

Hans-Heinrich Harms

Potenziale integrierter Motor- und Getriebesteuerungen

Die Landwirtschaft setzt weltweit immer mehr Technik ein und wird dies in Zukunft noch mehr tun. Die Knappheit der Ressourcen macht es notwendig, noch mehr über die optimale Ausnutzung der Energiereserven nachzudenken. Wichtige Einsparmöglichkeiten in der Landtechnik bietet die Optimierung des Zusammenspiels von Motor und Getriebe. Die Potenziale dieses Lösungsansatzes werden im Folgenden vorgestellt. Dabei werden auch zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten dargestellt und die Chancen des Einsatzes elektrischer Antriebe beleuchtet.

Schlüsselwörter

Mobile Arbeitsmaschinen, Motor- und Getriebemanagement, drehzahlvariable Zapfwelle

Keywords

Mobile working machines, embedded engine- and transmission-management, variable PTO-drive

Abstract

Harms, Hans-Heinrich

Potentials of embedded engine- and transmission-controls

Landtechnik 65 (2010), no. 3, pp. 164-166, 2 figures, 5 references

The situation of agriculture worldwide requires the use of more agricultural engineering technologies. The shortage of resources leads to systems which decrease wasting energy. One important point is the optimization of an embedded engine- and transmission-management system for mobile working machines. In the following the potential of these systems and possible cost savings are explained and future developments of electrical drive-systems are discussed.

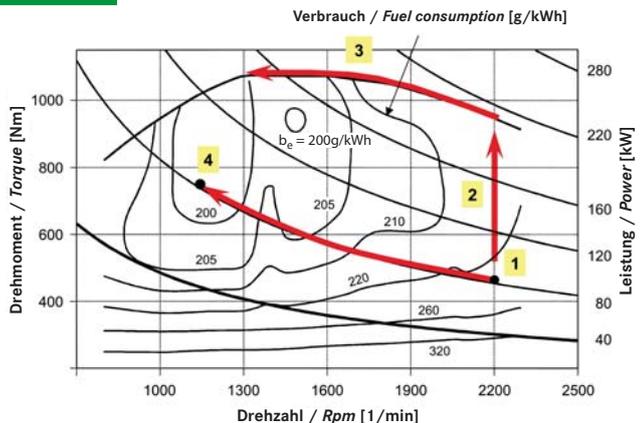
■ Die Weltbevölkerung wird in den nächsten 40 Jahren um etwa 50 % auf rund 9,2 Mrd. Menschen zunehmen und gleichzeitig wird die pro Kopf zur Verfügung stehende landwirtschaftlich nutzbare Fläche um etwa 65 % sinken [1]. Deswegen muss der Ertrag pro Flächeneinheit in den nächsten 20 Jahren weltweit um 50 % steigen. Hierfür kommen nur professionell eingesetzte Maschinen in Frage, die zugleich immer größer werden müssen, damit die Produkte kostengünstig und mit einem möglichst geringen Energieaufwand hergestellt werden.

Zusammenspiel von Motor und Getriebe

Die maximale Arbeitsgeschwindigkeit einer Landmaschine ist bestimmt durch ein Zusammenspiel der Anforderungen des zu verarbeitenden Gutes, der Fahrgeschwindigkeit und der bauartbedingten Leistungsfähigkeit des Gerätes. Dies bedeutet, dass die Kombination dieser Größen die Grenze festlegt, oberhalb derer die Maschine nicht optimal arbeiten kann. Die Forderung nach immer höheren Arbeitsgeschwindigkeiten führt dazu, dass in der Regel mit maximaler Geschwindigkeit gefahren wird. Der jeweilige Arbeitsprozess stellt somit eine Drehzahl- und Drehmomentanforderung, die der Dieselmotor zu liefern hat. Kann der Motor bei entsprechender Drehzahl das nötige Drehmoment bereitstellen, so läuft der Prozess wie gewünscht ab. Kann der Dieselmotor das Drehmoment nicht bereitstellen, so sinkt zwangsläufig die Arbeitsgeschwindigkeit, da die Leistungsanforderung zu groß ist.

