

Matthias Grimsel, Dresden

Simulation der Bodenadaptation selbstfahrender Arbeitsmaschinen

In der Landtechnik wie auch auf dem Baumaschinensektor werden selbstfahrende Arbeitsmaschinen eingesetzt, deren Anbaugeräte sich in geeigneter Weise an das zu bearbeitende Bodenprofil anpassen müssen. Um die dabei auftretenden Bewegungen zu visualisieren und Hinweise für eine Optimierung der Kinematik oder die Auslegung von Regelsystemen zu gewinnen, wurde ein Simulationsmodell für den Nachvollzug des Bodenprofils entwickelt.

Bei der Bodenbearbeitung und der Futterernte kommen mobile Arbeitsmaschinen zum Einsatz, bei denen zwischen Trägerfahrzeug und Arbeitsgerät keine feste Zuordnung besteht. Die eigentlichen Arbeitsorgane werden als dezentrale, möglichst autonome Geräte ausgeführt, die über eine Koppelstelle mit mehreren, häufig steuer- und regelbaren mechanischen Freiheitsgraden am Fahrzeug befestigt sind. Durch diese aufgelöste Bauweise tritt die Führungsfunktion des Fahrzeuges in den Hintergrund. Für die Güte der Bodenadaptation ist vielmehr eine optimale Auslegung der Koppelstelle maßgebend. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass der bisher übliche Traktor mit auswechselbaren Anbaugeräten zunehmend von speziell entwickelten Selbstfahrern verdrängt wird, bei denen noch höhere Anforderungen an die Fahrgeschwindigkeit und die Arbeitsqualität gestellt werden.

Problemstellung

Ein typisches und gleichzeitig anspruchsvolles Beispiel dafür sind mehrteilige Großflächenmäherwerke für die Futterernte. Bild 1 zeigt einen virtuellen Selbstfahrer mit einem Frontmäherwerk am Dreipunktanbau und zwei Seitenmäherwerken in Zwischenachsbelegung. Das wichtigste Qualitätsmerkmal solcher Mäherwerkskombina-

tionen ist die Bodenkopierung in unebenem Gelände und bei hohen Fahrgeschwindigkeiten. Bei einem möglichst minimalen Auflagedruck soll ein Abheben der Mäherwerke unter allen Umständen vermieden werden. Ein zu hoher Auflagedruck führt zu vorzeitigem Verschleiß der Mäherwerke, erhöhtem Leistungs- und Kraftstoffbedarf des Traktors sowie zu einer unerwünschten Bodenverdichtung. Zusätzlich soll auch der Anstellwinkel möglichst konstant gehalten werden, um einen direkten Bodenkontakt der Schneidorgane oder einen Gutverlust zu vermeiden. Für den Einsatz in nicht ideal ebenem Gelände verfügen die Arbeitsgeräte über eine gewisse Anpassungsfähigkeit. Dabei wird der Auflagedruck über mechanische oder hydropneumatische Federelemente verringert. Durch die Kinematik der Aufhängung soll gleichzeitig ein konstanter Anstellwinkel sichergestellt werden.

Das Verständnis der Vorgänge bei der Bodenkopierung wird dadurch erschwert, dass es sich um ein System mit vielen Freiheitsgraden handelt, das dreidimensionale Bewegungen im Raum ausführt. Im idealen Fall benötigt jedes Mäherwerk drei Freiheitsgrade (Hubhöhe, Nickwinkel, Rollwinkel), die unabhängig voneinander und von den Hub-, Roll- und Nickbewegungen des Fahrzeuges sind. Bei realen Systemen sind jedoch meistens nur zwei voneinander unabhängige Freiheitsgrade vorhanden, die von den Fahr-

Dr.-Ing. Matthias Grimsel ist Angestellter der GWT Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer der TU Dresden mbH und seit 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. G. Bernhardt), Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik der TU Dresden, 01062 Dresden, tätig; e-Mail: grimsel@landmaschinen.tu-dresden.de

