

Carsten Eberle, Braunschweig

Mehrkörpersimulation an einem Frontmäherwerk

Zur Simulation der Bodenangepassungsfähigkeit bei Frontmäherwerken kann die Mehrkörpersimulation zur Untersuchung der auftretenden mechanischen Bodenbelastung dienen. Zur Beurteilung der getroffenen Modellannahmen werden Feldversuche mit Hilfe von künstlichen und natürlichen Hindernissen genutzt. Erste Ansätze auf der Grundlage reiner Starrkörpermodelle zeigen hierbei eine zu geringe Simulationsgüte im Vergleich mit den im Versuch aufgenommenen Messwerten. Fortlaufende Arbeiten binden deshalb elastische Strukturen in die vorhandenen Mehrkörpermodelle ein. Entsprechend validierte Modelle bilden dann die Grundlage zur Analyse des Systems Frontmäherwerk.

Dipl.-Ing. Carsten Eberle ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig (Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, e-mail: c.eberle@tu-bs.de

Schlüsselwörter

Frontmäherwerk, Modellbildung, Mehrkörpersimulation

Keywords

Front-end-mounted mower, modeling, multi-body simulation

Literatur

[1] • *Rauen de Souza, W.*: Ein Beitrag zur kinematischen und dynamischen Analyse von Frontmäherwerksaufhängungen. Fortschritt-Berichte Reihe 14, Nr. 72, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995

Beispiele für angewandte Simulationswerkzeuge bei der Entwicklung von Landmaschinen und Traktoren sind die Methode der Finiten Elemente (FEM), die Mehrkörpersimulation (MKS) sowie die Simulation hydraulischer Systeme. Dadurch lassen sich Parametereinflüsse bezüglich des Systemverhaltens untersuchen, die dann zur Gestaltung einer möglichst optimalen Konstruktion genutzt werden können.

Im Folgenden werden die am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik genutzten Versuchsbedingungen und die Software zur Untersuchung der Bodenangepassungsfähigkeit bei Frontmäherwerken vorgestellt. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, frühere am Institut durchgeführte Forschungsarbeiten [1], die sich mit der Kinematik von Frontmäherwerken befasst hatten, fortzusetzen. Hierbei wurden kinematische und dynamische Untersuchungen anhand von zweidimensionalen Modellen für den ebenen Bewegungszustand und mit Hilfe eines eigens entwickelten Versuchsstands durchgeführt.

Anstelle eines aufwendig zu betreibenden Versuchsstands kommen für die aktuellen Untersuchungen die Ergebnisse von entsprechend umfangreichen Feldversuchen zum Tragen. Zur Nachbildung des Bewegungsverhaltens der Frontmäherwerke kommt die MKS-Simulation mit dem Programmpaket ADAMS zum Einsatz. Zur Funktionserweiterung ist eine Schnittstelle zu dem FEM-Programm Ansys vorhanden, um elastische Strukturen in die MKS-Simulation einzubinden. Für eine Simulation von beispielsweise hydraulisch angetriebenen Strukturen besteht eine weitere Kopplungsmöglichkeit zu der Simulationsumgebung MATLAB/Simulink.

Bild 1: Elemente eines MKS-Modells

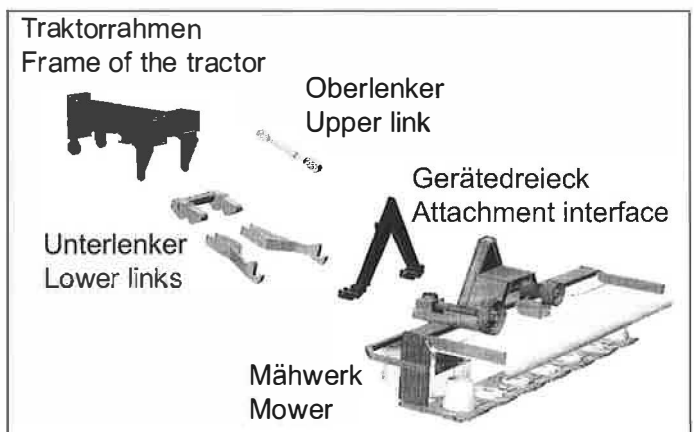
Fig. 1: Elements of a multi-body model

Modellbildung

Bei der Bodenangepassungsfähigkeit und der Beweglichkeit von Frontmäherwerken ergibt sich ein Zusammenspiel von Traktor und dem Anbaugerät. In einem ersten Schritt wurden Starrkörpermodelle für ein komplettes Mäherwerk, den Dreipunktanbau sowie den vorderen Anbaubereich des Traktorrahmens entwickelt. Bild 1 stellt die genannten Komponenten dar. Für die Geometriezuordnung der einzelnen Bauteile wurden verschiedene Wege besprochen. Bestimmte Bauteile konnten durch den Import von CAD-Daten im IGES-Format erstellt werden. Für alle weiteren Bauteile erfolgte eine ausführliche Maßaufnahme. Hierdurch werden das Volumen der Komponenten und durch Zuweisung der jeweiligen Materialdichte deren Masse-Eigenschaften definiert. Hierauf folgt die Festlegung von Gelenken, die Festlegung der Parameter zur Berechnung von Kräften und Momenten (etwa Kennlinien-Vorgaben von Federsteifigkeiten) und die Generierung von Bewegungen (die Drehzahl der rotierenden Mäherwerkskomponenten).