Im Motorkennfeld (**Abbildung 1**) bedeutet dies, dass der Betriebspunkt (1) zuerst drehzahlfest aufsteigt (2) bis das maximale Drehmoment erreicht ist. Steigt das Moment weiter, dann sinkt entsprechend die Drehzahl (3). Die Fahrgeschwindigkeit fällt ab und damit reduziert sich das maximal mögliche Drehmoment. Vergleicht man unter diesem Aspekt ein herkömmliches Stufengetriebe mit einem stufenlosen Getriebe, so kann bei dem letztgenannten die Motordrehzahl festgesetzt und trotzdem die Fahrgeschwindigkeit verringert werden. Bezogen auf das Motordiagramm folgt, dass die Drehzahl des ursprüng-

Abb. 1



Motorkennfeld (Muschediagramm) eines Dieselmotors [2]

Fig. 1: Engine characteristics (Muschel-diagram) of a diesel engine [2]

lichen Motorbetriebspunktes (1) konstant gehalten wird. Der Vorteil ist, dass in Bereichen mit maximal anliegender Motorleistung gefahren werden kann und so die Leistungsanforderung der Arbeitsmaschine bei geringerem Geschwindigkeitsabfall befriedigt wird.

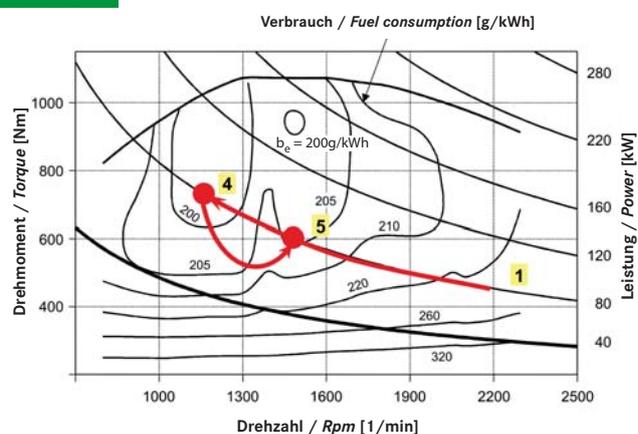
Mit einem Stufengetriebe ist das Festsetzen einer Triebwerksdrehzahl natürlich nicht möglich, da diese immer mit der Fahrgeschwindigkeit gekoppelt ist. Hier wird der Nutzen eines Traktormanagementsystems mit einem stufenlosen Getriebe deutlich. Durch eine variable Verstellung der Getriebeübersetzung, die zudem keinen Bedieneingriff benötigt, kann das Managementsystem den Motorbetriebspunkt frei wählen. Aus dem Arbeitsprozess wird eine Leistungsanforderung an den Motor gestellt, die realisiert werden muss. Weil die Motordrehzahl von der Fahrgeschwindigkeit unabhängig einstellbar ist, muss der Dieselmotor nur noch die benötigte Leistung zur Verfügung stellen. Ist dies möglich, so kann ein verbrauchsoptimierter Betriebspunkt gewählt werden. In **Abbildung 1** müsste der Ursprungsbetriebspunkt (1) auf der Leistungshyperbel in Richtung Punkt (4) verschoben werden. Sobald die zu verarbeitenden Güter nicht homogen sind, besteht die Gefahr einer sprunghaft ansteigenden Leistungsanforderung, die über der möglichen Leistungsabgabe bei der gefahrenen Motordrehzahl liegen könnte. Der Motor könnte abgewürgt werden.

Für ein Managementsystem ist es notwendig, die Motordrehzahl so zu wählen, dass immer eine gewisse Drehmomentreserve vorhanden ist. Diese Reserve ermöglicht es, einen plötzlichen Belastungsanstieg solange zu kompensieren, bis das Motormanagement die Getriebeübersetzung und die Motordrehzahl angepasst hat, sodass ein Abwürgen des Dieselmotors ausgeschlossen werden kann. Wenn der Betriebspunkt (4) nicht angefahren werden kann, weil die Leistungsanforderungen vom Triebwerk nicht befriedigt werden können, dann regelt das Managementsystem eine Drehzahl ein, die einen minimalen Kraftstoffverbrauch für die geforderte Leistung realisiert. Die vielfältigen Stellmöglichkeiten eines leistungsverzweigten Stufenlosgetriebes in Verbindung mit einem Managementsystem

ermöglichen also eine bedarfsorientierte Dieselmotordrehzahl; der Vorteil für den Nutzer ist entweder eine höhere Flächenleistungen pro Zeiteinheit oder geringere Treibstoffkosten pro Flächeneinheit.

