

Jan Schattenberg, Georg Happich, Thorsten Lang und Hans-Heinrich Götting

Konvoi – sichere automatische Fahrzeugführung auf der Basis von Umfeldsensorik

Im Zusammenhang mit automatisierten Fahrzeugen werden auch im landwirtschaftlichen Bereich zunehmend Lösungen diskutiert, bei denen ein autonomes Fahrzeug einem gesteuerten Fahrzeug folgt. Parallele Überladeverfahren und Reihenaufbereitung in der Landtechnik oder Konvoi-Fahrten von Lkw stellen die naheliegendsten Einsatzszenarien für dieses Prinzip dar. In einer Kooperation der Götting KG, Lehrte, mit dem Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig wurde zur Cebit 2009 ein komplett in Eigenleistung aufgebautes System gezeigt, mit dem diese sogenannte „Konvoi-Fahrt“ ermöglicht wird.

Schlüsselwörter

Fahrzeugführung, Sicherheit, Kraftstoffeinsparung, elektronische Deichsel

the „convoy“-mode. The system has been independently developed during a cooperation of the Götting KG and the Institute of Agricultural Engineering and Fluid Power of the TU Braunschweig.

Keywords

Vehicle guidance, safety, fuel economy, eletronical tow-bar

Abstract

Schattenberg, Jan; Happich, Georg; Lang, Thorsten and Götting, Hans-Heinrich

Convoy – safe automatical vehicle guidance based on environmental sensing technologies

Landtechnik 65 (2010), no. 4, pp. 252-255, 4 figures, 5 references

Regarding to the development of automatical vehicle guidance nowadays – even in the field of agriculture – several solutions are being discussed. One solution is that one unmanned vehicle autonomously follows another manned vehicle. In agriculture parallel loading processes as well as row based tillage or seeding operations are the most common usage scenarios. In the field of automotive engineering the likely usage of this principle is in platoons or convoys of vehicles. At the Cebit 2009 trade fair a system has been presented, which demonstrates

Der Betrieb vollautomatischer Fahrzeuge bietet viele Vorteile. Im industriellen Umfeld haben sich seit Längerem zur Bewältigung von z.T. komplexen Transportaufgaben die sogenannten Fahrerlosen Transportfahrzeuge (FTF) durchgesetzt. Dort werden diese Fahrzeuge unter anderem in Bereichen eingesetzt, in denen sich zugleich Personen aufhalten können. Dennoch ist die Anzahl schwerer Unfälle verschwindend gering, die auf den Einsatz von FTF zurückzuführen sind.

Verschiedene Einsatzgebiet autonomer Fahrzeuge

Im Vergleich dazu stellen sich bei einem Betrieb autonomer Fahrzeuge im Außenbereich schnell komplexere und schwierigere Herausforderungen. Zum einen werden aufgrund der größeren Streckenleistungen auch höhere Geschwindigkeiten der Fahrzeuge gefordert. Zum anderen kommen Anforderungen der Hinderniserkennung, der Bremswegberechnung sowie allgemeiner Sicherheitsaspekte gegenüber anderen Teilnehmern hinzu, z.B. im öffentlichen Straßenverkehr. Sind zusätzlich die Faktoren Feuchtigkeit, Staub, Temperaturwechsel oder Glätte auf den Straßen zu berücksichtigen, erhöhen sich die Anforderungen an die eingesetzte Sensorik und Datenverarbeitung nochmals. Darüber hinaus werden die FTF noch für viel rauere Umgebungsbedingungen als den Straßenverkehr diskutiert, z.B. für Baumaschinen und Landmaschinen. Unabhängig davon, ob es sich um Fahrzeuge auf Straßen oder im Bereich „Off-

Highway“ handelt, können die autonomen Fahrzeuge nach der Betriebsart unterschieden werden. Auf der einen Seite gibt es den vollkommen autonomen Betrieb der Fahrzeuge, bei dem die Fahraufgabe eigenständig gelöst werden muss. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit eines Konvoi- oder auch Master-Slave-Betriebes, bei dem z.B. ein autonomes Fahrzeug einem von einem Menschen gesteuerten Fahrzeug folgt.

