

# Arbeitsweise des Traktormotors unter Vollastbedingungen

Prof. Dr. A. Fekete, Institut für Landtechnik Gödöllő (Ungarische VR)

## Verwendete Formelzeichen

$f(M_{Mu}), f(M_{Mo})$	Dichtefunktionen von $M_{Mu}$ , $M_{Mo}$ und $M_{nenn}$
$f(M_{nenn})$	
$M_M$	Nm Motordrehmoment
$M_{Mmin}$	Nm Drehmoment an der unteren und oberen Grenze des theoretischen Vollastbereichs
$M_{Mmax}$	
$M_{Mur}, M_{Mo}$	Nm Drehmoment an der unteren und oberen Grenze des tatsächlichen Vollastbereichs
$M_{nenn}$	Nm Nenn Drehmoment
$S_{nenn}, S_u, S_o$	Nm Standardabweichungen von $M_{nenn}$ , $M_{Mmin}$ und $M_{Mmax}$

## 1. Einleitung

Die Belastung eines Traktormotors ist im wesentlichen von den Bodenbedingungen, dem gekoppelten Gerät, der Wechselwirkung zwischen Boden und Reifen und der Geländeneigung abhängig. Bei normalen Bedingungen ändert sich die aufzubringende Zugleistung des Traktors aufgrund der Schwankungen der Zugkraft, des Rollwiderstands und des Schlupfes erheblich. Daraus resultieren eine Reduzierung der Flächenleistung und eine Erhöhung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs.

Die Auswirkungen der Veränderungen der Belastung und des Trägheitsmoments der Traktor-Geräte-Kombination wurden von Boltinskij [1] untersucht. Dabei wurde ermittelt, daß der Variationskoeffizient des Pflugwiderstands eines angehängten Pfluges unter 7,5% lag. Die potentielle Motorüberlastung stieg nicht über 33%.

Die Veränderungen der Motorbelastung beim Pflügen mit einem leistungsstarken Allradtraktor sind von Aranovskij [2] analysiert worden. Als Variationskoeffizienten des Motordrehmoments wurden 5,4% bis 6,8% in einem Fahrgeschwindigkeitsbereich von 6,2 bis 9,6 km/h ermittelt.

Bei Versuchen von Kawamura u. a. [3] mit Zweischar-Anbaupflügen wurden Variationskoeffizienten der Zugkraft von 30% (mit La-

geregelung) bzw. 17% (mit Zugkraftregelung) erzielt. Weitere Versuche wurden mit einem leistungsstarken Traktor und einem Sechsschar-Aufsattelpflug mit Lageregelung durchgeführt [4]. Diese Versuchsreihen bei unterschiedlichen Beetlängen ergaben Variationskoeffizienten zwischen 9,6% und 12,2%. Die Versuchsergebnisse verdeutlichen, daß die Zugkraftregelung und die Größe des Pfluges den Variationskoeffizienten der Zugkraft verringern.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, beim Pflügen die Schwankungen des Drehmoments eines Traktormotors, der mit einer Motorbelastungssteuerung ausgerüstet ist, zu analysieren sowie den theoretischen und tatsächlichen Vollastbereich des Motors zu ermitteln.

## 2. Definition der Belastungsbedingungen

Herkömmliche Empfehlungen besagten, daß der Traktormotor nur im Bereich der Abregellinie betrieben werden sollte, da beim Betrieb außerhalb dieses Bereichs Schäden am Motor auftreten könnten. Diese Beschränkung besteht nicht mehr, da die modernen Dieselmotoren (große Drehmomentenüberhöhung in Richtung Konstantleistungsmotoren) auch im Vollastbereich betrieben werden können.

Ein Traktor sollte mit der höchsten Zugleistung arbeiten, die bei einer aufzubringenden Zugkraft erzielt werden kann, da eine maximale Flächenleistung bei minimalem spezifischem Kraftstoffverbrauch erreicht werden soll. Im Bild 1 sind die Bereiche der höchsten Zugleistung des untersuchten Traktors in verschiedenen Gängen dargestellt. Ausgehend von den Grenzwerten der genannten Bereiche können so die Grenzwerte für das Drehmoment des Motors berechnet werden. Diese bestimmen einen Belastungsbereich, der als theoretischer Vollastbereich des Motors bezeichnet wird und im Bild 2

wiedergegeben ist. Er umfaßt einen Teil des Regelbereichs und einen Teil des Vollastbereichs im Motorkennfeld.

