

Andreas Bogala und Alfred Ulrich

# Verfahren zur Verbesserung des Fahrverhaltens schnelllaufender Traktor-Geräte-Kombinationen

Bedingt durch den steigenden Anteil der Transportfahrten beim Einsatz von landwirtschaftlichen Traktoren gewinnt die Betrachtung der fahrdynamischen Eigenschaften dieser Fahrzeuge an Bedeutung. Die im Folgenden vorgestellten Forschungsaktivitäten zeigen einen Ansatz, um die Fahrzeugquerdynamik von Traktoren mit schweren, am Heck angebauten Geräten zu verbessern. Dies wird über eine mechanische Entkopplung in Kombination mit einem intelligenten Mitführen des Anbaugerätes bei Kurvenfahrt erreicht. Das Verfahren wurde in ausgiebigen Fahrversuchen analysiert, wodurch die positive Wirkung bestätigt werden konnte.

## Schlüsselwörter

Traktor, Fahrdynamik, Fahrdynamikregelung, Fahrsicherheit

## Keywords

Tractor, vehicle dynamics, vehicle dynamics control system, driving safety

## Abstract

Bogala, Andreas and Ulrich, Alfred

Method for the improvement of the road behaviour of fast running tractor-implement-combinations

Landtechnik 65 (2010), No. 6, pp. 430-433, 5 figures, 5 references

Due to the steady increase of traveling longer distances with tractors, vehicle dynamics are becoming more and more important. The research activities presented here show an approach for improving the lateral dynamic behavior of tractors with heavy duty implements mounted at the rear. This can be done by decoupling the implement and tractor in combination with intelligent implement movements during cornering. The method was investigated during extensive road trials, which verified the positive effect.

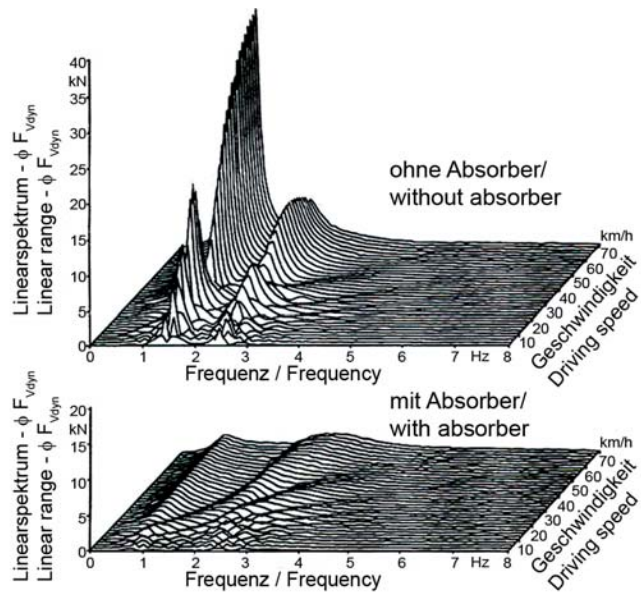
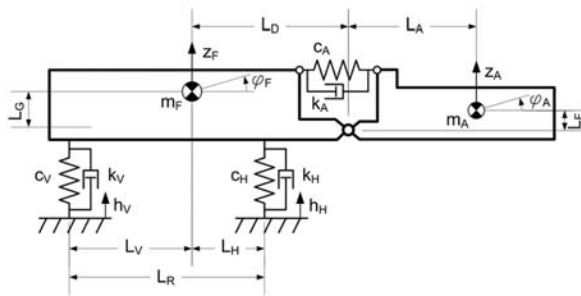
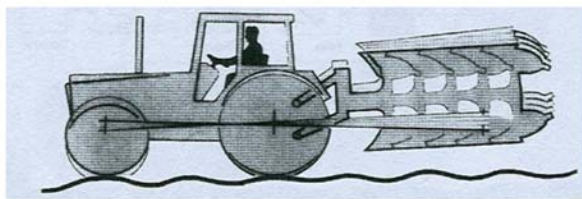
Die Höchstgeschwindigkeit landwirtschaftlicher Traktoren hat sich in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich erhöht und auch die Fahrzeugmassen sowie die Anbaumassen sind weiter angestiegen. Dadurch nähern sich diese Fahrzeuge den physikalischen Grenzen der Fahrdynamik an. Bedingt durch das sehr große Massenträgheitsmoment der Traktor-Geräte-Kombinationen müssen bei Kurvenfahrt durch die Reifen entsprechend große Seitenführungskräfte aufgebracht werden. Wird hierbei die Kraftschlussgrenze überschritten, ist das Fahrzeug nicht mehr kontrollierbar. Daher sind neue Überlegungen bezüglich der aktiven Verbesserung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts von Traktoren mit schweren Anbaugeräten notwendig.