In diesem Artikel wird ein Konvoi-System beschrieben, das zur Cebit 2009 vorgestellt wurde. Die Messedemonstration wurde komplett aus Eigenmitteln in einer Kooperation zwischen dem Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig und der Firma Götting KG aufgebaut und seitens des TÜV Nord in Anlehnung an DIN EN 1525 geprüft und genehmigt.

Stand der Forschung

Konvoi-Systeme werden schon seit längerer Zeit erforscht. Im Bereich der straßengeführten autonomen Fahrzeuge sind diesbezüglich zwei Großvorhaben hervorzuheben. Im Rahmen des „California PATH“ (California Partners for Advanced Transit and Highways), bestehend aus einem Konsortium um die Universität von Kalifornien in Berkley sowie einer Vielzahl öffentlicher und privater Träger, wurde das sogenannte „Vehicle Platooning“ realisiert [1]. Im Europäischen Raum wurde unter der Führung von DaimlerChrysler das CHAUFFEUR Projekt ins Leben gerufen; in diesem wurden Lastkraftwagen über eine elektronische Deichsel gekoppelt [2]. Die Fahrdaten des führenden Fahrzeuges wurden an ein zweites Fahrzeug übermittelt, welches mit diesen Informationen dem führenden folgen konnte. Bei beiden Projekten wurde eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs durch die Minimierung des Fahrzeugabstandes angestrebt, der durch dessen sensorische Überwachung realisiert werden kann. Das direkte Hintereinanderfahren senkt den Luftwiderstand des folgenden Fahrzeuges und somit auch dessen Kraftstoffverbrauch.

Auch bei mobilen Arbeitsmaschinen, speziell in der Landtechnik, wird die Idee des Konvoi-Betriebes wissenschaftlich bearbeitet. Unter anderem wird am Lehrstuhl für mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruhe Institute of Technology (KIT) seit zwei Jahren ein vom Bundesministerium für Forschung und Entwicklung finanziertes Projekt bearbeitet, in welchem ein Traktor einem anderen entsprechend dessen Fahr- und Positionssignalen mit einem definierten seitlichen Versatz folgt [3]. Neben dem im Folgenden vorgestellten System werden am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig weitere Szenarien kooperativer Fahrzeugführung auf Basis zweier vollautonomer Feldroboter sowie deren Umsetzung mittels sensorische Hardware untersucht [4].

Beschreibung des Konvoi-Systems

Das Konvoi-System belegt die grundsätzliche Machbarkeit eines Konvois mittels einer elektronischen Deichsel. **Abbildung 1** zeigt das System während des Demonstrationbetriebes auf der Cebit 2009. Es besteht aus einem Traktor vom Typ Fendt



Konvoi-System auf der Cebit 2009. Foto: Götting KG
Fig. 1: Convoy system at Cebit 2009

Vario 818 TMS und einem Pkw vom Typ Smart. Es wurde während der Messe erfolgreich unter verschiedensten Witterungsbedingungen vorgestellt; aufgrund der kleinen Fläche wurden allerdings relativ niedrige Geschwindigkeiten bis ca. 6 km/h gefahren.

Für den sicheren automatischen Betrieb des Traktors wurde dieser in seiner technischen Ausstattung um verschiedene Elemente erweitert (**Abbildung 2**). Der Traktor ist in seiner Grundkonfiguration mit der Rückfahreinrichtung der Firma Neumaier ausgerüstet. In vorhergehenden Arbeiten [5] wurde am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig ein System entwickelt, welches die Ansteuerung der elektrohydraulischen Lenkung durch ein eigenes Steuergerät erlaubt.

