

Simulation der Aufhängungskinematik bei einem Frontmähwerk

Die Aufhängungskinematik frontangehängter Mähwerke leistet einen entscheidenden Beitrag für die erreichbare Fähigkeit, Hindernisse bei unebenen Bodenverhältnissen zu bewältigen. Für die Simulation des Bewegungsverhaltens von Traktor und Mähwerk werden die erforderlichen Strukturen für Mehrkörpermodelle aufgezeigt. Diese bilden die Grundlage für Simulationsstudien, bei denen dann der Einfluss der geometrischen Parameter sowie der rotierenden Massen auf die Beweglichkeit des Schneidwerks untersucht werden kann.

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

Mehrkörpersimulation, Frontmähwerk, Modellbildung

Keywords

Multi-body simulation, front-end-mounted mower, modelling

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

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

Für die Konzeption und Optimierung von landwirtschaftlich eingesetzten Frontmähwerken sind Kenntnisse über deren Bewegungsverhalten im Zusammenspiel mit dem Traktor und der Bodenoberfläche nötig. Zielsetzung ist eine optimale Boden Anpassung des Schneidwerks für möglichst viele Einsatzbedingungen.

Modellbildung

Bei den Modellen für Traktor und Mähwerk handelt es sich prinzipiell um räumliche Getriebe oder Mechanismen.

Für die Untersuchungen wurde das Bewegungsverhalten von frontangebauten Scheibenmähwerken betrachtet, da diese im weltweiten Maßstab eine größere Verbreitung als die ebenfalls eingesetzten Trommelmähwerke haben. Für den institutseigenen Systemtraktor wurden die Bauteile nur schwach detailliert im Modell nachgebildet. Entscheidend für das Modell sind die Berührungspunkte zwischen Reifen und Boden und die Lage der Verbindungsstellen zwischen Traktor und Mähwerk.

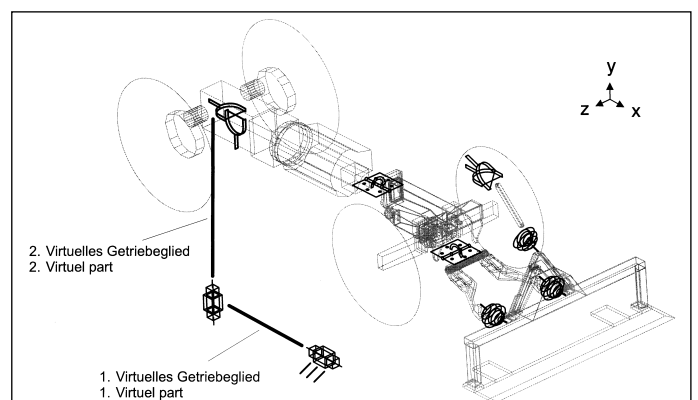
Bei Frontmähwerken ohne eine eigenständige Führungskinematik für das Schneidwerk bilden die Unter- und der Oberlenker die beweglichen Glieder für ein räumliches Viergelenkgetriebe. Für diese Bauteile erfolgte ebenso wie für die Mähwerkskomponenten eine genaue Maßaufnahme. Hierfür sowie für Feldversuche stehen zwei serienmäßige Frontmähwerke der Firma Krone zur Verfügung. Ein Mähwerk besitzt eine autarke Führungskinematik, während das andere direkt in den Kugeln des vorderen Dreipunktanbaus gelagert wird.

