

Marco Wiegandt und Hans-Heinrich Harms, Braunschweig

Traktoren automatisch bremsen

Landwirtschaftliche Transportzüge wiegen bis zu 40 t und erreichen Geschwindigkeiten von 60 km/h und mehr. Werden diese Züge bei Bergabfahrten alleine über eine Verringerung der Motorsolldrehzahl und/oder eine Vergrößerung der Getriebeübersetzung verzögert, so führt dies schnell zu einem Überdrehen des Motors und teils auch zu einem starken Schlupfanstieg an der Antriebsachse des Traktors und damit möglicherweise zu instabilem Fahrverhalten. Gerade bei Traktoren mit stufenlosen Getrieben ist dieses Gefahrenpotential besonders hoch. Ziel des vorgestellten Forschungsprojekts ist die Entwicklung von Strategien zum automatisierten Einsatz der Betriebsbremse in kritischen Fahrsituationen, um die Fahrsicherheit zu erhöhen und Schäden an Motor und Getriebe zu vermeiden.

Dipl.-Ing. Marco Wiegandt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der Technischen Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms); e-mail: m.wiegandt@tu-bs.de

Das Forschungsprojekt "Traktorbremssystem" wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert.

Schlüsselwörter

Traktoren, Fahrsicherheit, Bremsmanagement

Keywords

Tractors, driving safety, deceleration management

Landwirtschaftliche Traktoren werden in Deutschland häufig für Transportarbeiten eingesetzt. Typische landwirtschaftliche Transportzüge bestehen aus einem Traktor mit 6 bis 8 t Leergewicht und zwei deutlich schwereren Anhängern. Die Züge wiegen bis zu 40 t und erreichen Geschwindigkeiten bis zu 60 km/h. Wird nun bei Bergabfahrten versucht, den Zug alleine über eine Verringerung von Motorsolldrehzahl und/oder eine Vergrößerung der Getriebeübersetzung zu verzögern, ohne dass die Betriebsbremse eingesetzt wird, so kann es zu zwei Problemen kommen. Erstens besteht die Gefahr, dass der Dieselmotor überdreht, und zweitens können Instabilitäten beim Fahrverhalten auftreten. Da der Zug nur über die Antriebsachse des Traktors verzögert wird und die wesentlich schwereren Anhänger ungebremst sind, kann es zu einem starken Schlupfanstieg an den Antriebsrädern des Traktors kommen. Dies kann zu einem Einknicken des Zuges und damit zum Unfall führen (Bild 1).

Eine Betätigung der Betriebsbremse verhindert beide Probleme, da sowohl der Motor entlastet wird als auch durch das Abbremsen aller Achsen des Zuges der Schlupf an der Antriebsachse verringert wird.

Bei den heute verbreiteten Traktoren mit Teillastschaltgetrieben werden die geschilderten Probleme dadurch begrenzt, dass eine Vergrößerung der Getriebeübersetzung ohne Zugkraftunterbrechung nur in begrenztem Maße möglich ist. Spätestens bei einem Wechsel der Schaltgruppe ist der Fahrer gezwungen, die Betriebsbremse zu betätigen, um die nächstniedrigere Gruppe einzulegen. Anders ist dies jedoch bei den sich immer mehr am Markt durchsetzenden Traktoren mit stufenlosen Getrieben. Hier kann die Übersetzung einfach durch eine Betätigung von Fahrhebel oder -pedal sehr effizient vergrößert werden, ohne dass dabei eine Zugkraftunterbrechung auftritt. Dadurch wird das geschilderte Gefahrenpotential erheblich gesteigert, weil sehr hohe Bremsmomente erzeugt werden können.

Zwar gibt es von Seiten der Traktorenhersteller Maßnahmen, um die Probleme zu verringern. Mögliche Strategien sind etwa, dass im Schubbetrieb die Übersetzung nicht vergrößert werden kann oder dass bei einem Überdrehen des Motors die Getriebeübersetzung verringert wird. Durch beide Maßnahmen soll der Fahrer gezwungen werden, die Betriebsbremse zu betätigen. Sicherer und komfortabler wäre jedoch ein automatisier-

