

Management hydraulischer Antriebe in mobilen Arbeitsmaschinen

Der Antriebsleistungsbedarf mobiler Arbeitsmaschinen ist während ihres Arbeitseinsatzes starken Schwankungen unterworfen. Der Dieselmotor als Antriebsquelle wird häufig mit konstant hoher Drehzahl betrieben. Er arbeitet daher vielfach in Betriebspunkten mit hohem spezifischen Kraftstoffverbrauch. Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik wurde stellvertretend für mobile Arbeitsmaschinen ein Antriebsstrangmanagement für Hydraulikbagger entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass im Teillasteinsatz erhebliche Energieeinsparungspotenziale vorhanden sind.

Dipl.-Ing. Jasper Forche ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms ist Leiter des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: ilf@tu-bs.de.

Schlüsselwörter

Mobile Arbeitsmaschine, Antriebsstrangmanagement, Energieeinsparung

Keywords

Mobile machine, powertrain management, saving energy

Mobile Arbeitsmaschinen sind vor allem dadurch zu charakterisieren, dass sie zum einen nicht stationär arbeiten und auch über keine stationäre Energieversorgung verfügen, zum anderen, dass neben der reinen Fahrt weitere Arbeitsprozesse verrichtet werden.

Ausgangssituation

Die Eigenschaft der Mobilität führt zu der Notwendigkeit einer gewichts- und bauroptimierten Konstruktion. Beide Aspekte sind bei diesen Arbeitsmaschinen aufgrund von gesetzlichen oder verfahrenstechnischen Vorgaben meist knapp bemessen. Wegen ihres günstigen Leistungsgehalts werden daher in starkem Maße hydraulische Antriebe für Haupt- und Nebenfunktionen verwendet.

Der Antriebsleistungsbedarf mobiler Arbeitsmaschinen ist während ihres Arbeitseinsatzes oft starken Schwankungen unterworfen. Der Dieselmotor als Antriebsquelle wird dagegen häufig mit konstant hoher Drehzahl betrieben. Er arbeitet daher vielfach in Betriebspunkten mit hohem spezifischen Kraftstoffverbrauch und führt so zu einem ungünstigen Systemwirkungsgrad.

Ein Antriebsstrangmanagement optimiert das Zusammenspiel von Dieselmotor und hydraulischem Antriebsstrang. Stellvertretend für mobile Arbeitsmaschinen mit rein hydraulischem Antriebsstrang wurde ein Hydraulikbagger untersucht.

In Braunschweig wurden bereits bei der Entwicklung von Antriebsstrangmanagementstrategien für Traktoren sehr positive Erfahrungen gesammelt [1].

Projektziele

Hauptziel war die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs. Werden Dieselmotor und Hydraulikpumpen im Verbund im optimalen Betriebspunkt betrieben, wird Kraftstoff eingespart. Hierdurch wird eine Verbesserung des Systemwirkungsgrades erreicht.

Ein weiteres Projektziel war die Erhöhung des Bedienkomforts. Der Bediener soll von der Aufgabe befreit werden, manuell die für die jeweilige Aufgabe günstige Einstellung des Antriebsstranges zu wählen.

Das Ziel der Verringerung der Lärmbelastung sollte durch die Anpassung der Dieselmotordrehzahl erreicht werden. Außerdem würde dadurch die notwendige Kühlleistung reduziert.