## Methodischer Ansatz

Die bisherigen Maßnahmen zur Verbesserung der fahrdynamischen Eigenschaften von Traktoren betreffen größtenteils die vertikale Fahrzeughaltung, während im Vergleich dazu Maßnahmen zur unmittelbaren Einflussnahme auf die Querrichtung noch erhebliches Verbesserungspotenzial bieten.

Die Idee, die vergleichsweise großen Anbaumassen zu verwenden, um das Fahrverhalten während der Transportfahrt, speziell bei hohen Fahrgeschwindigkeiten, positiv zu beeinflussen, ist nicht neu. In [1] wurde dies über eine nicht starre Ankopplung des Anbaugerätes realisiert (**Abbildung 1**). Durch den Einbau eines Feder-/Dämpferelementes in der Koppel-ebene kann die Anbaumasse auf diese Weise als Absorbermasse genutzt werden. Dieser Schwingungsabsorber führt zu einer Reduzierung der Nickschwingungen, wodurch die dynamischen Achslasten, speziell an der Vorderachse, bei ungefederten Fahrzeugen um bis zu 80 % verringert werden. Als Resultat ergibt sich eine Erhöhung der Lenkfähigkeit und damit eine gesteiger-

Abb. 1



Verfahren zur Reduzierung der Nickschwingungen [1]  
 Fig. 1: Method to reduce the pitch oscillations [1]

te Fahrsicherheit. Diese Idee der Entkopplung von Teilmassen wurde in dem hier vorgestellten Forschungsprojekt aufgegriffen und ein zusätzlicher Freiheitsgrad um die Hochachse eingefügt (**Abbildung 2**). Durch die nun mögliche Relativbewegung kann zwischen der Gierbewegung des Fahrzeugs und der Gierbewegung des Anbaugerätes unterschieden werden. Eine Beschleunigung des Fahrzeugs infolge von Lenkbefehlen führt demnach nicht notwendigerweise zu einer Beschleunigung der Anbaumasse.

Die beschriebene Relativbewegung kann nach dem derzeitigen Stand der Technik mit geringem konstruktivem Aufwand realisiert werden, da das Dreipunktgestänge in Verbindung mit den Seitenstabilisatoren an den Unterlenkern bereits den entsprechenden Freiheitsgrad bietet. Hydraulische Seitenstabilisatoren kommen derzeit für das Umschalten zwischen der schwimmenden und der starren Ankopplung des Anbaugerätes zum Einsatz, wobei bei Straßenfahrt stets eine starre Kopplung

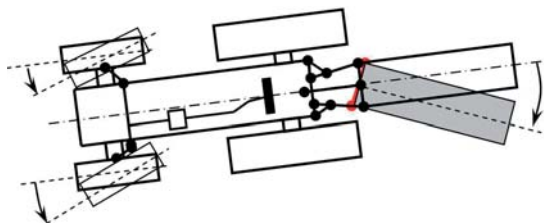
vorliegen muss. Diese Stabilisatoren lassen sich ideal als Aktoren des vorgestellten Systems einsetzen und werden so um eine zusätzliche Funktionalität erweitert.