## 3. Versuchsmethodik

Die Versuche wurden mit einem 120-kW-Allradtraktor mit Knicklenkung und einem Sechsschar-Aufsattelpflug mit Lageregelung durchgeführt. Der Traktor war mit einem automatischen Motorbelastungskontrollsystem ausgerüstet, das sich aus folgenden Bestandteilen zusammensetzte:

- Bedienpult
- induktiver Sensor, angeordnet am Gehäuse des Fliehkraftreglers der Einspritzpumpe
- Magnetventile zum hydraulischen Steuern des Gangwechsels.

Bei den Versuchen wurden die Gänge automatisch unter Last geschaltet, um den Motor im Vollastbereich zu betreiben. Das Drehmoment des Motors wurde mit Hilfe des Sensors indirekt gemessen. Der Sensor wurde durch Abbremsen des Motors auf einem Motorprüfstand kalibriert.

Die Versuche wurden auf 300 bis 400 m langen Flächen bei jeweils konstanter Belastung durchgeführt, um die Schwankungen des Motordrehmoments zu ermitteln. Bei den Versuchsreihen wurde die Belastung des Motors durch Verändern der Arbeitstiefe des Pfluges erhöht. Die letztgenannten Untersuchungen dienen der Ermittlung der Zeitverzögerung, die sich bei der Motordrehmomenterhöhung und -verringern zwischen Nenn Drehzahl und der Drehzahl bei maximalem Drehmoment ergibt.

In den Versuchen wurden folgende Kenngrößen gemessen und berechnet:

- Motordrehmoment
- Mittelwert des Drehmoments
- Standardabweichung des Drehmoments
- Variationskoeffizient des Drehmoments
- Zeitverzögerung zwischen Nenn Drehzahl

Bild 1. Zugkraftkennlinien des untersuchten Traktors auf Lehmboden

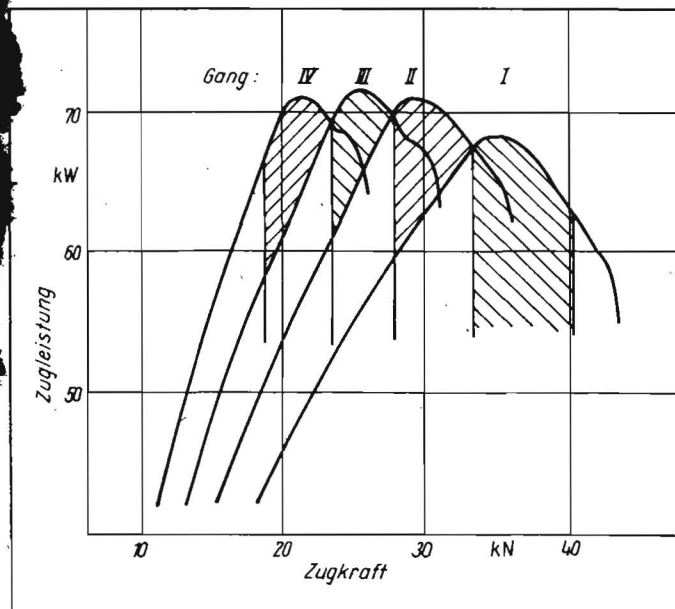
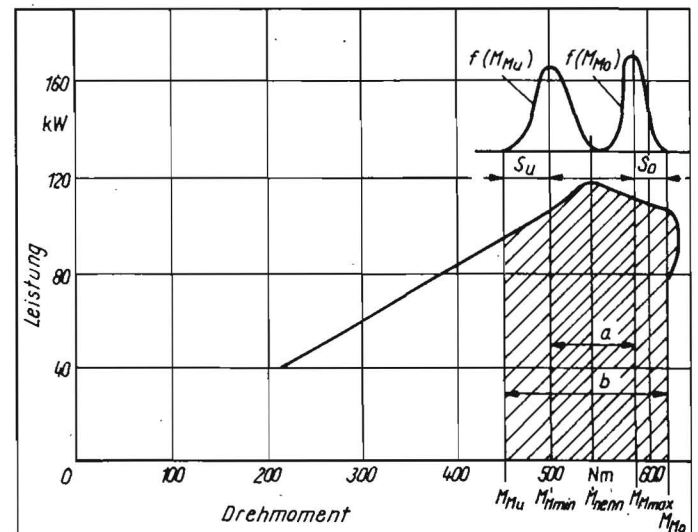


Bild 2. Leistung in Abhängigkeit vom Drehmoment bei theoretischem (a) und tatsächlichem (b) Vollastbereich



