

Kraftstoffverbrauch bei der Bodenbearbeitung

Simulationsmodell in Gegenüberstellung zu gemessenen Werten

Der Kraftstoffverbrauch gewinnt auch beim Feldeinsatz von Traktoren verstärkt an Bedeutung. Verantwortlich hierfür sind aus ökonomischer Sicht die gestiegenen Dieselpreise und die aus ökologischen Gründen angestrebte Einsparung des Treibhausgases CO_2 sowie die Schonung von Ressourcen. Um Einsparungspotenziale abzuschätzen und einen Katalog für Minderungsmöglichkeiten zu erstellen, wird ein detailliertes Modell zur Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren benötigt. Ziel des Projektes ist es, ein solches Modell zu entwickeln, es anhand von Messungen zu validieren und die geforderten Ergebnisse zu berechnen.

Dipl.-Ing. sc. agr. Matthias Schreiber und Dipl.-Ing. sc. agr. Benjamin Schutte sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.D. Kutzbach), Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: schreib@uni-hohenheim.de.

Referierter Beitrag der **LANDTECHNIK**, die Langfassung finden Sie unter **LANDTECHNIK-NET.com**.

Schlüsselwörter

Kraftstoffverbrauch, Traktor-Modell, Antriebsstrang

Keywords

Fuel consumption, tractor model, drive train

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04414 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Der Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Traktoren wird einerseits stark durch die benötigte Zugkraft der Geräte, andererseits durch den Motor-, Getriebe- und Laufwerkwirkungsgrad des Traktors beeinflusst. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Laufwerkwirkungsgrad, der mit Werten von 30 bis 70% relativ niedrig ist [1, 2] und abhängig von traktor- und bodenspezifischen Einflussfaktoren stark variiert. Um die Bedeutung der einzelnen Parameter gezielt beurteilen zu können, eignen sich Messungen nur begrenzt, da insbesondere der Boden schon sehr kleinräumig starke Unterschiede aufweist. Deshalb wird ein detailliertes Fahrzeug- und Gerätemodell benötigt, mit dem einzelne Einflussfaktoren untersucht werden können. In diesem Artikel soll vornehmlich auf das Modell des Traktors eingegangen werden, wobei die Zugkraft als Eingangsparemeter vorgegeben ist. Für die späteren Berechnungen können verschiedene Zugkraftmodelle (Gerätemodelle) gemeinsam mit dem Fahrzeugmodell genutzt werden.

Die Validierung des Modells erfolgt durch den Vergleich modellierter Verbrauchswerte mit Werten, die in Hohenheim mit einem entsprechend ausgestatteten Traktor gemessen wurden.

Das Fahrzeugmodell

Da mit dem Modell viele Einflussfaktoren genau betrachtet werden sollen, wird eine hohe Genauigkeit und die Berücksichtigung möglichst vieler Parameter verlangt.

Bild 1: Übersicht über das Fahrzeugmodell mit den Eingangsparametern

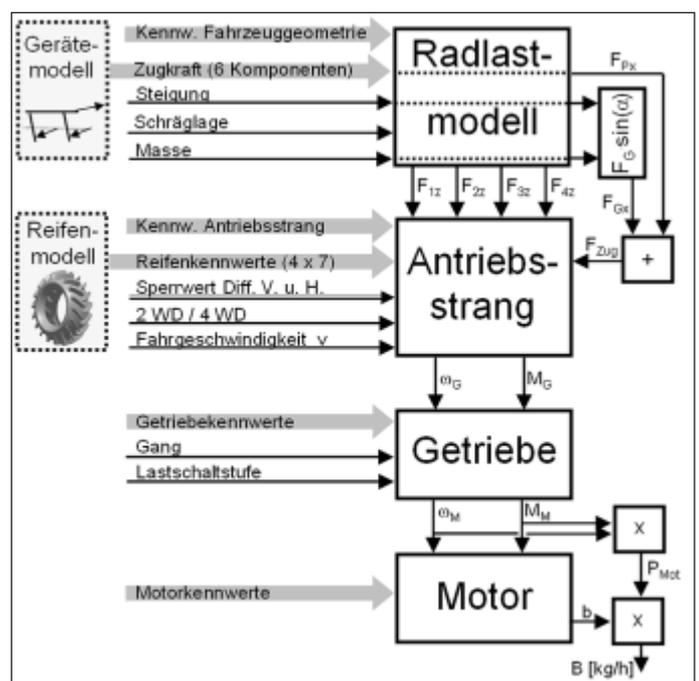
Fig 1: Schem of the vehicle model with the input parameters

Insbesondere sollen folgende Parameter abgebildet werden:

- Einfluss von Zugkraft und Fahrgeschwindigkeit
- Hangneigung in Fahrtrichtung und in seitlicher Richtung
- Geometrie des Traktors (Radstand, Spur, ...) mit Masse, Schwerpunkt und Zugangriffspunkt
- Zuschalten von Allradantrieb, Differentialsperrerr hinten
- Einfluss des Selbstsperrdifferentials mit unterschiedlichen Sperrwerten
- Unterschiedliches Triebkraftverhalten für alle vier Räder
- Stufung der Gänge und Lastschaltstufen
- Einfluss der Fahrstrategie (Tempomat, Fahrgeschwindigkeit, Gang, ...)