Der Dreipunktanbau bildet die Schnittstelle zwischen Traktor und Mäherwerk. Das dargestellte Frontmäherwerk ist starr mit dem Gerätedreieck verbunden und verfügt nicht über einen eigenständigen Anbaurahmen. In dieser Konstellation ergibt der Aufbau zwischen Mäherwerk und Traktor bei ebener Betrachtungsweise ein Viergelenkgetriebe. Diese Art der Aufhängung bietet naturgemäß nur stark eingeschränkte Möglichkeiten für eine optimale Bodenangepassung des Mäherwerks. Die einzige Bewegungsmöglichkeit wird durch die Schwimmstellung der Fronthydraulik ermöglicht.

Für eine Modellentwicklung bietet diese Bauart jedoch entscheidende Vorteile. Man muss davon ausgehen, dass jede Dreipunktaufhängung Lagerspiel in den Koppelpunkten aufweist. Der weitestgehend starre Aufbau des realen Mäherwerks ermöglicht es, das Lagerspiel ohne störende zusätzliche Pa-



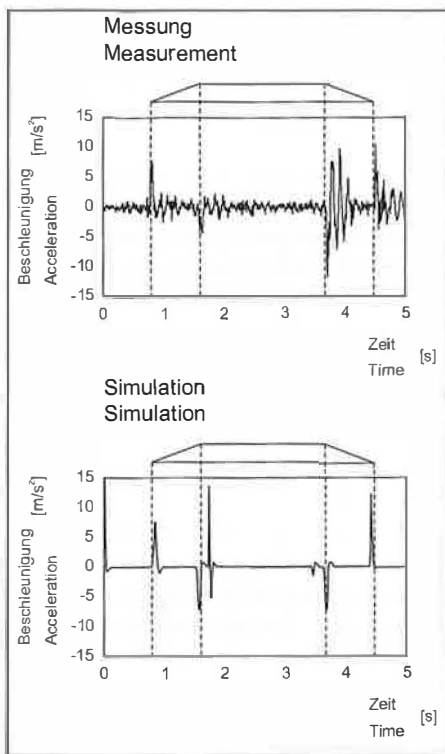


Bild 2: Vertikale Beschleunigung des Mähbalkens – Messung und Simulation

Fig. 2: Vertical acceleration of the cutting bar – measurement and simulation

rametereinflüsse zu analysieren. Hierdurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, die Güte des Simulationsmodells mit einfach durchführbaren Feldversuchen zu überprüfen. Ein weiterer Aspekt betrifft das Schwingungsverhalten und die elastische Struktur des Mähbalkens bei dem abgebildeten Scheibenmäher. Auch hier können Modell-erweiterungen durch Einbindung von FEM-Daten ohne den zusätzlichen Einfluss weiterer mechanischer Komponenten untersucht werden.

Frontmäherwerke mit eigener Aufhängungskinematik sind entsprechend aufwendiger konstruiert. Zwischen Anbaurahmen und dem Traghalm sind Zugstreben angebracht. Durch ihre parallelogrammähnliche Konfiguration bieten sie eine wesentlich erweiterte Beweglichkeit des Mähbalkens. Die zukünftigen Forschungsarbeiten werden sich darauf konzentrieren, diese Art der Aufhängung eingehend zu analysieren. Die entwickelten und validierten Simulationsmodelle sollen dann für umfangreiche Parameteroptimierungen herangezogen werden. Es sollen Möglichkeiten für eine Verminderung und Vergleichmäßigung des Bodendruckes bei gleichzeitiger Verbesserung der Ausweichmöglichkeit im Falle einer Hindernisberührung untersucht werden. Unabhängig von der aktuellen Bewegungsrichtung (etwa bergauf/bergab, schräg bergauf/bergab) des Mähwerkes soll eine möglichst gleichmäßige Belastung des Bodens erzielt werden.

Begleitet werden die Simulationsstudien von Feldversuchen mit serienmäßigen oder baulich veränderten Mähwerken. Hierfür

stehen zwei Mähwerke der Firma Krone mit einer Schnittbreite von je 2,8 m bereit.

Feldversuche

Für Feldversuche werden die Mähwerke und der Traktor mit Messtechnik ausgerüstet. Die aktuelle Traktorposition und verschiedene Auslenkungen von Unterlenker und Mähwerkskomponenten werden gemessen. Weiterhin können die Beschleunigungen verschiedener Komponenten erfasst werden. Auch sollen zukünftig verschiedene Kräfte, etwa Scherkräfte in den Gelenken oder Zugkräfte im Oberlenker, aufgezeichnet werden.