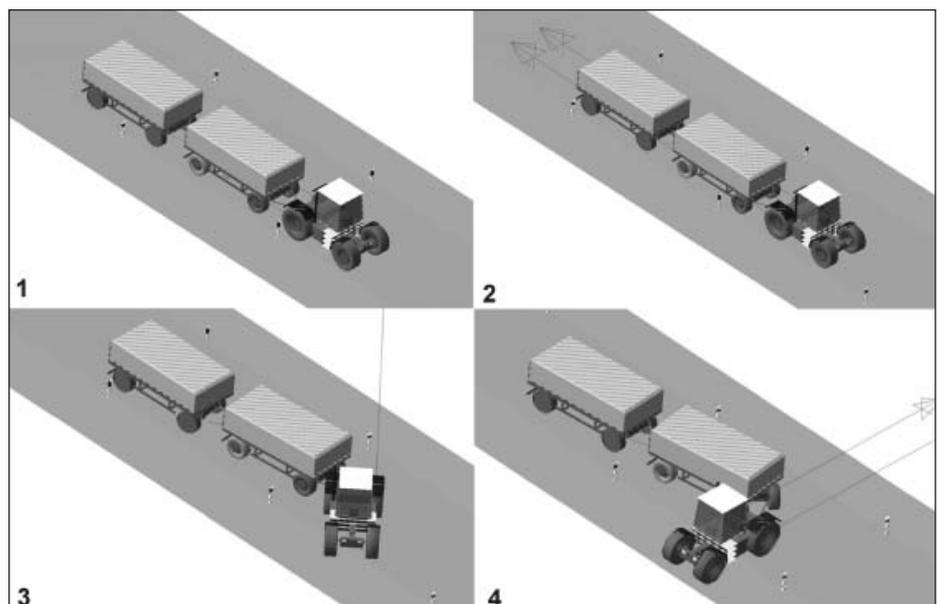


Bild 1: Einknicken eines landwirtschaftlichen Transportzugs

Fig. 1: Jack-knifing of a tractor-trailer combination

ter Einsatz der Betriebsbremse des Zuges in diesen Betriebsfällen.

Projektziele und Vorgehensweise

Um dies zu erreichen, wird am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig ein von der DFG gefördertes Forschungsprojekt durchgeführt, in dem Grundlagen zum automatisierten Bremsen von Traktoren mit stufenlosen Getrieben in den oben genannten Betriebsfällen erarbeitet werden sollen.

Dazu sollen zunächst Betriebsgrößen identifiziert werden, anhand derer kritische Fahrsituationen erkannt werden können. Hierbei soll möglichst auf Messgrößen zurückgegriffen werden, die schon heute während des Traktorbetriebs gemessen und ausgewertet werden. Auf eine aufwändige zusätzliche Sensorik, wie sie etwa für elektronische Fahrdynamikregelungen im PKW- und LKW-Bereich eingesetzt wird, soll verzichtet werden. Anschließend sollen Regelstrategien zum automatisierten Einsatz der Betriebsbremse entwickelt werden.

Die Untersuchungen werden an einem stationären Versuchsstand und parallel dazu anhand eines numerischen Simulationsmodells des Systems Traktor-Anhänger-Fahrbahn durchgeführt.

Das Simulationsmodell wurde mit dem Programmpaket Matlab/Simulink erstellt und bildet einen Traktor mit zwei Zweichsanhängern ab. Es wurden das Verhalten von Dieselmotor, Getriebe, die im Fahrbetrieb entstehenden Kräfte und Momente sowie der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn modelliert. Es handelt sich um ein einspuriges Modell, Kurvenfahrten werden nicht berücksichtigt. Bild 2 zeigt eine Verifikation des Simulationsmodells anhand der Messung eines Fahrversuchs, der mit einem Traktor samt Anhänger durchgeführt wurde. Es handelte sich um einen Beschleunigungsvorgang aus dem Stand auf 35 km/h mit anschließendem Verzögern bis zum Stillstand. Die Motorsolldrehzahl war konstant, es wurde lediglich die Getriebeübersetzung verändert. Abgebildet sind die Verläufe von Motordrehzahl, Motormoment und Fahrgeschwindigkeit. Beim Beschleunigungsvorgang stimmen die Verläufe der Messgrößen von Simulation und realem System sehr gut überein. Lediglich beim Verzögern gibt es einige Abweichungen, was vor allem daran liegt, dass der Schleppmomentenverlauf des im Fahrversuch verwendeten Dieselmotors nicht bekannt war und deshalb abgeschätzt werden musste. Die Begrenzung der Motordrehzahl auf 2300 min^{-1} beim Verzögern wird durch eine der oben angesprochenen Maßnahmen zum Schutz des Dieselmotors gegen ein Überdrehen verursacht. Dabei