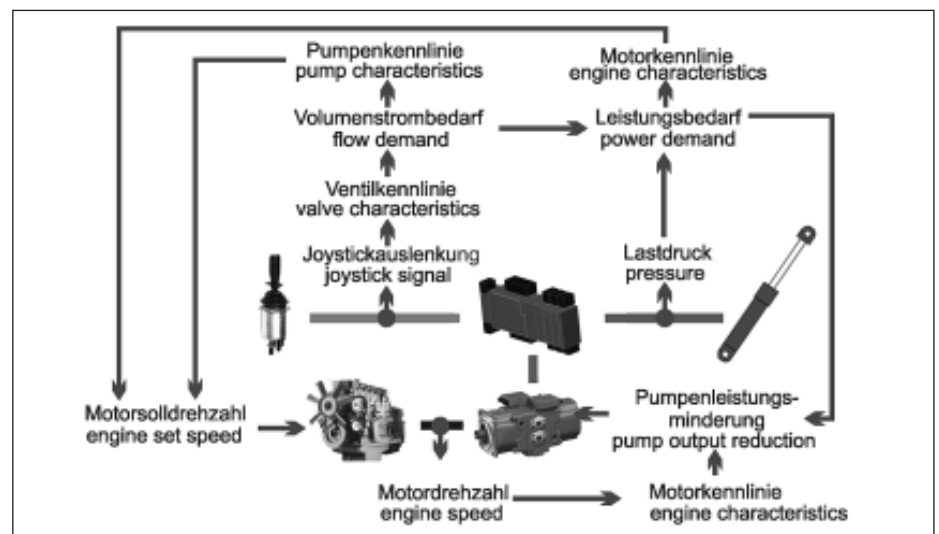


Bild 1: Informationsfluss Baggerantriebsmanagement

Fig. 1: Information flow in powertrain management of excavators

Versuchsstand

Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik wurde ein Versuchsstand aufgebaut mit einem Dieselmotor mit elektronischem Motorregler als Antriebsquelle. Dieser treibt eine Verstelldoppelpumpe an. Die Pumpen sind mit einem Ventilblock mit Last unabhängigen Durchflussverhalten (LUDV) verbunden. Die vier Verbraucherdrücke - beim Bagger Ausleger, Stiel, Löffel und Drehwerk - werden durch je ein elektrisch ansteuerbares Druckbegrenzungsventil aufgeprägt. Für jeden Verbraucher werden der Volumenstrom und der Druck gemessen.

Der Versuchsstand wurde am Institut in einer Schallschutzkabine aufgebaut. Die Komponenten entsprechen in etwa einem Mobilbagger der mittleren Leistungsklasse.

Informationsfluss

In *Bild 1* ist ein hydraulischer Antriebsstrang eines Baggers zur Verdeutlichung des genutzten Informationsflusses schematisch dargestellt. Viele mobile Arbeitsmaschinen haben identische oder sehr ähnliche hydraulische Antriebe. Er besteht aus einem Dieselmotor mit elektronischem Motorregler, einer Hydraulikpumpe und einem Ventilblock. Ein Joystick dient der Ansteuerung der Ventile. Die Verbraucher werden durch den stilisierten Zylinder dargestellt.

Die Informationen über Joystick-Auslenkung und Lastdruck werden sofort bei Eingang in das System genutzt. Aus der Joystickausrückung lässt sich über eine Ventilkennlinie ein Volumenstrombedarf abschätzen. Aus dem Volumenstrombedarf und dem Lastdruck kann auf den Leistungsbedarf geschlossen werden. Über Pumpenkennlinie und Motorkennlinie kann die notwendige Motordrehzahl errechnet werden, die dem Dieselmotor vorgegeben wird.

Ist der momentane Betriebspunkt des Motors in Nähe der Volllastkennlinie, hat dieser eventuell nicht genügend Drehmomentreserve, um bei einem Belastungssprung zu beschleunigen. In diesem Fall muss über einen Eingriff des Pumpenreglers der Schwenkwinkel der Hydraulikpumpe reduziert und so die Pumpenleistung verringert werden. Das dafür nötige Signal wird aus der Motordrehzahl über eine Motorkennlinie und dem errechneten Leistungsbedarf gebildet.

Versuche

Um das so entworfene Managementsystem mit realistischen Belastungsverläufen testen zu können, liegen eine ganze Reihe von Lastkurven vor, die von Holländer [2] am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik mit einem Bagger aufgezeichnet wurden.