Für die Feldversuche werden künstliche oder natürliche Hindernisse verwendet. Bei den künstlichen Hindernissen handelt es sich um stahlbeplankte Holz- oder Ganzstahlkonstruktionen, die fest mit dem Untergrund verankert sind. Hierdurch ergeben sich absolut reproduzierbare Versuchsbedingungen. Es findet keine plastische Verformung des Untergrundes statt. Bei einer ersten Modellbildung kann deshalb der Untergrund vereinfacht als ideal starr angenommen werden. Die Effekte beim Auftreffen des Mähbalkens auf die Rampe sind entsprechend deutlich und unverfälscht. So zeigt eine Auswertung von Beschleunigungen in der Mitte und am Rand des Mähbalkens dessen deutliche Schwingungsneigung in vertikaler Richtung bei der Anregung durch ein Hindernis.

Ebenso wichtig sind Feldversuche auf Grünland zur Berücksichtigung des realen Bodeneinflusses. Außerdem weisen die Versuche auf die tatsächliche Schädigung oder auch Schonung der Grasnarbe hin. Die Erkenntnisse aufgrund von Simulationsläufen und Tests an künstlichen Hindernissen können so untermauert werden. Hierfür wurde in Institutsnähe eine Versuchswiese angelegt. Es entstanden dort mehrere regelmäßige trapezförmige Bodenkonturen unterschiedlicher Größe und mit verschiedenen Neigungswinkeln. Um eine möglichst dauerhafte und beschädigungsresistente Bodenoberfläche zu erhalten, wurden die Erdhügel unter Mitverwendung einer zuvor verdichteten Lehmschicht angefertigt. Hierauf wurde dann die für den Grasaufwuchs notwendige Schicht Mutterboden aufgebracht.

Erster Vergleich von Simulation und Messung

Einen ersten Eindruck bezüglich der Aussagekraft einer Simulation vermittelt Bild 2. Es zeigt die vertikale Beschleunigung des Mähbalkens über der Zeit beim Überfahren einer künstlichen Rampe. Gemessen wurde die Beschleunigung in der Mähbalkenmitte. Das Profil der Rampe ist schematisch dargestellt.

Die Traktorräder kommen während der Überfahrt nicht mit dem Hindernis in Kontakt, wodurch deren direkte Anregung vermieden wird.

Die Kurvenverläufe machen deutlich, dass Simulation und Messergebnis nur grob miteinander übereinstimmen. Speziell das Schwingungsverhalten des Mähbalkens lässt sich durch ein reines Starrkörpermodell nur schwer nachbilden.

Zur Bewältigung des Hindernisses erfährt der Mähbalken in vertikaler Richtung entsprechende Beschleunigungen. Die Höhe des Amplitudenverlaufs im Simulationsergebnis zeigt, dass die impulsartigen Beschleunigungen jeweils zu Beginn einer vertikalen Richtungsänderung in ihrer Größenordnung den gemessenen Beschleunigungen ähneln. Lediglich bei einer Zeit von etwa 1,75 s ergibt sich in der Simulation ein deutlicher unrealistischer Impuls. Dieser ist durch einen zu harten Aufschlag der hinteren Mähbalkenkante beim Übergang von der Aufwärts- in die Horizontalbewegung begründet. Für eine notwendige Modelloptimierung muss die Kontaktkraft zwischen Mähwerk und Bodenoberfläche, definiert aus Federsteifigkeiten und Dämpfungen, weiter der Realität angepasst werden.

Ausblick

Die bisher entwickelten Mehrkörpermodelle bilden eine gute Basis für die weiteren Untersuchungen der Bodenangepassungsfähigkeit bei Frontmäherwerken. Die Möglichkeiten für Feldversuche jeglicher Art sind gegeben. Durch weitere Nutzung der vorhandenen Schnittstelle zu einem FEM-Programm steht ein geeignetes Werkzeug für das weitere Vorgehen zur Verfügung.

Für eine Betrachtung des Schwingungsverhaltens der Mähwerke im Falle einer Hindernisberührung muss zunächst ein Blick auf die tragenden Mähwerkskomponenten geworfen werden. Alle wesentlichen Bauteile sind sehr steif ausgeführt. Lediglich der Mähbalken besteht in der Regel aus relativ dünnwandigem Stahlblech. Dieses Hohlprofil ist im Vergleich zu den übrigen Tragwerksteilen eines Mähwerks relativ leicht elastisch deformierbar. Daher ist besonders bei diesem Bauteil ein großer Einfluss auf das Schwingungsverhalten des Gesamtsystems zu erwarten.

Es wurde deshalb mit der Implementierung des Mähbalkens in ein Finite-Elemente-Modell begonnen. Erste Erfahrungen zeigen, dass die Einbindung von elastischen Strukturen auf der Basis von FEM in ein MKS-Modell mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Die hiermit erzielbaren Simulationsergebnisse werden zeigen, inwieweit sich die Simulationsgüte steigern lässt.