Bild 2: Vergleich von Fahrversuch und Simulation

Fig. 2: Comparing field test and simulation

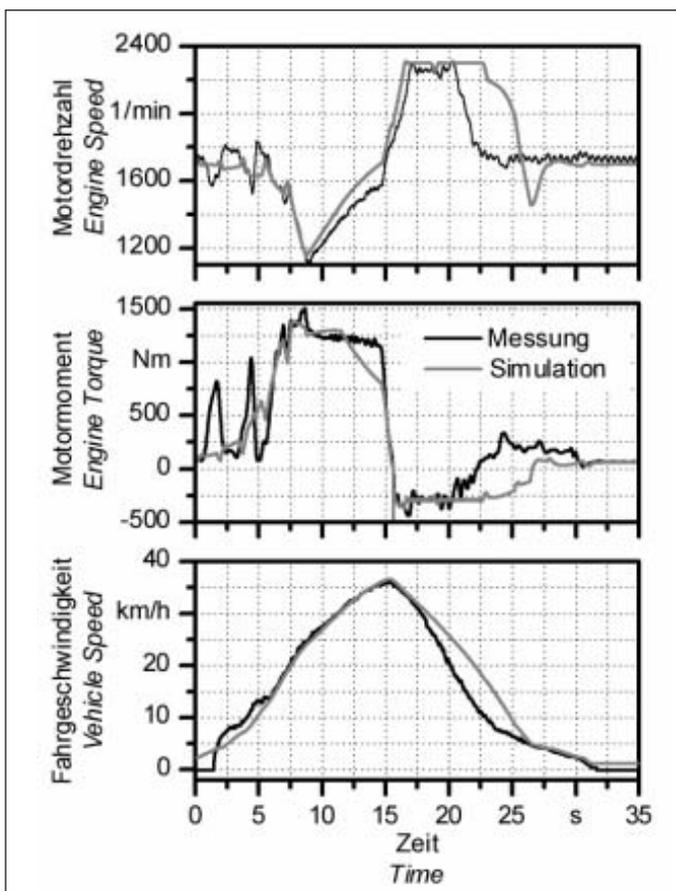
wird beim Überschreiten einer Motordrehzahl von 2300 min^{-1} das Getriebe nicht weiter ins langsame verstellt.

Der Versuchsstand enthält einen Dieselmotor, ein stufenloses Getriebe und eine elektrisch ansteuerbare Betriebsbremse im Abtriebsstrang. Für die Berechnung der im Fahrbetrieb auftretenden Belastungen wird das Simulationsmodell (reduziert um Motor und Getriebe) mit dem Versuchsstand gekoppelt. Die Belastungen werden als Reaktionen auf das Betriebsverhalten von Motor und Getriebe in Echtzeit im Simulationsmodell berechnet und durch eine Hydraulikeinheit in den Abtriebsstrang eingeleitet. Da am Versuchsstand auf Grund der Begrenzung der von der Hydraulik erzeugbaren Leistungen nur ausgewählte Fahrsituationen abgebildet werden können, findet der Großteil der Untersuchungen am Simulationsmodell statt, wo nahezu beliebige Betriebsbedingungen erzeugt werden können.

Erkennen kritischer Betriebszustände

Der wohl am häufigsten auftretende kritische Betriebszustand ist das Überdrehen des Dieselmotors. Das Erkennen dieses Zustands ist problemlos möglich, da hierzu lediglich das Drehzahlsignal des Motors ausgewertet werden muss. Dadurch können das Überdrehen schon frühzeitig erkannt und rechtzeitig entsprechende Maßnahmen durch Betätigung der Betriebsbremse ergriffen werden.

Schwieriger dagegen ist die Erkennung von Instabilitäten im Fahrverhalten durch zu großen Schlupf an der Hinterachse. Ein möglicher Indikator ist beispielsweise die durch das Bremsen mit Motor und Getriebe erzeugte Verzögerung, die relativ einfach aus den Drehzahl- und Übersetzungsänderungen abgeleitet werden kann. Ein weiterer Ansatz wäre eine Abschätzung der Brems-



kräfte an der Antriebsachse, die bei bekannter Schleppmomentenkennlinie des Motors und bekanntem Getriebewirkungsgradkennfeld anhand von Motordrehzahl und Getriebeübersetzung ermittelt werden könnten. Nachteilig an diesen Ansätzen ist jedoch, dass schon bei relativ geringen Verzögerungen oder Belastungen die Betriebsbremse betätigt werden muss, da die aktuellen Kraftschlussverhältnisse zwischen Reifen und Fahrbahn nicht berücksichtigt werden und deshalb aus Sicherheitsgründen immer von einem geringen Kraftschlussbeiwert ausgegangen werden muss.

Sinnvoller könnte hier eine Berechnung des vorhandenen Schlupfs unter Verwendung der in vielen Traktoren vorhandenen Radarsensoren zur Messung der realen Fahrzeuggeschwindigkeit sein. Zur Erkennung kritischer Fahrsituationen könnten sowohl der Absolutwert des Schlupfs als auch die Schlupfänderungsrate herangezogen werden.

Ausblick

Der nächste Projektschritt besteht darin, eine Vorgehensweise zur Erkennung instabiler Fahrsituationen basierend auf den oben angesprochenen Ansätzen zu erarbeiten. Anschließend werden Regelstrategien zum automatisierten Einsatz der Betriebsbremse in kritischen Betriebsfällen entwickelt.