

Alexander Jaufmann, Braunschweig

Optimierungsstrategien für ein Traktormanagement

Die bisherigen Entwicklungen auf dem Gebiet der Traktortechnik zeigen, daß die Elektronik sehr weit in Traktoren integriert ist, so daß sich der Schritt zur Realisierung eines Traktormanagements anbietet. Der nötige Datentransfer zwischen den Steuergeräten des Traktors und der Geräte ist mit dem CAN-Bus-System und LBS gewährleistet. Aber es fehlen die gemeinsamen Regelungsstrategien von elektronisch gesteuerten Teilsystemen innerhalb des Gesamtsystems, die die Realisierung von Optimierungsstrategien für ein Traktormanagement ermöglichen.

Um den Traktoreinsatz zu verbessern, sind in den letzten Jahren seitens der Forschung und Industrie erhebliche Anstrengungen für die Verbesserung von Arbeitseffektivität, Komfort und Umweltfreundlichkeit bei Traktoren unternommen worden. Die entscheidende Bedeutung bei dieser Entwicklung nimmt der Einsatz von elektronisch geregelter Dieselmotor, Getriebe, Hydraulik und Gerät ein. Um alle Teilsysteme in optimalen Betriebspunkten arbeiten zu lassen, ist ein Gesamtmanagementsystem erforderlich. Die intelligente Verknüpfung der Teilsysteme ist das Ziel des Traktormanagementsystems, das eine Optimierung des Gesamtsystems Traktor-Gerät ermöglicht.

Anforderungen an das Gesamtsystem

Die Anforderungen an das Gesamtsystem Fahrer, Traktor, Gerät und Boden haben sich in den vergangenen Jahren immer weiter erhöht [1]. Um den Traktoreinsatz zu verbessern, müssen beispielsweise moderne Traktoren neben einer hohen Arbeitsleistung und -güte auch geringere Betriebskosten haben. Gleichfalls müssen bei hohem Bedienkomfort und hoher Zuverlässigkeit die Anschaffungskosten niedrig gehalten werden. Bei der Erfüllung dieser Anforderungen spielen einerseits die bekannten, teils gegensätzlichen Faktoren eine wesentliche Rolle. Andererseits stellt die Vielfältigkeit des Traktoreinsatzes auch sehr unterschiedliche, arbeitsver-

fahrenspezifische Anforderungen an den Traktor und das jeweilige Arbeitsgerät [2]. In der *Tabelle 1* sind die wichtigsten Anforderungen an die gebräuchlichsten landwirtschaftlichen Einsätze zusammengefaßt. Unter Berücksichtigung der Erfüllung der spezifischen Anforderungen an den Traktoreinsatz können nun angepaßte Steuerungs- und Regelungsstrategien für die Teilsysteme am Traktor und am Arbeitsgerät gewählt werden. Die bessere Erfüllung der meisten Anforderungen ist möglich, wenn das Gesamtsystem bei allen Einsatzfällen im optimalen Betriebszustand läuft.

Regelungsstrategien des Managements von Teilsystemen

Durch ein Traktormanagement ergeben sich verschiedene Anforderungen an Motor, Getriebe, Fahrwerk und Hubwerk sowie deren Steuergeräte.

In elektronischen Steuergeräten können die Regelungsstrategien offline oder online über vorhandene Schnittstellen aktiviert werden [3].

Für die elektronische Motorregelung (EMR) sind folgende Regelungsstrategien vorhanden [3]: Leerlaufdrehzahlregelung, Zwischendrehzahlregelung, Drehzahlbegrenzung, Geschwindigkeitsregelung, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbegrenzung.

Darüber hinaus bietet EMR eine Regelung über umschaltbare Motorkennfelder, je nach Einsatzfall zum Beispiel wählbare Drehmoment-/Leistungsbegrenzung und somit Leistungssteuerung. Damit ist in Verbindung der EMR mit einer elektronischen Getrieberegulierung (EGR) automatischer Sparbetrieb oder automatischer Volleleistungsbetrieb realisierbar.