Um definierte Relativbewegungen des Anbaugerätes zu gewährleisten, sind die Entwicklung und der Aufbau eines Regelkreises erforderlich, wobei die maßgebliche Herausforderung in der Generierung der benötigten Soll-Bewegungsgrößen des Anbaugerätes besteht. Hierfür werden im Folgenden zunächst die Hauptentwicklungsziele benannt:

- Reduzierung des Giermomentes, d. h. Verringern der von den Reifen aufzubringenden Seitenführungskräfte bei instationärer Kurvenfahrt
- Reduzierung der Wankbewegungen des Traktors durch eine Schwerpunktverschiebung des Anbaugerätes
- Nachführen des Anbaugerätes in der Fahrspur des Traktors zur Minimierung der in Anspruch genommenen Verkehrsfläche
- Gewährleistung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens für den Fahrzeugführer und die übrigen Verkehrsteilnehmer
- Berücksichtigung des subjektiven Sicherheitsempfindens des Fahrers

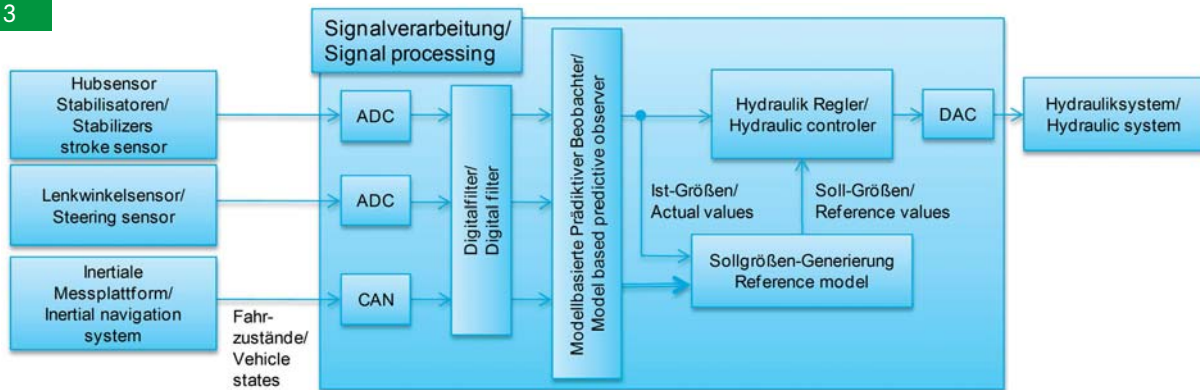
Basierend auf den formulierten Zielen wird ein bestehendes System, nämlich der Anhänger, als Vorbild für das Systemverhalten gewählt, wobei dieser stets ein ideales Verhalten aufweisen soll. Das hat zur Folge, dass das Anbaugerät im Rahmen der konstruktiven Einschränkungen immer die Bewegungen durchführt, die ein vom Traktor gezogener Anhänger vollziehen würde.

Abb. 2



Darstellung der Grundidee  
 Fig. 2: Visualisation of the basic idea

Abb. 3



Schematischer Aufbau des Regelungssystems  
 Fig. 3: Schematic representation of the control system

### Aufbau des Regelungssystems

In **Abbildung 3** ist der grundlegende Aufbau des Regelungssystems dargestellt. Über verschiedene Sensoren werden die notwendigen Eingangsgrößen bereitgestellt. Dies ist zum einen die Ist-Position des Anbaugerätes relativ zum Traktor, welche aus dem Hub der hydraulischen Seitenstabilisatoren berechnet wird. Darüber hinaus werden der Lenkwinkel an der Vorderachse und die aktuellen Fahrzustände, wie Fahrgeschwindigkeit, Querbeschleunigung und Gierrate erfasst. Über geeignete Filterfunktionen wird das Messrauschen der Signale reduziert, soweit dies notwendig ist.