Für den fahrerlosen Betrieb wurde ein Betriebsmodus gewählt, bei dem das Lenkrad mechanisch entkoppelt ist. Dementsprechend sind die beim Traktor grundsätzlich vorhandenen Funktionen des elektronischen Lenkens und elektronischen Bremsens nutzbar. Die ursprünglichen Impulse des Sollwertgebers werden über die ECU nachgestellt und mittels einer Relaischaltung in das System eingespeist. Dieses stellt sicher, dass das ursprüngliche Sicherheitskonzept der Steer-by-wire-Lenkung weiterhin Bestand hat.

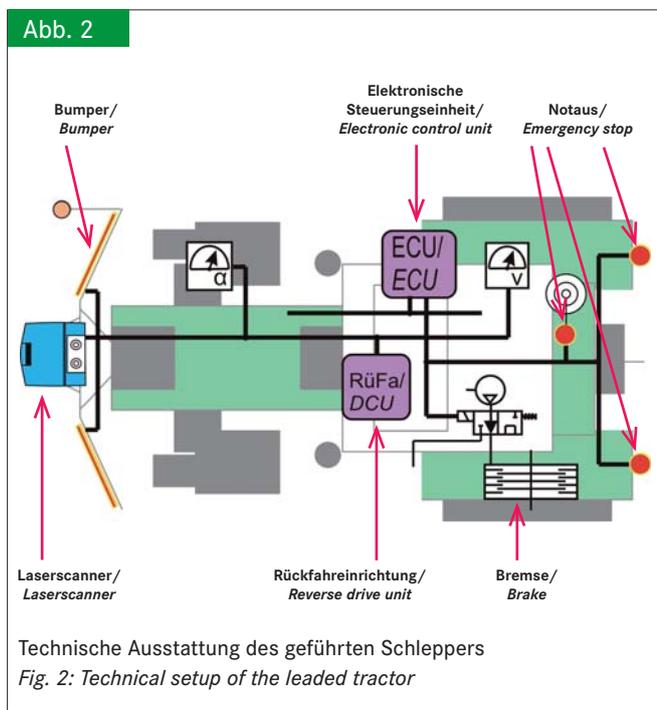
Die Ansteuerung für die Längsdynamik erfolgt direkt durch die Vorgabe der entsprechenden Steuerkommandos auf den CAN-BUS. Der Traktor wird bei konstanter Motordrehzahl knapp über der Leerlaufdrehzahl betrieben, die Geschwindigkeit wird ausschließlich über die Verstellung des Vario-Getriebes gesteuert. Dadurch ist die Geschwindigkeit bei maximaler Übersetzung auf ca. 6 km/h begrenzt.

Zusätzlich können die Funktion des Reversierens sowie – im Falle eines Nothalts – die Getriebe-Neutralstellung durch direkte Steuerkommandos genutzt werden.

Die aktuelle Geschwindigkeit des Traktors wird über die entsprechende CAN-Botschaft auf dem Getriebe-BUS abgegriffen. Zusätzlich werden Informationen eines in der Hinterradfelge verbauten Drehgebers und eines an der Vorderachse in-

stallierten Lenkwinkelgebers in der zentralen ECU eingelesen und verarbeitet. Die Verzögerung des Fahrzeuges wird in erster Linie durch die Übersetzung des Vario-Getriebes erreicht, zudem wird das in oben beschriebenen Betriebsmodus aktive Brake-by-wire-Bremssystem mittels eines Analogsignals angesteuert.

Für eine sichere Notstoppfunktion im niedrigen Geschwindigkeitsbereich wird die traktoreigene Luftdruckbremse genutzt. Ein zusätzliches Sicherheitsmagnetventil ist als Bypass in die Leitung zur Handbremsfunktion geschaltet (**Abbildung 2**). Dieses öffnet im Notfall oder bei Spannungsverlust, was zu einem Ansprechen der Betriebsbremse führt. Gleichzeitig erfolgt ein Notkuppeln, um synchron zur Notbremsfunktion den Motor vom Antrieb abzutrennen.



In der Frontdreipunkt-Aufhängung des Traktors ist eine Konstruktion installiert, in welcher mehrere Erkennungs- und Sicherheitsfunktionen untergebracht wurden, welche im folgenden Abschnitt genauer beschrieben werden.