Die EGR der voll lastschaltbaren Getriebe bietet folgende Automatisierungsmöglichkeiten an:

- Gangschaltung durch Betätigung eines Bedienhebels
- Gangvorwahl, bei der ein beliebiger Gang vorgewählt und dann automatisch geschaltet wird
- Automatische Ganganpassung und Umschaltung
- Programmierbare Schaltungsvorgänge
- Automatischer Spar- und Volleleistungsbetrieb nur in Verbindung mit EMR

Bei den leistungsverzweigten hydrostatisch-mechanischen stufenlosen Getrieben läßt die EGR weitere vier Automatisierungsstrategien zu [4].

Im Steuergerät der EHR-C sind folgende Regelungsstrategien implementiert [5]:

Tab. 1: Anforderungen an landwirtschaftliche Arbeitsverfahren

Table 1: Requirements of agricultural work processes

Art der Arbeit	hohe Flächenleistung	geringer/begrenzter Schlupf	gleichmäßige Arbeitstiefe	geringe Bodenverdichtung	konstante Zapfwelldrehzahl	konst./angep. Arbeitsgeschw.	konstante Arbeitsbreite	konst. Lage des Gerätes	konst./od. teilflächenspezifische Ausbringung pro Hektar	gleichm. oder teilflächenspezifische Aussaatmenge	zeitsparende Handhabung	einfache Handhabung	geringer Verbrauch	geringer Auflagedruck	maximaler Durchsatz	konstante Ballendichte	konstantes Zapfwelldrehmoment	Überlastschutz	Reversierbarkeit	Tempomatfunktion, Geschwindigkeitsbegrenzung	hoher Fahrkomfort	Fahrsicherheit	hohe Transportleistung	geringe Schwingungen
Pflügen	X	X	X	X								X												
Grubbern	X	X	X	X																				
Schwere Zapfwellenarbeit (z.B. Fräsen)	X			X	X	X						X												
Düngerstreuer		X	X	X	X	X	X	X	X															
Flüssigmist ausbringen		X	X	X	X				X															
Saat			X	X	X					X	X	X												
Pflanzenschutz		X		X	X			X	X			X	X											
Pflege (mechanisch)				X	X							X												
Mähen	X			X	X							X	X									X		
Pressen				X											X	X	X	X						
Laden, Häckseln				X				X				X			X		X	X						
Rüben- und Kartoffel-Vollernte		X	X	X				X				X		X										
Transporte												X	X							X	X	X	X	X
Frontladen												X	X						X	X	X	X	X	X

Dr.-Ing. Alexander Jaufmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig (Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms).