Bei der Zapfwellenarbeit entsteht das Problem, dass die Motordrehzahl festgelegt wird, weil die Zapfwelle über feste Stufengetriebe mit der Motorabtriebswelle verbunden ist. Weiterhin sind die Zapfwellengeräte in der Regel so ausgelegt, dass der Arbeitsprozess bei einer vorgegebenen Drehzahl optimiert abläuft. Diese Drehzahlen sind genormt und werden in der Regel bei Nenndrehzahl des Dieselmotors (ca. 2200 1/min – bei einer „Sparzapfwelle“ schon bei kleinerer Motordrehzahl) erreicht. Soll ein Zapfwellengerät am Traktor betrieben werden, so muss der Dieselmotor mit einer festen Drehzahl betrieben werden, ungeachtet dessen, ob die dort mögliche Leistung benötigt wird oder bei niedrigerer Drehzahl bereitgestellt werden könnte. Die bisherigen Möglichkeiten eines Managementsystems beschränken sich darauf, zu dieser Triebwerksdrehzahl eine frei wählbare Fahrgeschwindigkeit zu ermöglichen. Zur Optimierung des Arbeitsprozesses bzw. des Kraftstoffverbrauches muss zwingend die Triebwerksdrehzahl von der Zapfwelle entkoppelt werden. Der Einsatz einer „stufenlosen Zapfwelle“ ist durchaus kein neues Thema. Ihr Einsatz in Traktoren scheiterte bisher an den Kosten, dem benötigtem Bauraum oder einer zu hohen Verlustleistung, je nachdem, ob die Leistung hydrostatisch oder leistungsverzweigt übertragen wird. Mithilfe einer stufenlos angetriebenen Zapfwelle würde die Motordrehzahl bei jeglichem Arbeitseinsatz des Traktors nur noch von der geforderten Leistung abhängen. Ihre starre Bindung an die Zapfwellendrehzahl würde entfallen. Es könnte auch für den kombinierten Betrieb ein jeweils günstiger Betriebspunkt gewählt werden (**Abbildung 2**, Punkt (4)), natürlich unter den gleichen Bedingungen, die auch für den Fahrtrieb gelten. Etwas aufwändiger kann es allerdings sein, das Abwürgen des Dieselmotors zu verhindern: Hierfür müssen nicht nur die Leistungsanforderung aus dem Fahrtrieb, sondern auch aus

Abb. 2



Betriebspunkt bei Zapfwellenarbeit [2]

Fig. 2: Engine operating point for a PTO-drive [2]

dem zusätzlichen Zapfwellenantrieb berücksichtigt und für beide eine gewisse Reserve geschaffen werden. Dabei ist der optimale Betriebspunkt nicht immer der Punkt des geringsten Kraftstoffverbrauches (4), sondern ein Betriebspunkt mit geringerem Verbrauch und hinreichenden Leistungsreserven (5).

Potenzial für eine Motor- und Getriebesteuerung

Die aktuellen Managementsysteme stellen die Getriebeübersetzung automatisch ein, um gewisse, definierte Ziele zu erreichen. Diese Ziele beruhen im Wesentlichen auf einer Optimierung des Arbeitsprozesses und dessen Kosten. Die Begrenzung, der die aktuellen Systeme bisher unterliegen, besteht darin, dass die Getriebeübersetzung von der Bedieneingabe der Fahrgeschwindigkeit vorgegeben ist. In verschiedenen Untersuchungen, z. B. bei Seeger [3], gibt es Hinweise, dass damit eine Kraftstoffeinsparung beim Pflügen von 25 % möglich ist. Dabei kommt es natürlich auf den jeweiligen Bezugspunkt für die Betrachtungen an. Mit einem geeigneten Managementsystem kann man die Systembilanz verbessern.

Das Potenzial eines Traktormanagementsystems ist durchaus noch größer, wenn die Interaktion auf weitere Komponenten erweitert wird. Die Verwendung einer stufenlosen oder einer teilweise leistungsverzweigten Zapfwelle, die Integration des Hydrauliksystems in das Managementsystem und die Ausweitung der Geräte-Traktorkommunikation ermöglicht ein Regeln der kompletten Leistungsabgabe und der Arbeitsfunktionen des Traktors [4].

Elektrische statt hydraulische Antriebe?

Der VDMA-Fachverband Fluidtechnik hat eine Studie in Auftrag gegeben [5], worin verschiedene Beispielmaschinen dahingehend geprüft wurden, wie groß die Chancen sind, hydraulische durch elektrische Antriebe zu ersetzen.

Die Schlüsseltechnologie für deren mobilitäuglichen Einsatz ist aber die Bereitstellung der erforderlichen elektrischen Leistung und deren Kombinierbarkeit mit Anbaugeräten. Bei einem Traktor, der heute bereits mit dieselelektrischem Fahrtrieb angeboten wird, würde die Batterie bei einem rein elektrischen Antrieb und einer spezifischen Energie von 200 Wh/kg rund 7 t wiegen, was nicht sinnvoll wäre. Der reine Batteriebetrieb ist auch bei mobilen Arbeitsmaschinen mit langen Vollastzyklen, z. B. einem Mähdrescher, derzeit nicht praktikabel. Aufgrund der hohen Kosten für Li-Ionen-Batterien werden bipolare Blei-Batterien als Alternative betrachtet. Sie haben eine höhere spezifische Energiedichte und -leistung. Aber auch hier wiegt eine Batterie noch etwa 700 kg. Weitere Probleme stellen die Kosten und die Verfügbarkeit des Rohmaterials der Permanentmagneten bei einer zu großen Anzahl von Anwendern dar.

