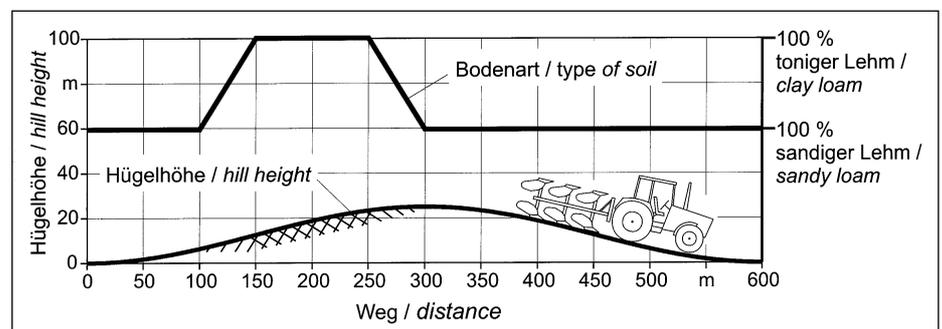


Bild 1: Bodenkontur und -art des simulierten „Feldes“  
Fig. 1: Soil contour and soil type of the simulated „field“

Kennfeld	max. Motorleistung		Flächenleistung		Flächenverbrauch	
	[kW]	[%]	[ha/h]	[%]	[l/ha]	[%]
1	90	100,0	1,175	100,0	20,17	100,0
2	98	108,9	1,254	106,7	20,89	103,6
3	107	118,9	1,310	111,5	22,48	111,4

Tab. 1: Versuchsergebnisse

Table 1: Test results

relativ niedriger Drehzahl sehr viel Zeit zum Reagieren hat und zusätzlich noch durch das sich ändernde Motorgeräusch akustisch „gewarnt“ wird.

Bei den Drehmomentkurven 2 und 3 hingegen würde der Fahrer ein Ansteigen der Last durch den geringen Drehzahlabfall des Motors kaum wahrnehmen. Beim Erreichen des maximalen Drehmoments würde er dann aber den Motor sehr schnell abwürgen. Aus diesem Grunde sind Drehmomentverläufe bei einem kurzen und steilen Anstieg bei Traktormotoren nicht zu finden. Sie wären aber besonders vorteilhaft bei Zapfwellenarbeiten oder selbstfahrenden Erntemaschinen einzusetzen, um große Drehzahlschwankungen der Arbeitsorgane zu vermeiden.

Stufenlose Getriebe hingegen, die in ein Antriebsstrangmanagement integriert sind, benötigen keinen Drehmomentanstieg über einen großen Drehzahlbereich. Durch die automatische Regelung der Übersetzung ist die Drehzahl des Dieselmotors auch bei großen Lastschwankungen in einem relativ engen Bereich konstant zu halten [2].

Das maximale Drehmoment ist wesentlich für die Dimensionierung des Motors und des Getriebes. Will man die Leistung eines Dieselmotors bei konstantem Moment erhöhen, bleibt nur die Möglichkeit, das Moment im oberen Drehzahlbereich anzuheben, wie es die Kurven 2 und 3 veranschaulichen. Die Maximalleistung der Kurve 3 liegt bei 107 kW und ist damit um 18,9 % höher als die Leistung von 90 kW der Kurve 1 bei gleichem Maximalmoment.

### Versuchsdurchführung und Ergebnisse

In den Versuchsreihen wurde jeweils mit dem gleichen beschriebenen Lastkollektiv der Triebstrang des Getriebes belastet und das Motorkennfeld nach Bild 2 verändert.

Das Simulationsmodell berechnet die Widerstandskräfte des Pfluges und die Traktionskräfte des Traktors in Abhängigkeit der oben erwähnten Parameter. Der Motor wird in allen Versuchen mit Vollgas gefahren. Die Regelung des stufenlosen Getriebes erfolgt allerdings so, dass der Motor immer auf der Volllastkennlinie in Drückung gehalten wird, je nach Motorkennlinie in dem Drehzahlbereich, in dem die Leistung maximal ist. Beim Kennfeld 1 wurde der Motor bei 1800 min<sup>-1</sup> gehalten, da hier der Kraftstoffverbrauch geringer ist als bei höherer Drehzahl.

Um die für den Landwirt wichtigsten Daten, die Flächenleistung in ha/h und den Flächenverbrauch in l/ha zu bestimmen, werden die Zeit, in der die Teststrecke von 600 m zurückgelegt wird, und der dabei verbrauchte Kraftstoff gemessen.

Die Tabelle 1 zeigt die absoluten Ergebnisse und die auf die Versuche mit dem Kennfeld 1 normierten Daten. Durch die 8,9% höhere Maximalleistung konnte die Flächenleistung beim Kennfeld 2 um 6,7% gegenüber dem Kennfeld 1 gesteigert werden. Gleichzeitig steigt jedoch der Flächenverbrauch um 3,6% an. Das Kennfeld 3 kommt mit 18,9% höherer Leistung auf eine Steigerung der Flächenleistung von 11,5% bei gleichzeitiger Verbrauchssteigerung von 11,5%.