Tab. 2: Optimierungsstrategien für ein Traktormanagementsystem

Table 2: Optimization strategies for a tractor management system

Art der Arbeit	Optimierungsziel	Zeiteinsparung					Betriebsmitteleinsparung					Bodenschonung					
		Motor Steuer.	Getr. Steuer.	Triebstr.- Steuer.	Hub.u. Fahrw.- Steuer.	Geräte- Steuer.	Motor- Steuer.	Getr. Steuer.	Triebstr.- Steuer.	Hub.u. Fahrw.- Steuer.	Geräte- Steuer.	Motor Steuer.	Getr. Steuer.	Triebstr. Steuer.	Hub.- u. Fahrw.- Steuer.	Geräte- Steuer.	
Bodenbearbeitung	Pflügen	1	1	13+16+17	5 od. 9		2	2	13+16+17	5					16 + 17	6	
	Grubbern	1	1	16 + 17	5		2	2	16 + 17	5					16 + 17	6	
	Eggen	1	1	16 + 17			2	2	16 + 17						16 + 17	6	
	Saatbettkombinal.	1 od. 3	1	13+16+17		8	2 + 3	2	13+16+17		8				13+16+17	6	8
	Zapfwellengeräte	1 + 3	1	13 + 17			2 + 3	2	13 + 17						13 + 17	6	
Düngung	Stallmiststreuen	1 + 3	1	7+16+17		8	2 + 3	2	7+16+17		8	3 + 15	4 + 15	7+16+17		8	
	Düngerstreuen	1 + 3	1	7 + 17	9	8	2 + 3	2	7 + 17	9	8	3 + 15	4 + 15	7 + 17	9	8	
	Flüssigmist ausbr.	1 + 3	1	7+16+17		8	2 + 3	2	7+16+17		8	3 + 15	4 + 15	7+16+17		8	
Säen, Pflanzen	Drillen	1 od. 3	1	17		8	2 + 3	2	17		8	15	15	17		8	
	Einzelkornsaat						2 + 3	2+4	13 + 17		8	3 + 15	4 + 15	13 + 17		8	
Pflege	Kartoffeln legen						2	2	17		8	15	15	17		8	
	Spritzen	1	1	7 + 17	9	8	2	2	7 + 17	9	8	15	15	7 + 17	9	8	
	Futterbau	Schleppen, Eggen	1	1	17		2	2	17			15	15	17	6		
	Getreide	Walzen	1	1	17		2	2	17			15	15	17			
		Hacken, Striegeln	1	1	17		2	2	17			15	15	17			
	Kartoffeln Rüben	Hacken	1	1	17		2	2	17			15	15	17			
		Häufeln	1	1	17		2	2	17			15	15	17			
		Schlepp., Strieg.	1	1	17		2	2	17			15	15	17			
	Ernte	Mähen	1 + 3	1	13 + 17	10		2 + 3	2	13 + 17		3	15	13 + 17	10		
		Zeiten	1 + 3	1	17			2 + 3	2	17		3	15	17			
Schwaden		1 + 3	1	17			2 + 3	2	17		3	15	17				
Laden m. Ladew.		1	1	7 + 17		13	2	2	7 + 17		13	15	15	7 + 17		13	
Pressen		1 + 3	1	17			2 + 3	2	17		3	15	17				
Häckseln		1 + 3	1 + 12	17		13	2 + 3	2 + 12	17		13	3	15	17		13	
Kartoffeln		Vollernten	1 + 3	1	16 + 17		13	2 + 3	2	16 + 17		13	3	15	16 + 17		13
Rüben	Vollernten	1 + 3	1	7+16+17		13	2 + 3	2	7+16+17		13	3	15	7+16+17		13	
	Frontladen	1	1	16 + 17		13	2	2	16 + 17		13						
	Teerstraße	1	1 od. 4	17	11 + 14		2	2 od. 4	17	11 + 14							
Transporte Leerfahrten	Feldwege	1	1 od. 4	17	11 + 14		2	2 od. 4	17	11 + 14							
	Stoppelacker	1	1	7 + 17	11 + 14		2	2	17 + 7	11 + 14		15	15	7 + 17	11 + 14		

- 1 – max. Leistung,
- 2 – min. Kraftstoffverbrauch,
- 3 – konst. Drehzahl,
- 4 – konst. Geschwindigkeit,
- 5 – konst. Zugkraft,
- 6 – Schlupfbegrenzung,
- 7 – Reifendruckregelung,
- 8 – konst./teilflächensp. Ausbringmenge,
- 9 – konst. Geräteposition,
- 10 – min. Auflagedruck,
- 11 – Achsfederung,
- 12 – Zapfwellenmoment
- 13 – Einhebelbedienung,
- 14 – Schwingungstilgung,
- 15 – Drehmomentanpassung,
- 16 – stufenlos gereg. Allradantrieb,
- 17 – Differentialsperre, Allrad- und Zapfwellen-schaltung

Kraft- und Lageregelung, Schlupfregelung und -begrenzung, Schwingungsdämpfung, externe Tastregelung und Druckregelung. Es besteht auch die Möglichkeit, mit der EHR-C zu wiegen.

Regelungs- und Optimierungsstrategien des Gesamtmanagementsystems

Die Erfüllung der speziellen Anforderungen bei jedem Traktoreinsatz (Tab. 1) ist mit entsprechend angepaßten Steuerungs- und Regelungsstrategien für die Teilsysteme am Traktor und am Arbeitsgerät zu erreichen. Die Priorität der einen oder anderen Regelungsstrategie wird von der übergeordneten Optimierungsstrategie des Gesamtsystems (Tab. 2) bestimmt: Zeiteinsparung, Betriebsmitteleinsparung, Bodenschonung oder einer Kombination dieser Strategien.