Schlüsselwörter

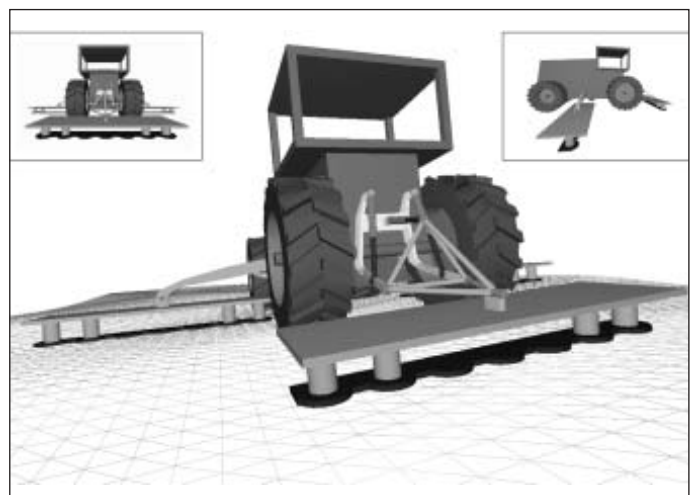
Bodenkopierung, Selbstfahrer, Mäherwerk, Simulation

Keywords

Ground tracking, self-propelled machine, mower unit, simulation

Bild 1: Simulation eines virtuellen Selbstfahrers mit drei Mäherwerken

Fig. 1: Simulation of a virtual SP-mower with three mower units



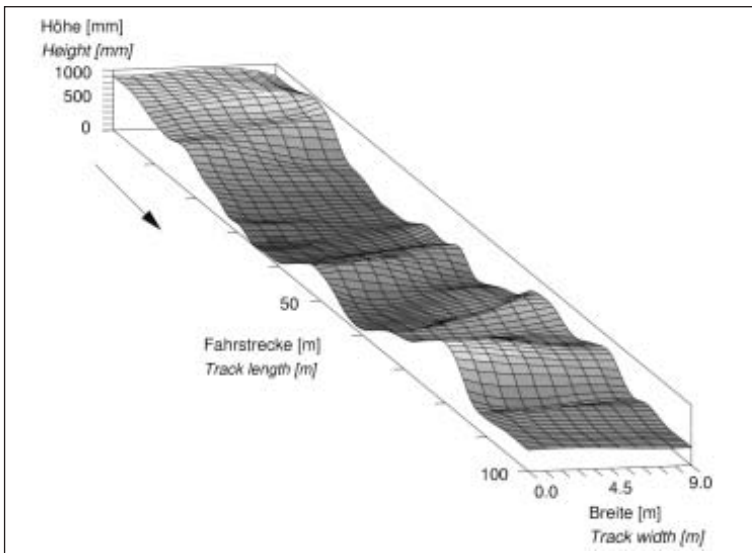


Bild 2: Ein aus Messwerten gewonnenes Bodenprofil

Fig. 2: A ground profile generated from the measured points

zeugbewegungen überlagert und durch mechanische Anschläge begrenzt sind. Gleichzeitig ist die wirksame Auflagekraft abhängig von der Auslenkung der Mähwerke. Da die während des Arbeitsvorgangs auftretenden Kräfte und Bewegungen messtechnisch nur schwer zu erfassen sind, ist eine Bewertung der tatsächlichen Bodenkopiergüte in Fahrversuchen häufig nur subjektiv möglich. Die konstruktive Ausführung beruht auf langjähriger Erfahrung, wobei Verbesserungen oder gar eine Optimierung bisher sehr zeit- und materialaufwendig sind.

Lösungsansatz

Am Lehrstuhl Landmaschinen der TU Dresden wurde in Zusammenarbeit mit der GKN Walterscheid GmbH in Lohmar ein Simulationsmodell entwickelt, mit dem die Vorgänge bei der Bodenkopierung am Rechner anschaulich nachvollzogen werden können. Besonderer Wert wurde auf eine allgemeingültige, vollständig parameterisierte Modellierung und auf offene Schnittstellen zu externen Programmen gelegt. Deshalb wurde auf die Verwendung vorhandener kommerzieller Softwarepakete zur Simulation von Mehrkörpersystemen verzichtet.

