

Bui Hai Trieu, Hanoi/Vietnam

# Simulation eines hydraulischen Hilfsantriebs für ein land- und forstwirtschaftliches Transportaggregat (TA)

Vorgestellt wird ein hydraulischer Hilfsantrieb für land- und forstwirtschaftliche Transportaggregate. Das Systemmodell wurde an der Hochschule für Landwirtschaft Hanoi entwickelt und erprobt. Die Konzeption bezieht sich auf die kinematische Berechnung von zwei parallelen Antriebssträngen vom Traktormotor bis zu den Antriebsachsen, so dass das Hilfssystem in Abhängigkeit des Traktorschlupfs selbsttätig ein- oder ausgeschaltet werden kann. Die Simulation zeigt, dass das Transportaggregat mit hydraulischem Hilfsantrieb lokale Hindernisse auf land- und forstwirtschaftlichen Fahrbahnen problemlos überfahren kann, indem das Hilfssystem rechtzeitig auf die Schlupfänderung des Zugtraktors reagiert.

Bei den land- und forstwirtschaftlichen Transportfahrten ist es notwendig, dass der Traktor mit Anhänger oft schlechte Fahrbahnabschnitte, zum Beispiel kritische lokale Hindernisse, Steigungen oder rutschige Bodenabschnitte, überwinden muss. Unter diesen Einsatzbedingungen vermindert sich die Transportleistung bei gleichzeitig erhöhtem Kraftstoffverbrauch.

Zur Verbesserung der land- und forstwirtschaftlichen Transportarbeit wurde ein Einachsanhänger mit einem hydraulischen Hilfsantrieb an der Hochschule für Landwirtschaft Hanoi entwickelt und gefertigt. Der Anhänger wird mit dem Vierradtraktor (30 kW) Shibaura 3000 zu einem land- und forstwirtschaftlichen Transportaggregat (TA) gekoppelt. Auslegung und experimentelle Untersuchungen zum gesamten Transportaggregat wurden in [1, 2] vorgestellt. Mit den vorwiegend vorteilhaften Eigenschaften hydraulischer Antriebe, wie flexible Kopplung zwischen Traktor und Anhänger sowie selbsttätige Ein- und Ausschaltung des hydraulischen Anhängerantriebs mit hoher Betriebsicherheit, ist eine deutliche Verbesserung der Transportfahrten auf schlechten land- und forstwirtschaftlichen Fahrbahnen zu erreichen. Nachfolgend wird das Betriebsverhalten eines TA mit hydraulischem Hilfsantrieb des Anhängers analysiert.

## Antriebsschema des TA mit hydraulischem Anhängerantrieb

In Bild 1 ist das Antriebskonzept für das land- und forstwirtschaftliche Transportaggregat schematisch dargestellt.

Bei diesem Antriebskonzept wird das TA wie ein Fahrzeug mit Zweiachs Antrieb betrachtet. Die zweite Achse – die Anhängerachse – wird vom Motor über die Zapfwelle und dann über ein hydrostatisches Getriebe angetrieben. Eine selbsttätige Ein- oder Ausschaltung der Kraftübertragung erfolgt für die Anhängerachse in Abhängigkeit vom Radschlupf des Zugtraktors und von den entsprechenden Übersetzungen der zwei Antriebsachsen, also von dem Gleichgewicht zwischen den vom Antriebstrang des Zugtraktors und des Anhängers erzeugten Geschwindigkeiten.

Um eine schnell ansprechende und effektive Hilfskraftübertragung der Anhängerachse zu erreichen, muss die gesamte Übersetzung richtig ausgelegt werden. In Bild 1 bedeuten: 1 Traktormotor; 2 Fahrkupplung; 3 Traktorgetriebe; 4 Zapfwellengetriebe; 5 und 6 Hydraulische Pumpe oder Motor; 7 Zusatzgetriebe; 8 Kardanwelle; 9 Differential; 10 Traktorräder; 11 Anhängerräder; 12 translatorisches TA; ferner:  $i_T$  Übersetzung von Kupplungswelle zu an-

Bild 1: Antriebsschema des TA mit der hydraulisch angetriebenen Anhängerachse

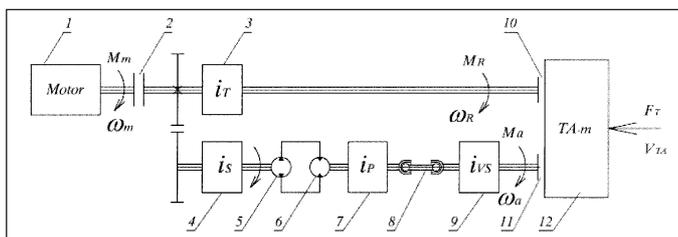


Fig. 1: Drive pattern of the TA with the hydraulic propelled trailer axle

Prof. Dr.-Ing. Bui Hai Trieu leitet das Institut für Energie- und Antriebstechnik der Hochschule für Landwirtschaft in Hanoi / Vietnam; e-mail: [haitrieukydo1@hau1.edu.vn](mailto:haitrieukydo1@hau1.edu.vn)