Umfassendes Sicherheitskonzept

Das Sicherheitskonzept besteht aus mehreren, unabhängig voneinander arbeitenden Systemen. Ein Laserscanner (Typ Sick LMS 291) wird ausschließlich für die Objekterkennung genutzt. Ein weiterer, für den Außenbereich zugelassener Sicherheitslaserscanner (Typ LMS 221), ist ebenfalls im Frontkraftheber installiert und kontrolliert einen definierten Sicherheitsbereich auf Fremdobjekte. Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Scanners dient ein fest installiertes Referenzobjekt, welches jederzeit erkannt werden muss (**Abbildung 3**). Tauchen weitere Objekte in der definierten Sicherheitszone von 1,5 m vor dem Traktor auf oder wird das Referenzobjekt nicht erkannt, so wird eine Signalleitung aktiviert.

Als weitere Schutzeinrichtungen dienen drei zusätzliche am Frontbügel installierte Schaltelemente, sogenannten Bumper, zwei Not-Aus-Taster auf den hinteren Kotflügeln des Traktors, ein Funknotaus in der Kontrolleinheit im Pkw und ein zusätzlicher Funknotaus in einer mobilen Handeinheit. Wird eines dieser Systeme betätigt, wird ein definierter Nothalt des Fahrzeuges eingeleitet. Alle Signale werden von einer zentralen Sicherheitssteuerung der Firma Sick vom Typ UE4470 ausgewertet. Im Notfall schaltet das oben beschriebene Schnellentlüftungsventil im Bypass der Druckluftbremse und der Traktor wird innerhalb kürzester Zeit zum Stillstand gebracht.

Mehrere Szenarien

Ziel der Kooperation war der Aufbau eines Demonstrationssystems, in welchem zwei Fahrzeuge im Konvoi-Betrieb fahren sollten. Neben dem Konvoi-Szenario (**Abbildung 4** links), bei dem das unbemannte Fahrzeug einem vorausfahrenden