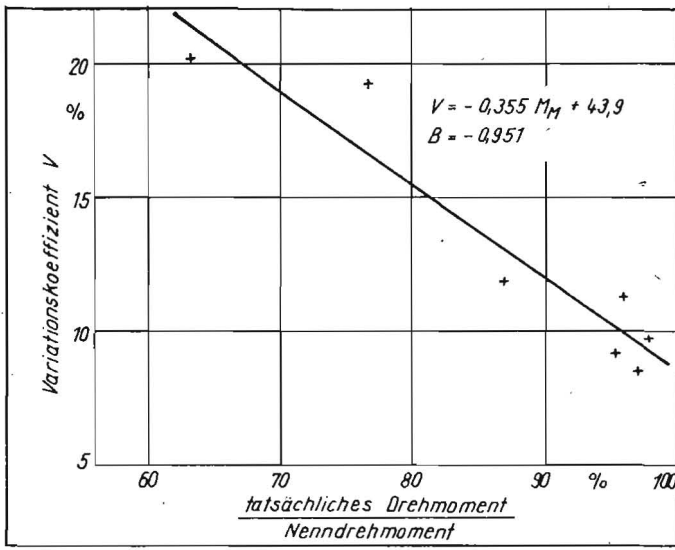


Bild 3. Variationskoeffizient des Drehmoments als Funktion des Verhältnisses zwischen tatsächlichem Drehmoment und Nenn Drehmoment

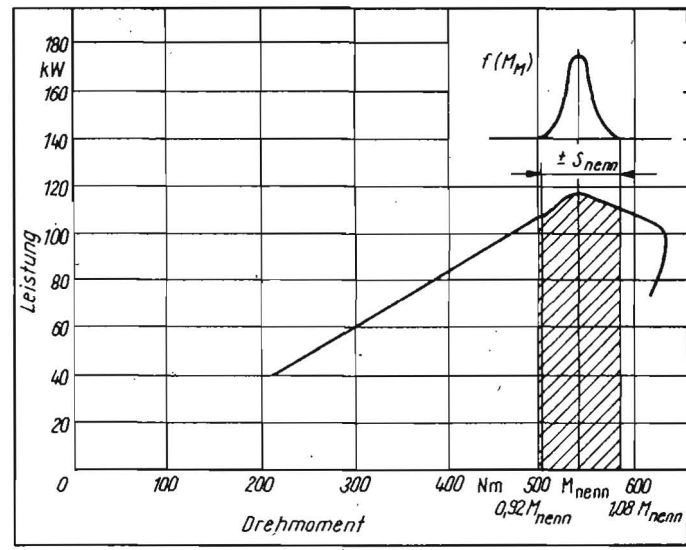


Bild 4. Leistung als Funktion des Drehmoments und der Drehmomentverteilung um das Nenn Drehmoment

und Drehzahl bei maximalem Drehmoment bei Motordrehmomenterhöhung bzw. -verringerung  
 – Fahrgeschwindigkeit.  
 Die Fahrgeschwindigkeit des Traktors betrug 7,2 bis 10,1 km/h und die Arbeitstiefe 24 bis 28 cm.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der unter relativ konstanter Belastung durchgeführten Versuche sind im Bild 3 dargestellt. Der Variationskoeffizient des Drehmoments als Funktion des Verhältnisses zwischen dem Mittelwert des gemessenen Drehmoments und dem Nenn Drehmoment stellt eine lineare Beziehung dar. Eine Drehmomenterhöhung bewirkt ein Verkleinern des Variationskoeffizienten.

Die Ergebnisse der bei zunehmender Belastung durchgeführten Versuchsreihen zeigen, daß die Zeitverzögerung von der Nenn Drehzahl bis zum Erreichen der Drehzahl bei maximalem Drehmoment des Motors 2 bis 3 s beträgt. Das bedeutet, daß die getestete Traktor-Geräte-Kombination bei 2 bis 3 s langer Überlastung des Motors (Motormoment) nicht „abgewürgt“ wird.

Der theoretische Vollastbereich des Motors wurde aus den Bereichen der maximalen Zugleistung (Bild 1) berechnet. Danach liegt der theoretische Vollastbereich zwischen  $M_{Mmin} = 500 \text{ Nm}$  und  $M_{Mmax} = 585 \text{ Nm}$  (Nenn Drehmoment  $M_{Nenn} = 540 \text{ Nm}$ ).

Da die Meßergebnisse des Motordrehmoments einer Normalverteilung unterliegen, können die hierfür geltenden Beziehungen angewendet werden. Bei diesen Untersuchungen wurde eine Wahrscheinlichkeit von 0,68269 gewählt, d. h. 68 % der Einzelwerte befinden sich im Bereich der Standardabweichung  $\pm s$ . Das ist möglich, weil der Motor bei 2 bis 3 s Überlastung nicht zum Stillstand kommt.