In Tabelle 2 ist die Zuordnung und Ausführung der Regelungs- und Steuerungsmöglichkeiten für häufige Traktor-Geräteinsätze dargestellt, die auf den bereits vorgestellten Regelungsstrategien für Motor, Getriebe, Hubwerk und Fahrwerk sowie Triebstrang und Gerät basieren [3,4,5,6]. Bei Einsatz des Gesamtmanagementsystems sind diese Steuerungs- und Regelungsstrategien realisierbar:

1. Maximale Leistung. Bei dieser Strategie werden Motor und Getriebe so geregelt, daß der Traktor an der Leistungsgrenze arbeitet.
2. Minimaler Kraftstoffverbrauch. EMR und EGR zwingen den Motor, bei niedrigem Kraftstoffverbrauch zu arbeiten.
3. Konstante Motor-Zapfwelldrehzahl. In der EMR wird das entsprechende

Kennfeld aktiviert, so daß die Motor- und Zapfwelldrehzahl auch bei Lastschwankungen konstant sind.

4. Konstante Fahrgeschwindigkeit, die durch EMR und EGR auch bei wechselnden Schlupfverhältnissen konstant bleibt.

5. Konstante Zugkraft, die durch die EHR-C und EGR oder EMR bei wechselnden Belastungen erreicht wird.

6. Schlupfbegrenzung. Die Einhaltung des Grenzwertes kann über EHR-C, Reifendruckanpassung oder Einschaltungen von Allradantrieb und Differentialsperre erfolgen.

7. Reifendruckregelung. Durch Wägezellen, beispielsweise an den Achsen eines Vollernters, wird der aktuelle Ist-Wert zur Einstellung des optimalen Reifendruckes übermittelt.

8. Konstante oder teilflächenspezifische Ausbringmenge. Die Ausbringmenge wird mit elektronisch gesteuerten Geräten proportional zur tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit angepaßt. Weiterhin ist es möglich, über GPS das Gerät anzusteuern und die Ausbringmenge teilflächenspezifisch zu regeln [7].

9. Konstante Geräteposition. Mit einem Positionssensor und EHR-C wird die relative Lage des Anbaugerätes zum Boden konstant gehalten [8].

10. Minimaler/konstanter Auflagedruck durch Lage- oder Druckregelung des Hubzylinders.

11. Achsfederung, die automatisch in Abhängigkeit von einer vorgewählten Fahrgeschwindigkeit aktiviert wird.

12. Konstantes Zapfwellenmoment, das durch die EMR und EGR erreicht

wird. Dies erlaubt etwa bei abnehmender Schwad- oder Bestandsdichte durch die Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit einen konstanten Durchsatz.

13. Einhebelbedienung, die mehrere Handgriffe des Fahrers auf einen Bedienebel legt [6].

14. Schwingungstilgung, die mit der EHR-C erreicht wird.

15. Drehmomentanpassung, die sich an den Schlupfgrenzwerten orientiert und mit der EMR oder EGR erreicht wird.

16. Stufenlos geregelter Allradantrieb, der die Drehmomentverteilung nach entsprechenden Achslasten und Antriebsmomentenerfordernissen ermöglicht [10].

17. Differentialsperre, Allrad- und Zapfwellenschaltung, die automatisch an- oder abgeschaltet werden [6,9].

Um die Fülle von Regelungsmöglichkeiten weitgehend einzugrenzen und eine verwertbare Zusammenstellung zu erhalten, sind nur solche berücksichtigt worden, die arbeitstechnisch sinnvoll erscheinen und in die Praxis umgesetzt werden können. Eine praxisgerechte Abstimmung dieser Strategien ist in realen Versuchen möglich.

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 97 127 erhältlich.

Schlüsselwörter

Traktormanagement, Regelungsstrategie, Optimierungsstrategien

Keywords

Tractor management, control strategy, optimization strategies