Die Berechnung der Soll-Größen basiert, wie oben beschrieben, auf dem Modell eines angehängten Gerätes. Dieses Modell generiert in Echtzeit die Soll-Bewegungen, die den Bewegungen eines gedachten, an den Traktor gekoppelten Anhängers in der vorliegenden Fahrsituation entsprechen. Der Hydraulik-Regler ist so ausgelegt, dass ein schnelles und vor allem gut gedämpftes Einschwingen auf die Soll-Bewegungsgrößen erreicht wird. Die Sensoren können die Fahrzeugbewegungen erst aufnehmen, nachdem diese bereits stattgefunden haben. Es ist jedoch erforderlich, dass die Anbaubewegungen, entsprechend den berechneten Soll-Größen, synchron zu den Bewegungen des Fahrzeuges durchgeführt werden. Daher kam in dieser Regelung ein prädiktiver Beobachter zum Einsatz, welcher in der Lage war, aus den aktuellen gemessenen Fahrzuständen und dem gemessenen Lenkwinkel zukünftige Fahrzustände zu berechnen.

Diese Berechnung geschieht, basierend auf der mathematischen Beschreibung des Fahrzeugverhaltens, mit dem sogenannten Einspurmodell [2]. Das Einspurmodell stellt eine einfache Beschreibungsform der Fahrzeugquerdynamik dar und ist im PKW-Bereich weit verbreitet, beispielsweise beim ESP. Diese Standardbeschreibung hat jedoch keine Gültigkeit für niedrige Fahrgeschwindigkeiten unterhalb von etwa 50 km/h [3], da hier der Einfluss der Einlaufdynamik der Reifen nicht mehr vernachlässigt werden kann. Daher musste dieser Modellansatz für die Anwendung bei Traktoren entsprechend erweitert werden [4]. Durch den prädiktiven Ansatz ist es gelungen, für die Regelung ein ausreichend großes Zeitfenster zu schaffen, um die Soll-Größen exakt zum richtigen Zeitpunkt einzuregeln.

### Praktische Fahrversuche

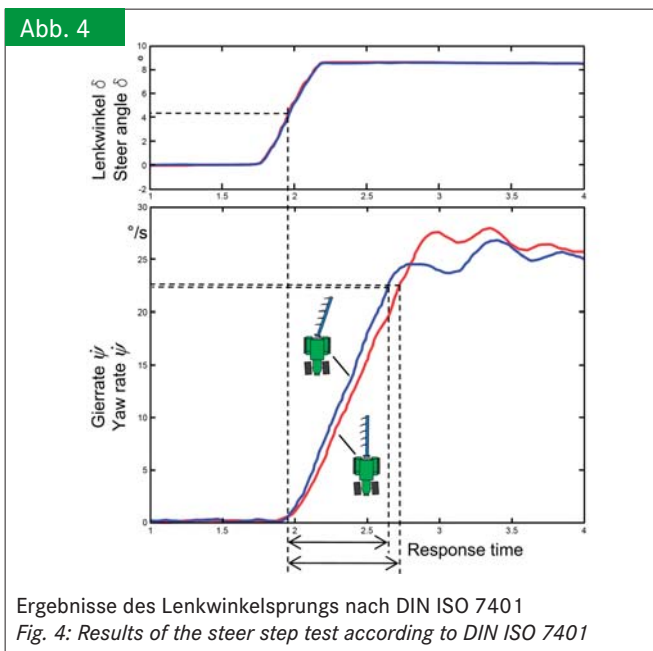
Um das entwickelte System unter praxisnahen Bedingungen testen zu können, wurde ein Demonstrator-Fahrzeug aufgebaut. Hierfür wurde eine Gerätekombination, bestehend aus Traktor und Pflug mit Aktoren, Sensoren und Geräten für die Signalverarbeitung ausgestattet. Die ausgewählten Fahrversuche basierten auf Normen aus dem PKW-Bereich, welche für die Anforderungen von schweren Arbeitsmaschinen angepasst wurden. Alle Versuche wurden unter Verwendung des Regelungssystems und als Referenz mit starr gekoppeltem Anbaugerät durchgeführt.