Die notwendigen kinematischen Gleichungen wurden weitgehend analytisch aufgestellt und in der Programmiersprache C/C++ umgesetzt. Für die dreidimensionale Darstellung wurde der Industriestandard OpenGL gewählt. Das Trägerfahrzeug wird durch die Parameter Radstand, Spurweite und Größe der Bereifung charakterisiert. Neben den geometrischen Abmessungen der Mähwerke oder anderer Arbeitsgeräte können auch deren relative Lage zum Fahrzeug sowie die Art und Ausführung der Koppelstellen durch einfache Parameteränderungen variiert werden.

Die zu kopierenden Bodenprofile werden in Form eines Gitternetzes vorgegeben, das auf gemessenen oder künstlich erzeugten Werten basiert. Bild 2 zeigt ein mit Hilfe von Spline-Interpolation aus Messpunkten generiertes Bodenprofil, auf dem auch Fahrversuche mit einer realen Maschine durchgeführt wurden. Alternativ können künstliche Bodenprofile verwendet werden, die sich aus sinusförmigen Bodenwellen von veränderlicher Höhe und Länge zusammensetzen.

Das Simulationsmodell läuft annähernd in Echtzeit auf PCs unter UNIX oder WINDOWS Betriebssystemen. Die Bedienung kann interaktiv oder skriptbasiert erfolgen. Alle beim Überfahren des Bodenprofils auftretenden Bewegungen sind am Bildschirm sichtbar und werden gleichzeitig als Winkel- oder Längenänderungen in Tabellenform gespeichert. Eine weitere Auswertung und die Nachlaufberechnung von Kräften oder Geschwindigkeiten kann mit Standardsoftware wie etwa MATLAB oder SCILAB erfolgen.

Bild 3 erläutert am Beispiel der Anstellwinkel der drei Mähwerke die Auswertungs-

möglichkeiten der Simulation. Beim Überfahren des stark unebenen Bodenprofils aus Bild 2 mit dem nicht optimierten Selbstfahrer aus Bild 1 verändern sich die Anstellwinkel gegenüber dem für ebenes Gelände vorgegebenen Sollwert in der dargestellten Weise. Dabei treten für jedes Mähwerk unterschiedliche Abweichungen auf, die zwischen den Extremwerten -9° und $+6^\circ$ schwanken. Andere mögliche Ergebnisse sind zum Beispiel die Hubhöhe und die Querneigung der Mähwerke oder die Längenänderungen der Hydraulikzylinder. Durch systematisches Variieren der Anlenkpunkte und Längen der Koppelglieder ist nun eine Optimierung der Kinematik im Hinblick auf die Anstellwinkel oder die Auflagekraft der Mähwerke möglich. Gleichzeitig kann ermittelt werden, welche Längen- und Winkeländerungen bei der Bodenkopierung auftreten und wie passive oder aktive Entlastungsvorrichtungen auszulegen sind.

Fazit

Zur Überprüfung der Simulationssoftware wurden Feldversuche mit einem handelsüblichen Fahrzeug durchgeführt. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Bewegungsgrößen. Das Simulationsmodell ermöglicht eine schnelle und einfache Bewertung der Bodenkopierfähigkeit von vorhandenen oder in der Entwicklung befindlichen Systemen für unterschiedliche Bodenprofile. Es kann Grenzen und Schwachstellen aufzeigen und Hinweise zu deren Beseitigung liefern. Hersteller von Mähwerkskombinationen oder Fahrzeugen, die Interesse an einer Simulation ihres Produktes haben, werden ausdrücklich um Kontaktaufnahme gebeten. Weitere Simulationsergebnisse sollen im Rahmen eines Vortrages bei der diesjährigen Landtechniktagung am 10./11. Oktober in Halle vorgestellt werden.

Bild 3: Berechneter Verlauf der Anstellwinkel der drei Mähwerke über der Fahrstrecke

Fig. 3: Calculated cutting angles of the three mower units vs. track length