Der Einfluss dieser Parameter wird zwar als sehr unterschiedlich eingestuft, dennoch sind sie alle detailliert auf ihre Bedeutung zu überprüfen. Nur so kann für weitere Untersuchungen eine objektive Auswahl durchgeführt werden.

Das Modell wurde für den Vergleich verschiedener Fahrzustände und die Berech-



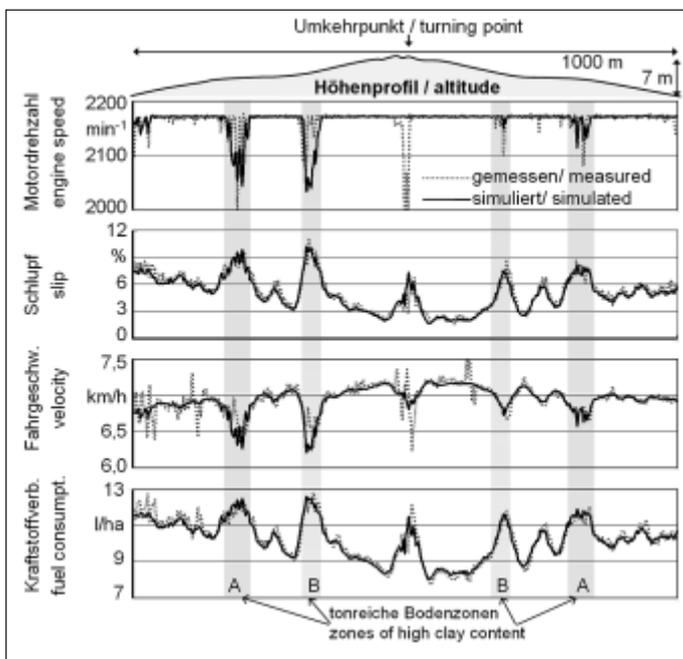


Bild 2: Vergleich zwischen Modellergebnissen und Messwerten zweier Fahrspuren

Fig 2: Comparison of the modelled and measured values

linke Hälfte des Diagramms zeigt die Fahrspur bergauf, die rechte Hälfte die parallele Fahrspur bergab. Entsprechend ist in der Mitte (nach etwa 500 m) der Umkehrpunkt. Die Darstellung wurde so gewählt, um bei annähernd gleichem Zugkraftverlauf in den nebeneinander liegenden Fahrspuren auch den Einfluss der Steigung sichtbar zu machen.

nung oben genannter Parameter optimiert, so dass die Rechenzeiten überschaubar gehalten werden.

Ein Schema des Modells ist in Bild 1 dargestellt. Auf der linken Seite stehen die Eingangsparameter, die im Falle der Zugkraft und der Reifenkennwerte aus separaten Modellen stammen können. Im rechten Teil betrachtet sind die Module des Traktormodells dargestellt. Im Einzelnen sind das Radlastmodell, Antriebsstrang, Getriebe und Motor, mit denen der Kraftstoffverbrauch berechnet wird.

Die genaue Funktion der einzelnen Module ist ausführlich in LANDTECHNIK-NET (ATF) [3] dargestellt.

Messeinrichtung zur Modellvalidierung

Zur Messung des Zugkraftbedarfes und des Kraftstoffverbrauches bei der Bodenbearbeitung wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Zugkraftkartierung ein Messsystem mit umfangreicher Messwertfassung aufgebaut [4]. Zur Messung wurde ein Traktor John Deere 6620 mit Grubber "Smaragd 9/300" der Firma Lemken eingesetzt. Die Hauptkomponenten des Messsystems sind ein hochgenaues RTK-GPS, 6-Komponenten Kraftmessung zwischen Traktor und Gerät, Erfassung von Messwerten (wie dem Kraftstoffverbrauch) aus dem CAN-BUS des Traktors sowie Messeinrichtungen zur Bestimmung der Arbeitstiefe des Bodenbearbeitungsgerätes.

Validierung des Modells

Zur Validierung des Modells ist zunächst die Aufbereitung der Messdaten erforderlich, anschließend können die Zugkraft, Steigung und seitliche Neigung in das Modell einfließen und die weiteren Werte bis hin zum Kraftstoffverbrauch berechnet werden. Die Ergebnisse sind in Bild 2 dargestellt. Die

stellung wurde so gewählt, um bei annähernd gleichem Zugkraftverlauf in den nebeneinander liegenden Fahrspuren auch den Einfluss der Steigung sichtbar zu machen.