## Schlüsselwörter

Traktor, Hilfsantrieb, Transportaggregat

## Keywords

Tractor, auxiliary drive, transportation aggregate

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07201 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Bild 2: Die hydraulische Schaltung für den Anhängerantrieb

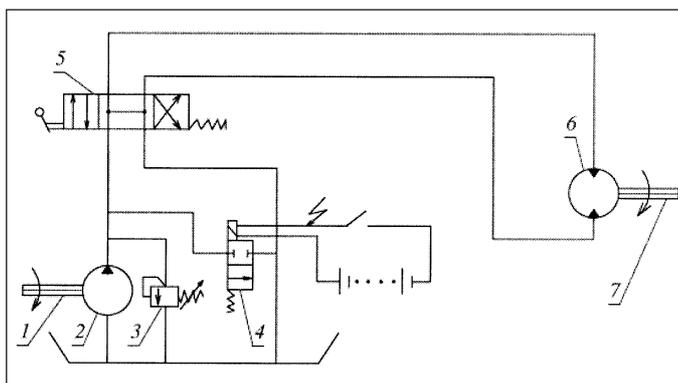


Fig. 2: The hydraulic circuit for the trailer drive

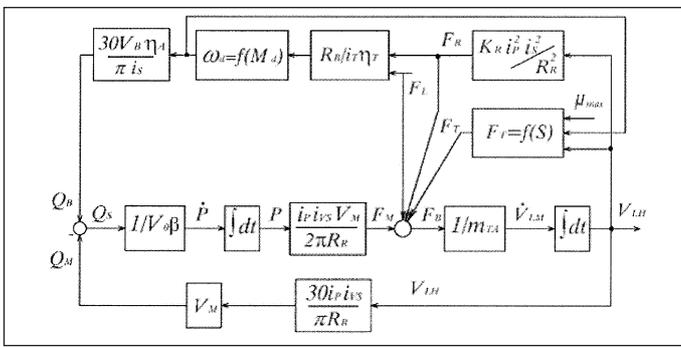


Bild 3: Blockschaltbild zur Steuerung des Hilfsantriebes

Fig. 3: Block diagram for controlling the auxiliary drive

getriebenen Traktorrädern  
 $i_S$  Übersetzung des Zapfwellengetriebes  
 $i_P$  Übersetzung des Zusatzgetriebes  
 $i_{VS}$  Übersetzung des Differentials

### Berechnung der Übersetzung des hydraulischen Hilfsantriebes

Ausgehend vom kinematischen Gleichgewicht zwischen den zwei Antriebachsen ist

$$v_{TA,T} = v_{TA,A} \quad (Gl. 1)$$

wobei  $v_{TA,T}$  und  $v_{TA,A}$  die von der Antriebsachse des Zugtraktors und des Anhängers erzeugten Geschwindigkeiten darstellen. Es ergibt sich:

$$\frac{\omega_m R_R (1 - S_H)}{i_r} = \frac{\omega_m R_R \eta_V}{i_S i_P i_{VS}} \quad (Gl. 2)$$

Daraus ist zu erkennen, dass die Systemdaten, wie die Übersetzung  $i_r$ , der Radradius des Zugtraktors  $R_R$ , die Übersetzung der Zapfwelle  $i_S$ , die Übersetzung des Differentialgetriebes  $i_{VS}$  schon bekannt und festgelegt sind. Es gibt dann nur noch zwei verstellbare Parameter, die Übersetzung des Zusatzgetriebes und den Radschlupf des Zugtraktors, um das richtige Ein- oder Ausschalten der Kraftübertragung für die Anhängerachse zu erreichen. Nach einfacher Umformung lässt sich die Zusatzübersetzung so berechnen:

$$i_P (1 - S_H) = \frac{\eta_V i_r R_R}{i_S i_P R_B} \quad (Gl. 3)$$

Der Radschlupf des Zugtraktors, der die Einschaltung bewirkt, ist im Bereich von 8 bis 10 % auszuwählen. Die anderen Daten werden der technischen Charakteristik des Traktors Shibaura – 3000, des angebauten Anhängers und des ausgewählten hydraulischen Getriebes entnommen.

### Hydraulische Schaltung für den Hilfsantrieb

Für den Hilfsantrieb des TA wurde ein hydraulisches System erstellt (Bild 2). Darin bedeuten: 1- Zapfwelle des Zugtraktors; 2- Hydropumpe; 3- Sicherheitsventil; 4- 2/2 Wegeventil zum Abschalten beim Bremsen; 5- 4/3 Wegeventil zur Steuerung des Hilfsantriebs; 6- Hydromotor; 7- Abtrieb zur Anhängerachse.