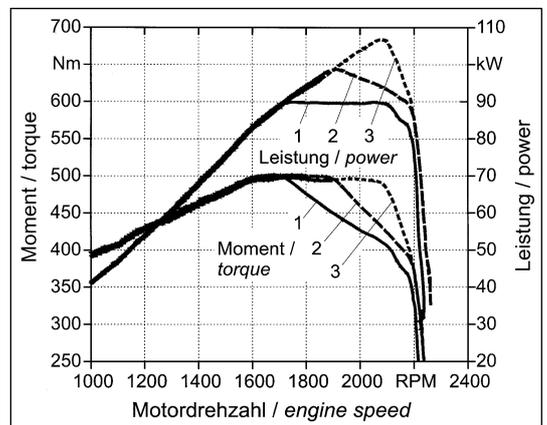
Die Steigerung der Flächenleistung ist natürlich auf die höhere, verfügbare Motorleistung zurückzuführen. Das die Flächenleistung nicht in dem Maße ansteigt wie die Motorleistung ist wie folgt zu erklären:

Die höhere Motorleistung kann nur über eine höhere Fahrgeschwindigkeit erbracht werden, da alle anderen Parameter, insbesondere die Arbeitsbreite des Pfluges, konstant gehalten werden. Die höhere Fahrgeschwindigkeit hat jedoch zur Folge, dass sich der spezifische Pflugwiderstand erhöht. Bei gleichem Lastkollektiv ist also die wirkliche Last oder die aufzubringende Zugkraft bei den Kennfeldern 2 und 3 höher, so dass ein Teil der Mehrleistung des Motors wieder verloren geht. Außerdem kann die höhere Zugkraft bei gleicher Reifenkennlinie nur durch einen höheren Schlupf erreicht werden, was ebenfalls zur Verminderung der Mehrleistung beiträgt. Ein weiterer Grund ist, dass die Maximalleistung bei den Kennfeldern 2 und 3 nur in einem sehr kleinen Drehzahlbereich vom Motor abgegeben wird. Dieser lässt sich auch durch die Regelung des stufenlosen Getriebes nicht exakt einhalten.

Die flächenbezogenen Kraftstoffverbräuche steigen bei dem Kennfeld 2 geringfügig und beim Kennfeld 3 erheblich gegenüber dem Kennfeld 1 an. Zum einen hängen die höheren Verbräuche mit den höheren erbrachten Leistungen infolge der höheren

Bild 2: Untersuchte Motorkennfelder

Fig. 2: Examined engine performance maps



Pflugwiderstände zusammen, zum anderen liegen die Motorbetriebspunkte bei höheren Drehzahlen, bei denen der spezifische Kraftstoffverbrauch des Motors stark ansteigt.

### Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche zeigen, dass sich durch den Einsatz eines stufenlos geregelten Getriebes und eines elektronisch geregelten Motors die Flächenleistung einer Traktor-Pflug-Kombination erheblich steigern lässt. In zeitkritischen Situationen wird mit dem Kennfeld 3 eine wesentlich höhere Flächenleistung erzielt, dabei jedoch auch ein höherer Kraftstoffverbrauch in Kauf genommen. Wird Wert auf einen geringen Verbrauch gelegt, ist Kennfeld 1 zu empfehlen. Einen Kompromiss stellt Kennfeld 2 dar. Aus ökonomischer Betrachtung ist aber gerade bei schweren Zugarbeiten eine Maximierung der Flächenleistung anzustreben, da der Dieselverbrauch auf der Kostenseite nicht so stark ins Gewicht fällt wie die zeitlichen Einsparungen.

Da am Versuchsstand ein Motor mit einer wesentlich höheren Maximalleistung eingesetzt wurde, war es kein Problem das Maximalmoment von 500 Nm von 1600 bis 2050 min<sup>-1</sup> konstant zu halten. Ob dieser Bereich in der Praxis motorentechnisch ausgedehnt werden kann, muss die Motorenindustrie beantworten.

Der Beitrag möchte auch die Traktoren-, Motoren-, und Getriebeindustrie anregen, zukünftige Anforderungen an Traktormotoren zu diskutieren, insbesondere bei dem sich abzeichnenden Trend der zunehmenden Verbreitung stufenloser Getriebe in der Landwirtschaft.

### Literatur

- [1] Lober, M. und R. Lenge: Schleppermotor: Auf den „Charakter“ kommt es an. top agrar 27 (1998), H. 4, S. 126-131
- [2] Brunotte, D. und J. Seeger: Kommunikation von Motor und Getriebe über CAN-Bus. Agrartechnische Forschung 5 (1999), H. 1, S. 54 - 67