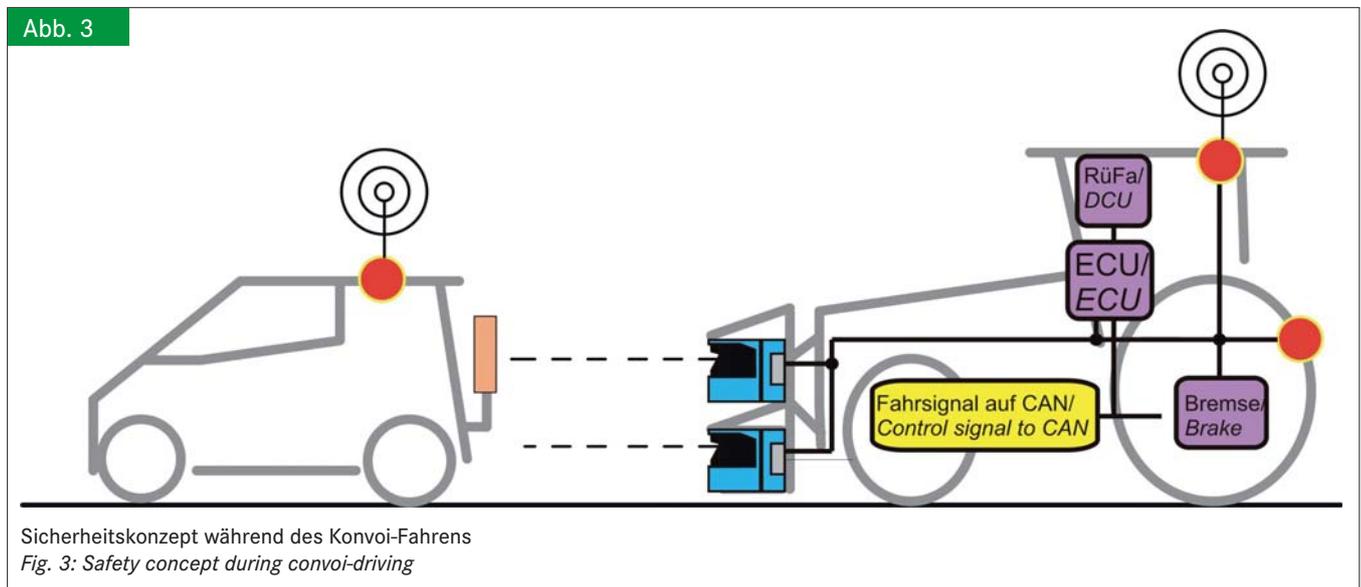
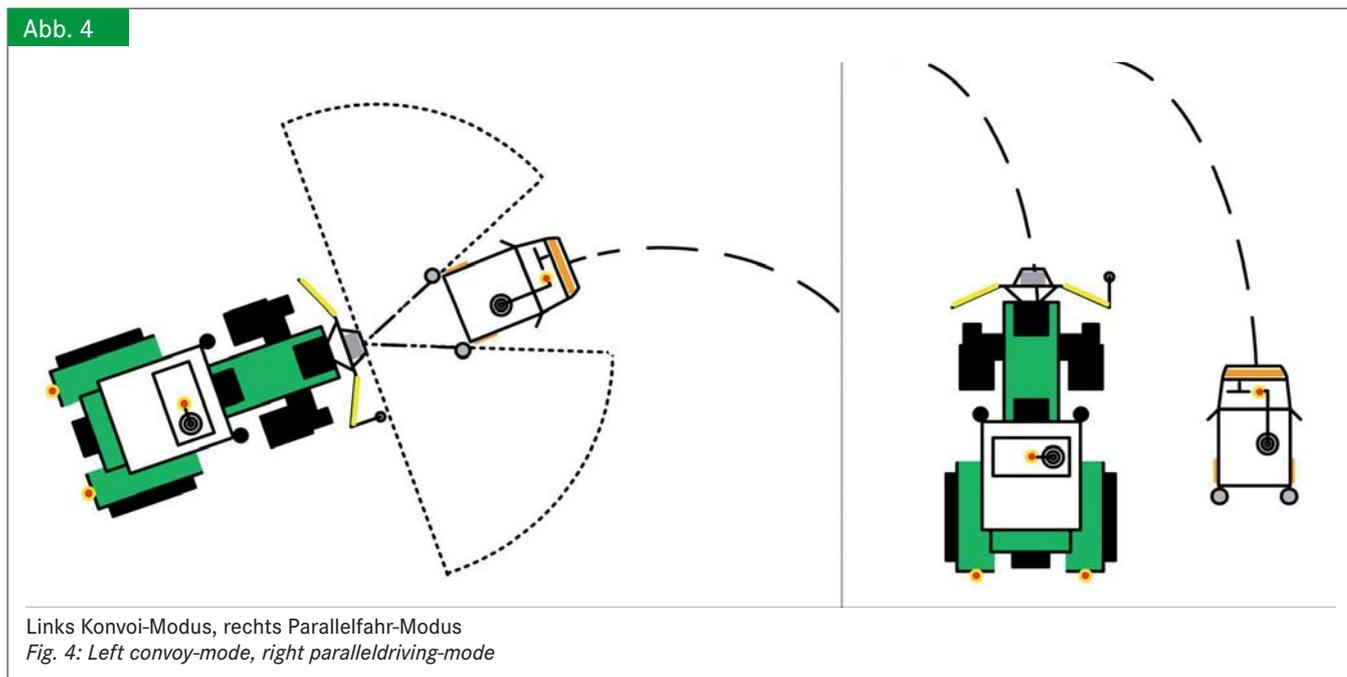


Abb. 4



Links Konvoi-Modus, rechts Parallelfahr-Modus
 Fig. 4: Left convoy-mode, right paralleldriving-mode

Fahrzeug mit Fahrer folgt, wurde auch ein Parallelfahrmodus (**Abbildung 4** rechts) entwickelt. In diesem Betriebsmodus wird die Bewegung des Pkw über entsprechend installierte Sensoren erfasst und auf den Traktor übertragen. Des Weiteren lässt sich der Traktor über eine Fernsteuerung bewegen. Die Umrechnung der entsprechenden Informationen übernimmt dabei ebenfalls der schon erwähnte ECU.