Die oberste Kurve für die Motordrehzahl zeigt die durch den Tempomat konstant gehaltene Drehzahl. Lediglich in Bereichen großer Zugkraft stößt der Motor an die Leistungsgrenze und die Drehzahl bricht ein.

Der Schlupf, in der zweiten Kurve dargestellt, zeigt die größten Werte an den Stellen A und B eines tonreichen Bodens mit hohem Zugkraftbedarf, ebenfalls wird der Einfluss des Hanges deutlich.

Die Kurve der Fahrgeschwindigkeit korreliert entsprechend der Motordrehzahl und dem Schlupf gut. Kleinräumige Schwankungen können auf Messungenauigkeiten beruhen oder resultieren aus Reduzierungen der Geschwindigkeit, die nicht durch die Zugkraft begründet sind. Der Kraftstoffverbrauch im untersten Teil zeigt einen der Messung entsprechenden Verlauf. Die guten Ergebnisse basieren einerseits darauf, dass die gemessene Zugkraft als Eingangsparameter verwendet wurde und die Traktionsbedingungen auf trockenem Stoppelacker leicht modelliert werden konnten. Andererseits zeigt der hohe Grad der Übereinstimmung, dass das Modell das Traktorverhalten richtig darstellt.

Zur Bestimmung des Verbrauchs für den gesamten Schlag sind auch die Wendevorgänge und das Vorgehende zu berücksichtigen. Hierzu bieten sich verschiedene Ansätze an, die insbesondere die Schlaggröße und gegebenenfalls auch die Schlagform berücksichtigen. Im einfachsten Falle wird ein pauschaler Aufschlag hinzugefügt. Standzeiten, Rüstzeiten und die Anfahrt zum Feld können durch mehr oder weniger spezifische Annahmen berücksichtigt werden, die jedoch auf die Optimierung des Arbeitsprozesses an sich keinen Einfluss haben.

Ergebnisse der Modellierung

Ziel der Modellierung ist die Darstellung der Auswirkung einzelner Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch. Als ein Ergebnis ist der Einfluss der Hangneigung dargestellt. Der direkte Einfluss der Steigung ist zwar sehr groß, allerdings kann bei der Bodenbearbeitung davon ausgegangen werden, dass der Schlag nicht in eine Richtung bearbeitet wird und daher genauso viel bergauf wie bergab gefahren wird. Deshalb wurden jeweils Werte für gleiche Steigung bergauf und bergab gemittelt. Das Ergebnis ist anhand von Iso-Verbrauchslinien in Bild 3 dargestellt, der Allradantrieb war im Modell zugeschaltet und das Hinterachsdifferential nicht gesperrt.

Es ist zu erkennen, dass Steigungen bis 5° in Fahrtrichtung und bis 10° in seitlicher Richtung einen geringen Einfluss von unter 3° Abweichung auf den Verbrauch haben. Erst bei größeren Steigungen wird dieser relevanter. Der seitliche Neigungseinfluss, der durch starkes Durchdrehen (großen Schlupf) der hangoberen Räder bedingt ist, kann durch Differentialsperren nahezu vollständig ausgeschaltet werden.

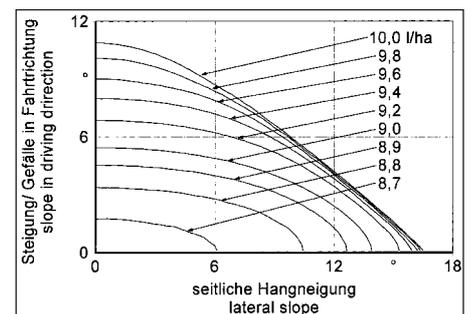


Bild 3: Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit der Hangneigung in x- und y-Richtung, gemittelt zwischen der Spur bergauf und bergab

Fig 3: Fuel consumption in dependence on lateral and longitudinal slope, mean values of driving up and down

Fazit

Das Simulationsmodell erfüllt die Anforderungen an Genauigkeit bei vertretbarer Rechenleistung, so dass einzelne Einflussfaktoren untersucht werden können. Die Validierung zeigte eine sehr gute Übereinstimmung mit real gemessenen Werten. In Zusammenarbeit mit der Projektgruppe Kraftstoffverbrauch des KTBL wird ein Katalog mit Minderungsmöglichkeiten erstellt. Die Ergebnisse der exakten Modellrechnungen sollen als Grundlage zum Aufstellen einfacher Berechnungsgleichungen mit guter Genauigkeit genutzt werden, um auch ohne exakte Modellierung gute Ergebnisse erzielen zu können.