Im Bereich der Untersuchung der Fahrzeugquerdynamik gehört der Lenkwinkelsprung zum Standardrepertoire. Bei diesem Versuch wird, ausgehend von der Geradeausfahrt, das Lenkrad schnellstmöglich auf einen definierten Winkel bewegt und festgehalten, bis ein stationärer Fahrzustand erreicht ist. Dieser Lenkwinkel muss entsprechend der Norm eine stationäre Querbeschleunigung von  $4 \text{ m/s}^2$  hervorrufen. Der Lenkwinkelsprung erlaubt es, Kenngrößen zu ermitteln und objektive Aussagen über das Ansprechverhalten des Fahrzeuges auf Lenkbewegungen zu treffen, da der Einfluss des Fahrers minimiert wird.

**Abbildung 4** zeigt, dass die Fahrzeugreaktion, hier die Giergeschwindigkeit, bei Verwendung des Regelungssystems einen steileren Anstieg aufwies als ohne, was einem direkteren Fahrverhalten entsprach. Die Schnelligkeit der Fahrzeugreaktion kann beispielsweise über die sogenannte response time quantifiziert werden. Die Bestimmung dieser Größe wurde für die Fahrversuche entsprechend der Norm durchgeführt. Durch den Einsatz des Regelungssystems wurde die response time im vorliegenden Fall um 15 % reduziert, was im Bereich der Fahrzeugquerdynamik eine erhebliche Verbesserung darstellte.

Einen weiteren wichtigen Test stellt der doppelte Spurwechsel dar (**Abbildung 5**). Hierbei wird simuliert, dass das Gespann einem plötzlich auftauchenden Hindernis ausweicht und anschließend auf die Ausgangsspur zurückgelenkt wird. Ein Testlauf gilt als erfolgreich, wenn bei der Durchfahrt keiner der aufgestellten Pylone berührt wurde. Im Vergleich zum

Abb. 4



Lenkwinkelsprung erlaubt dieser Versuch eher subjektive Aussagen, da der Fahrer durch seine Regeltätigkeit einen erheblichen Einfluss auf den Testverlauf hat. Der Test liefert jedoch wichtige Angaben bezüglich der Lenkwilligkeit und der Fahrstabilität des untersuchten Fahrzeugs.

Der Versuch wurde mit mehreren Fahrern durchgeführt, wobei von allen Fahrern zwei Punkte hervorgehoben wurden. Zum einen sprach das geregelte System direkter beim Herauslenken aus der Einfahrts- und der Ausweichgasse an. Dies bestätigte die Ergebnisse des Lenkwinkelsprungs. Zum anderen wies das geregelte System eine erhöhte Fahrstabilität auf, was sich in einer besseren Beherrschbarkeit des Fahrzeugs in der zweiten und vor allem in der dritten Gasse äußerte, welche den besonders anspruchsvollen Teil des Tests darstellte.