Daraus läßt sich ableiten, daß sich sowohl die obere ( $M_{Mo}$ ) als auch die untere ( $M_{Mu}$ ) Grenze des tatsächlichen Vollastbereichs mit Hilfe der folgenden Gleichungen berechnen lassen:

$$M_{Mo} = M_{Mmax} + s_u \quad (1)$$

$$M_{Mu} = M_{Mmin} - s_u \quad (2)$$

Aus den im Bild 3 eingetragenen Meßergebnissen ergeben sich die Standardabweichungen der Grenzwerte zu  $s_u = 32,5 \text{ Nm}$

$s_u = 55,2 \text{ Nm}$  und somit die Grenzwerte mit den Gln. (1) und (2) zu  $M_{Mo} = 617,5 \text{ Nm}$  und  $M_{Mu} = 444,8 \text{ Nm}$ .

Im Bild 2 ist der theoretische Vollastbereich des Motors bei Berücksichtigung der Standardabweichung und der Normalverteilung des Drehmoments angegeben. Werden der Motor im Nennleistungspunkt betrieben und die Standardabweichung des Drehmoments entsprechend Bild 3 berücksichtigt, ergibt sich für den Mittelwert  $M_{Nenn} = 540 \text{ Nm}$  eine Standardabweichung von  $s_{Nenn} = 45,5 \text{ Nm}$ . Bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,68269 schwankt der Mittelwert des Motordrehmoments also innerhalb des Bereichs  $M_{Nenn} - s_{Nenn} = 494,6 \text{ Nm}$  und  $M_{Nenn} + s_{Nenn} = 585,4 \text{ Nm}$ .

Wird der theoretische Vollastbereich im Bild 2 mit dem Bereich des Nenn Drehmoments im Bild 4 verglichen, so ist kein wesentlicher Unterschied festzustellen. Demzufolge arbeitet der Motor bei Nenn Drehzahl im theoretischen Vollastbereich und erzielt entsprechend hohe Leistungen und einen hohen Wirkungsgrad. Ist das Drehmoment geringer oder größer als das Nenn Drehmoment, kann die Traktor-Geräte-Kombination nur mit geringerer Leistung und niedrigerem Wirkungsgrad gefahren werden. Allerdings kann die Geräte-Kombination bei im Vergleich zum Nenn Drehmoment geringerem oder höherem Motordrehmoment nicht mit hoher Leistung und hohem Wirkungsgrad gefahren werden.

#### 5. Schlußfolgerungen

Der Variationskoeffizient des Motordrehmoments des untersuchten Traktors, der mit einem automatischen Motorbelastungssteuerungssystem ausgerüstet war, lag zwischen 8 % und 20 % im 60- bis 100-%-Bereich des Nenn Drehmoments. Eine Belastungserhöhung führte zur Verringerung des Variationskoeffizienten. Der theoretische Vollastbereich des Motors mit 93 bis 108 % des Nenn Drehmoments wurde mit Hilfe der Zugkraftkenndaten des Traktors berechnet. Der tatsächliche Vollastbereich wurde unter Berücksichtigung der Standardabweichung des Drehmoments berechnet. Er lag im Bereich von 82 bis 114 % des Nenn Drehmoments. Der mit Nenn Drehmoment betriebene Motor

arbeitet praktisch in einem Belastungsbereich, der nahezu gleich dem theoretischen Vollastbereich ist. Die maximale Leistung kann nicht erreicht werden, wenn das Drehmoment des Motors unter dem Nennwert liegt.

Die Traktor-Geräte-Kombination kann effektiv arbeiten, wenn

- der Variationskoeffizient des Drehmoments niedrig ist
- der Variationskoeffizient der Zugkraft niedrig ist (aufgrund der Zugkraftregelung zwischen Traktor und Gerät)
- der Motor mit Nenn Drehmoment oder im Vollastbereich im Ergebnis des Einsatzes eines Motorbelastungsanzeigergeräts oder eines automatischen Motorbelastungssteuerungssystems arbeitet.

#### 6. Zusammenfassung

Bei Untersuchungen mit einer Traktor-Pflug-Kombination wurden die Schwankungen des Motordrehmoments analysiert und der theoretische sowie tatsächliche Vollastbereich auf der Basis der Zugkraftkennwerte des Traktors bestimmt. Des weiteren wurde die Möglichkeit der Leistungssteigerung der Traktor-Geräte-Kombination untersucht.

#### Literatur

- [1] Boltinskij, V. N.: Operation of the tractor engine with varying load. Moskau: Ogiz-Selchozgid 1949.
- [2] Aranovskij, M. M.: Automation of tractorimplement combinations. Leningrad: Kolos 1981.
- [3] Kawamura, N.; Namikawa, K.; Fujiura, T.; Shigeta, K.: Operating performance of draft and position control system. Research Report on Agricultural Machinery, Kyoto University, Japan (1984) 14.
- [4] Borsá, B.: Measurement of ploughing resistance. Institut für Landtechnik Gödöllő, 1985 (unveröffentlicht).