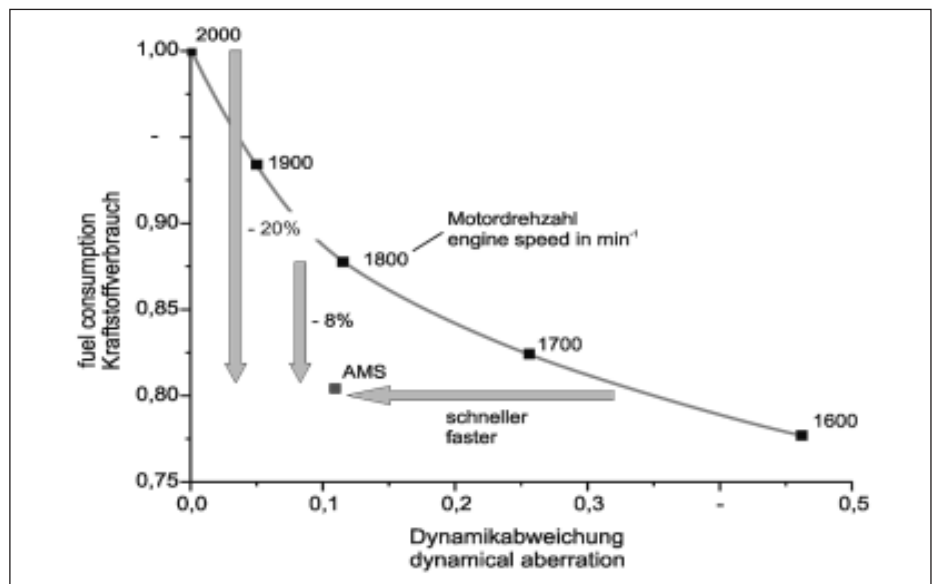


Bild 2: Kraftstoffverbrauch und Dynamikabweichung im Teillastbetrieb

Fig. 2: Fuel consumption and dynamical aberration at partial load

Diese Lastkurven erlauben die exakte Reproduktion der Versuchsbedingungen, eine Voraussetzung zur Entwicklung von Antriebsstrangmanagementsystemen.

Eine Reduktion der Motordrehzahl führt in fast jedem Fall zu einer geringeren Dynamik des Systems. In der Realität führt diese geringere Systemdynamik zu einer zeitlichen Verlängerung des Lastspiels. Diese Verlängerung war regelungstechnisch am Versuchsstand nicht umzusetzen. Es wurde daher eine dimensionslose Größe „Dynamikabweichung“ errechnet, die aus dem Volumenstromdefizit pro Abtastzyklus und dem momentan vorhandenen Ölvolumenstrom abgeleitet wird.

In *Bild 2* ist der normierte Kraftstoffverbrauch pro Lastspiel über der Dynamikabweichung aufgetragen. Die Ergebnisse für feste Drehzahlstufen (Mode-Schaltung) wurden durch eine Kurve verbunden. Mit sinkender fester Motordrehzahl nimmt erwartungsgemäß die Dynamikabweichung zu.

Der Messwert für das Antriebsmanagementsystem (AMS) zeigt, dass gegenüber der Referenzdrehzahl von 2000 min^{-1} etwa 20 % Kraftstoff eingespart werden können. Verglichen mit der Festdrehzahl bei gleicher Dynamikabweichung lassen sich noch über 8 % Kraftstoff einsparen. Verglichen mit einer Festdrehzahl bei gleichem Kraftstoffverbrauch weist das System eine erheblich geringere Dynamikabweichung auf.

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass vor allem im Teillastbetrieb durch die Anpassung der Dieselmotorleistung über die Drehzahl an die momentan benötigte Antriebsleistung in erheblichem Maße Kraftstoff eingespart werden kann. Gegenüber der bisher gebräuchlichen Anpassung der Motorleistung über eine Mode-Schaltung kann zusätzlich eine höhere Systemdynamik erreicht werden. Je

größer jedoch der Volllastanteil im Arbeitsspiel ist, desto geringer fällt die Kraftstoffeinsparung aus.

Der Bedienkomfort wird erhöht, da der Bediener sich nicht mehr mit der optimalen Abstimmung des Antriebsstranges an die jeweilige Arbeitsaufgabe befassen muss. Er wird in diesem Punkt entlastet und kann sich stärker auf die Steuerung und Überwachung der Maschine konzentrieren.

Die durchschnittliche Lärmemission wird durch ein Antriebsstrangmanagement reduziert. Die je nach Bedienvorgabe nötigen Beschleunigungsvorgänge des Dieselmotors führen allerdings zu einem neuen Geräuschverhalten der Maschine, welches gewöhnungsbedürftig sein kann.

Ausblick

Die am Versuchsstand gewonnenen Ergebnisse sollen mit einer realen Maschine verifiziert werden. Die subjektive Bewertung der Auswirkungen eines Antriebsstrangmanagements können an dem Versuchsstand nicht untersucht werden. Dazu müsste die subjektive Wahrnehmung in ein Verhältnis zu den gemessenen Werten gesetzt werden.

Bei wiederkehrenden Belastungsmustern könnte eine Zykluserkennung zu besserem Zeitverhalten der Leistungsanpassung führen. Eine Zykluserkennung wäre ein „Blick in die Zukunft“ - für jede Steuerung oder Regelung ein Idealzustand.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] • Seeger, J.: Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schwerer Zugarbeit. Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, Shaker Verlag, Aachen, 2001
- [2] • Holländer, C.: Untersuchungen zur Beurteilung und Optimierung von Baggerhydrauliksystemen. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1, Nr. 307, VDI Verlag, Düsseldorf, 1998