Die erwarteten Entwicklungsschwerpunkte in diesem agrartechnischen Arbeitsgebiet betreffen vor allem die Batterietechnik (Erhöhung von Energie- und Leistungsdichte zu vertretbaren Kosten) und die Erhöhung der Leistungsdichte bei E-Maschinen. Vermutlich könnten bis in 10 Jahren etwa 5 % der schnelllaufenden rotatorischen Antriebe auf mobilen Arbeits-

maschinen elektrifiziert sein. Bei hohen Leistungen, relativ kleiner Drehzahl und bei Linearantrieben gibt es dagegen keine Alternativen zu hydraulischen Antrieben.

Schlussfolgerungen

Eine intelligente und automatisierte Optimierung des Zusammenspiels von Motor und Getriebe kann unter Umständen bei mobilen Arbeitsmaschinen zu einer Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades und damit zu Kostensenkungen von etwa 20 % und mehr führen. Durch den Einsatz einer unabhängig von der Motordrehzahl drehenden Zapfwelle kann dieses Potenzial noch gesteigert werden. Neben den heute vielfach eingesetzten hydraulischen Antrieben können hier auch elektrische Aktoren eingesetzt werden. Dadurch wird die Integration der Verbraucher noch einfacher.

Bei mobilen Arbeitsmaschinen sind erste Typen mit Hybridantrieben bereits bis zur Serienreife gebracht worden. Die Motivation ist dabei sehr unterschiedlich. Zum einen sollen durch die Verwendung elektrischer Hybridantriebe das Rekuperationspotenzial einzelner Antriebe, die Möglichkeit eines Downsizing des Verbrennungsmotors und eine Betriebspunktverschiebung erzielt werden. Zum anderen liegt die Motivation der Verwendung elektrischer Arbeitsantriebe, z. B. bei einem Traktor, nicht in der Energierückgewinnung, sondern in der bedarfsgeregelten Ansteuerung von Nebenantrieben und in der Versorgung von Traktoranbaugeräten mit elektrischer Leistung. Die laufenden Entwicklungsarbeiten an solchen Maschinen deutet darauf hin, dass ein Potenzial für den zunehmenden Einsatz elektrischer rotatorischer Antriebe gesehen wird.

Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Bauernverband (Hg.): Bilanz und Positionen 2008/2009. Geschäftsbericht des Deutschen Bauernverbandes. <http://www.bauernverband.de/?redid=172728&layout=print>, Zugriff am 28.04.2010
- [2] Schumacher, A. und H.-H. Harms: Potenzial von Traktormanagementsystemen mit leistungsverzweigten Getrieben. In: WVMA e. V. Wissenschaftlicher Verein für Mobile Arbeitsmaschinen (Hg.): Tagungsband zu „Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen“, Februar 2007, S. 17–29, http://www.fast.kit.edu/download/DownloadsMobima/002_beitrag_ILF_harms.pdf, Zugriff am 28.04.2010
- [3] Seeger, J.: Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schwerer Zugarbeit. Dissertation. TU Braunschweig, ILF, 2001. Shaker Verlag, Herzogenrath, 2001
- [4] Gugel, R. and Tarasinski, N.: Infinitely variable PTO transmission. In: VDI-Max-Eyth-Gesellschaft (Hg.): Tagungsband LAND.TECHNIK AgEng 2009 – Conference Agricultural Engineering. VDI-Berichte Nr. 2060, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2009, S. 441–444
- [5] Forschungsfond Fluidtechnik im VDMA (Hg.): 400 Volt auf der mobilen Arbeitsmaschine – wird die Elektrik zu einer ernst zu nehmenden Konkurrenz? Abschlussbericht der Forschungsstelle am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig, 2009

Autor

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hans-Heinrich Harms ist Leiter des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: H.Harms@TU-Braunschweig.de

Hinweis

Der vorliegende Artikel basiert auf einem Vortrag, der im Rahmen der 9. VDI Agrartechnik-Fachtagung „Land. Technik für Profis: Traktor – quo vadis?“ am 22. und 23. Februar in Marktoberdorf gehalten wurde.