Als Hauptkomponente des Hydrosystems dient ein hydrostatisches Getriebe. Seine Antriebswelle ist mit der Zapfwelle des Zugtraktors gekoppelt, die Hydropumpe wird also vom Traktormotor durch die Zapfwelle angetrieben. Die Abtriebswelle des Getriebes verbindet über die Kardanwelle das Zusatzgetriebe mit dem Differential der Anhängerachse (Bild 1). Hydromotor und Hydropumpe werden so ausgewählt, dass das TA auch bei 100 % Radschlupf des Zugtraktors wirksam wird. Zur Steuerung des Hilfsantriebs sind ein einfach handbetätigtes 4/3 Wegeventil und ein Druckbegrenzungsventil als Sicherheitsventil vorgesehen. Darüber hinaus ist ein 2/2 Wegeventil eingebunden, das zur Ausschaltung des Hilfsantriebs beim Bremsen des TA dient. Alle hydraulischen Komponenten sind einfach und preiswert in Vietnam zu beschaffen.

### Betriebsverhalten des Transportaggregats

#### Modellierung des hydraulischen Hilfsantriebes

Zur Analyse des Betriebsverhaltens eines Transportaggregats mit hydraulischem Hilfsantrieb wurde ein Simulationsmodell erarbeitet. Das Modell bezieht sich auf die technischen Daten des land- und forstwirtschaftlichen TA – Traktor Shibaura 3000 mit dem hydraulisch angetriebenen Einachsanhänger [4, 5].

Aus dem Antriebsschema und der hydraulischen Schaltung (Bild 1 und Bild 2) war ein Blockschaltbild zur automatischen Steuerung des Hilfsantriebs zu entwerfen (Bild 3).

Die Modellierung erfolgt nach

- Gleichgewicht der Volumenströme  
 $Q_B - Q_M = Q_S \quad (Gl. 4)$

Bild 5: Ergebnis einer Simulationsrechnung Sprung von  $\mu_{max} = 0,8$  auf  $\mu_{max} = 0,3$

Fig. 5: Result of a simulation calculation: jump of  $\mu_{max} = 0,8$  to  $\mu_{max} = 0,3$

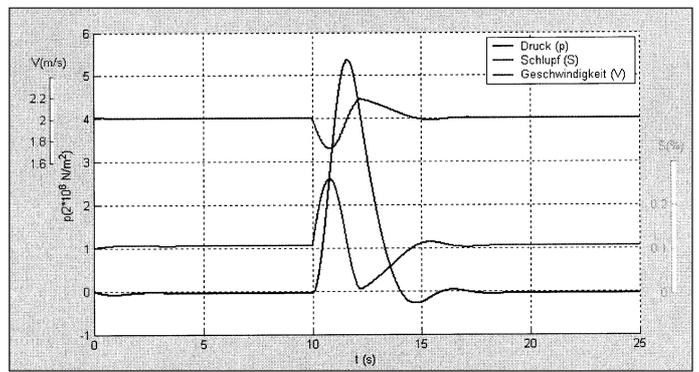


Bild 4: Ergebnis einer Simulationsrechnung Sprung von  $\mu_{max} = 0,8$  bis  $\mu_{max} = 0,5$

Fig. 4: Result of a simulation calculation: jump from  $\mu_{max} = 0,8$  to  $\mu_{max} = 0,5$

- Gleichgewicht der Kräfte:

$$F_B = F_T + F_M - F_L - F_R \quad (Gl. 5)$$

Dabei sind:  $Q_B$  Volumenstrom der Pumpe,  $Q_M$  Volumenstrom des Hydromotors,  $Q_S$  Kompressionsvolumenstrom,  $F_B$  Beschleunigungskraft,  $F_T$  Umfangskraft der Hinterräder,  $F_M$  Umfangskraft der vom Hydromotor angetriebenen Anhängerräder,  $F_L$  Lastkraft des TA,  $F_R$  auf Anhängerräder reduzierte Reibkraft des Hydromotors.

#### Simulation

Als Beispiel soll hier das Fahren des TA auf einem rutschigen Wegstück simuliert werden. Die Randbedingungen für diesen Zustand lauten:

$$\mu_{max} = \mu_{max1}, \text{ wenn } t < t_1; t_1 > t_2$$

$$\mu_{max} = \mu_{max2}, \text{ wenn } t < t_1 < t_2$$

Die Berechnung des Betriebsverhaltens des hydraulischen Hilfsantriebs erfolgte mit Hilfe des Programm Matlab – Simulink.

In Bild 4 und Bild 5 sind beispielhaft die Simulationsergebnisse dargestellt. Zu erkennen ist die Reaktion des hydraulischen Hilfsantriebs. Mit dem Sprung von  $\mu_{max} = 0,8$  auf  $\mu_{max} = 0,5$  (Bild 4) oder auf  $\mu_{max} = 0,3$  (Bild 5) wird der Öldruck im Hydromotor auch sprunghaft erhöht, der dann ein Drehmoment an der Anhängerachse erzeugt. Mit diesem Hilfsmoment kann das TA leicht das rutschige Wegstück überwinden. Der Radschlupf des Zugtraktors, bei dem der hydraulische Hilfsantrieb aktiviert wird, beträgt 10 %. In Abhängigkeit von der Höhe des  $\mu_{max}$ - Sprunges erhöht sich der hydraulische Druck derart, dass das daraus resultierende Hilfsmoment an der Anhängerachse zum Überfahren schlechter Wege ausreicht.