Im Konvoi-Szenario wird das vorausfahrende Fahrzeug über den im Frontdreieck installierten Laserscanner (Sick LMS 291) erkannt. Zur Sicherstellung der eindeutigen Zuordnung sind hierfür zusätzliche Marker am Heck des Pkw installiert. Zur Bahnplanung werden zudem Informationen über die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs, die geometrischen Abmessungen sowie Parameter über das mögliche Lenk-, Brems-, und Beschleunigungsverhalten berücksichtigt. Im Parallelfahrmodus werden ebenfalls die oben genannten Informationen zwischen den Fahrzeugen übertragen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrzeuggeometrie wird das Fahrverhalten des Pkw auf dem Traktor nachgebildet. Dabei ermöglichen verschiedene Parameter die Verstellung des Versatzes in Längs- und Querrichtung. Das Sicherheitskonzept ist auch im Parallelfahrmodus aktiv und ermöglicht den beschriebenen Nothalt, falls ein Objekt in den Bereich vor dem Traktor kommt. Die Datenübertragung zwischen Pkw und Traktor erfolgt über eine Funkschnittstelle auf 433-MHz-Basis.

Schlussfolgerungen

Mit einem in direkter Kooperation aufgebauten Konvoi-Demonstrator haben die Götting KG und das Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig gezeigt, mit welchem Aufbau eine elektronische Deichsel auch unter sicherheitsrelevanten Bedingungen (Ausfallsicherheit, „Fail-Safe-Modus“) funktional betrieben werden kann. Neben aufgeführten ver-

gleichbaren Arbeiten, in denen die absolute Position (GPS) der Maschinen zur Führung der autonomen Fahrzeuge genutzt wird, wurde in dieser Arbeit ein weitergehender Aspekt bearbeitet: die umgebungssensitive Fahrzeugführung. Die Ergebnisse des Projekts fließen zurzeit bei beiden Partnern in Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich der koordinierten bzw. kooperativen Fahrzeugführung ein.

Literatur

- [1] Skabardonis, A. et al. (1997): Vehicle Platooning and Automated Highways, Bericht zur National Automated Highway Systems Consortium Technical Feasibility Demonstration, San Diego, <http://www.path.berkeley.edu/PATH/Publications/Media/FactSheet/VPlatooning.pdf>, Zugriff am 06.05.2010
- [2] Franz, W. (2008): Car-to-Car Communication – Anwendungen und aktuelle Forschungsprogramme in Europa, USA und Japan; Online-Veröffentlichung zu „Network-on-Wheels“; http://www.network-on-wheels.de/downloads/car-to-car_uebersicht.pdf, Zugriff am 06.05.2010
- [3] Zang, X.; Geimer, M.; Grandl, L.; Noack, P.O.; Kocher, M.F. (2009): Electronically Controlled Towing Bar between Agricultural Vehicles. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Control & Guidance, Bonn
- [4] Schattenberg, J.; Robert, M.; Happich, G.; Lang, T. (2009): A flexible mobile platform for research on cooperating machinery. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Control & Guidance, Bonn
- [5] Schattenberg, J. (2007): Aufbau eines Regelkreises zur Ansteuerung einer elektrohydraulischen Lenkung eines Traktors. Diplomarbeit, TU Braunschweig

Autoren

Dipl.-Ing. Jan Schattenberg und **Dipl.-Ing. Georg Happich** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der Technischen Universität (TU) Braunschweig, (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms**), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: j.schattenberg@tu-bs.de

PD Dr.-Ing. Thorsten Lang ist Privatdozent und stellvertretender Leiter des ILF

Hans-Heinrich Götting ist Geschäftsführer der Götting KG, Celler Str. 5, 21275 Lehrte/Röddensen, E-Mail: hg@gotting.de