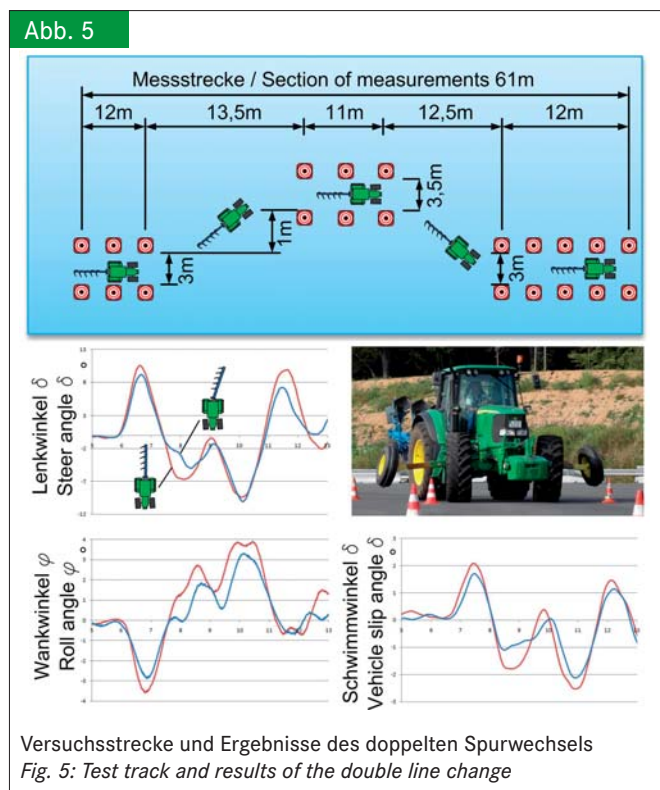
Die während der Versuchsfahrten aufgezeichneten Messgrößen belegten diese subjektiven Fahrereindrücke weitestgehend. So zeigten sich vor allem bei der Einfahrt in die zweite und dritte Gasse reduzierte Lenkwinkel, Wankwinkel und Schwimmwinkel, wobei der Schwimmwinkel ein geeignetes Maß für die Beurteilung der Kontrollierbarkeit eines Fahrzeugs darstellte.

Insgesamt wurde das erfolgreiche Absolvieren des Tests deutlich vereinfacht, was sich auch in einer Erhöhung der Erfolgsrate von etwa 30 auf 80 % über alle Fahrer äußerte.

**Schlussfolgerungen**

Es wurde gezeigt, wie das Verhalten eines Systems aus Traktor und Anbaugerät mechatronisch verbessert werden kann. Die vorgestellten Ergebnisse lassen ein erhebliches Potenzial des vorgestellten Ansatzes erkennen. Vorteilhaft im Hinblick auf eine mögliche Markteinführung ist die Tatsache, dass viele Traktoren bereits die erforderlichen konstruktiven Anforderungen erfüllen und mit den hydraulischen Seitenstabilisatoren geeignete Aktoren in Form von Serienprodukten bereitstehen.

Abb. 5



Es wird davon ausgegangen, dass ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung des Fahrkomforts und der Fahrsicherheit von Traktoren geleistet werden konnte. Das vorgestellte Verfahren wurde zum Patent angemeldet [5].

**Literatur**

- [1] Ulrich, A. (1978): Ein Verfahren zur Erhöhung der Fahrsicherheit bei Traktoren mit angebauten Heckgeräten. Landtechnik 33 (11), S. 511-512
- [2] Riekert, P.; Schunck, T.E. (1940): Zur Fahrmechanik des gummbereiften Kraftfahrzeugs. Ingenieurarchiv (11)
- [3] Isermann, R. (2006): Fahrdynamik-Regelung – Modellbildung, Fahrerassistenzsysteme, Mechatronik. Wiesbaden, Vieweg Verlag, 1. Aufl.
- [4] Bevely, D.M.; Gerdes, J.C. (2002): A new yaw dynamic model for improved high speed control of a farm tractor. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control 124 (4), pp. 659-667
- [5] Ulrich, A. (2006): DE 102006023603A1

**Autoren**

**Dipl.-Ing. (FH) Andreas Bogala M.Sc.** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von **Prof. Dr. Alfred Ulrich** am Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien, Fachhochschule Köln, Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, E-Mail: Andreas.Bogala@fh-koeln.de

**Danksagung**

Die Autoren danken den am Projekt beteiligten Firmen John Deere, GKN Walterscheid, Lemken, PTG und ITI für die umfangreiche Unterstützung in Form von fachlicher Beratung und geldwerten Leistungen. Das Projekt wurde gefördert mit Mitteln des Bundesministerium für Bildung und Forschung.