Für die Definition von Bindungen oder Gelenken werden idealisierte reibungsfreie Gelenktypen herangezogen. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines aus Traktor und frontangehängtem Mähwerk bestehenden Systems – in diesem Fall für ein starr in die Fronthydraulik eingehängtes Mähwerk. Der Traktor besteht im Wesentlichen aus dem Vorder- und Hinterbau und den Koppelpunkten für den Frontkraftheber. Über zwei virtuelle Getriebeglieder wird die Traktorfahrbewegung durch ein kardanisches Gelenk in den Hinterbau oder alternativ hierzu in den Vorderbau des Traktors eingeleitet. So wird dem Hinter- oder Vorderbau eine Drehung um die Fahrzeuglängsachse und um die Mitte der Räder während einer Hindernisüberfahrt ermöglicht. Der Systemtraktor ist mit einem zentralen Drehgelenk zwischen Vorder- und Hinterbau ausgerüstet und verfügt somit über ein vorderachsgeführtes Unterlenkerpaar. Ein weiteres Drehgelenk verknüpft das Unterlenkerpaar mit dem Traktorzvorderbau. Mit Hilfe dreier Kugelgelenke wird die Verbindung zwischen Mähwerk und Dreipunktgestänge gestaltet. Um hierbei ein statisch bestimmtes Getriebe zu erzeugen, ist bei einem der beiden unteren Kugelgelenke neben den drei rotatorischen Drehbewegungen auch eine translatorische Bewegungsmöglichkeit in z-Richtung erlaubt.

Für Mähwerke mit eigenständiger integrierter räumlicher Viergelenkkinematik wurden weitere Modelle entwickelt. Sowohl Anordnungen mit drei als auch mit vier Verbindungsstellen zwischen Anbaubock und Schneidwerk wurden realisiert. In beiden

Bild 1: Aufbau des Systems mit Getriebegliedern und Gelenken

Fig. 1: Design of system with gear parts and joints



Fällen sind die Zugstreben teilweise mit dem Schneidwerk, in Anlehnung an die Serienmaschine, mit Drehgelenken verbunden. Das hierbei in der Realität vorhandene axiale Lagerspiel in den Gelenken wird durch eine entsprechende Beweglichkeit ermöglicht. Anschlagkräfte sorgen für die Einschränkung dieser Beweglichkeit innerhalb der Lagerspielgrenzen. Man erreicht hierdurch, dass sich das Schneidwerk auch im Modell um die globale Hochachse (y-Achse) und um die in Fahrtrichtung verlaufende Systemlängsachse (x-Achse) neigen kann, was auch den realen Verhältnissen entspricht.

Schnittstellen

Zur Definition einer Bodenoberfläche für das Nullniveau und für regelmäßig geformte Hindernisstrukturen kommen dreidimensionale mathematische Netze zum Einsatz. Diese sogenannten Splines definieren die Höhenzüge der Punkte im Bodenprofil und werden aus einer Vielzahl von Stützstellen gebildet. Zwischen den Stützstellen findet eine Interpolation für die dort vorhandene Höhe des Bodenprofils statt. Die erforderliche Eingabe der Splinedaten erfolgt rechnergesteuert durch automatisch generierte Befehlsstrukturen in ASCII-Textdateien. Für deren Generierung wird ein mit der Software Matlab erstellter interaktiver Rechnerdialog benutzt (Bild 2).

Hiermit lassen sich einfache trapezförmige oder symmetrisch trapezförmige Hindernisstrukturen im Bodenprofil definieren. Der Anwender parametrisiert die Hindernisgeometrie durch Ortskoordinaten und die gewünschten Rampenanstiegswinkel.

Für das dynamische Verhalten zwischen Traktor und Boden sowie zwischen Mähwerk und Boden wurden keine Bindungen verwendet. Dem Mähwerk muss die Möglichkeit gegeben werden, partiell vom Boden abheben zu können. Im Bereich der Mähwerksunterseite wird ein Netz aus mehreren hundert Kontaktkräften zum Führen des Mähkörpers über die Bodenoberfläche eingesetzt. Jede einzelne Kontaktkraft ist durch eine bestimmte Feder-Dämpfer-Charakteristik gekennzeichnet und wird erst bei Unterschreitung eines definierten Abstandes zum Spline der Bodenoberfläche aktiv. Durch die Vielzahl von Kontaktkräften im Bereich der Verschleißkufen lässt sich ein realistisches Bewegungsverhalten simulieren. Die Eingabe der Kräfte erfolgt wiederum rechnergesteuert. Durch entsprechende Matlab-Programmierungen werden die notwendigen Automatismen zur Generierung der Kontaktkräfte im Mehrkörpermodell erzeugt.

Bild 2: Implementierung der Bodengeometrie

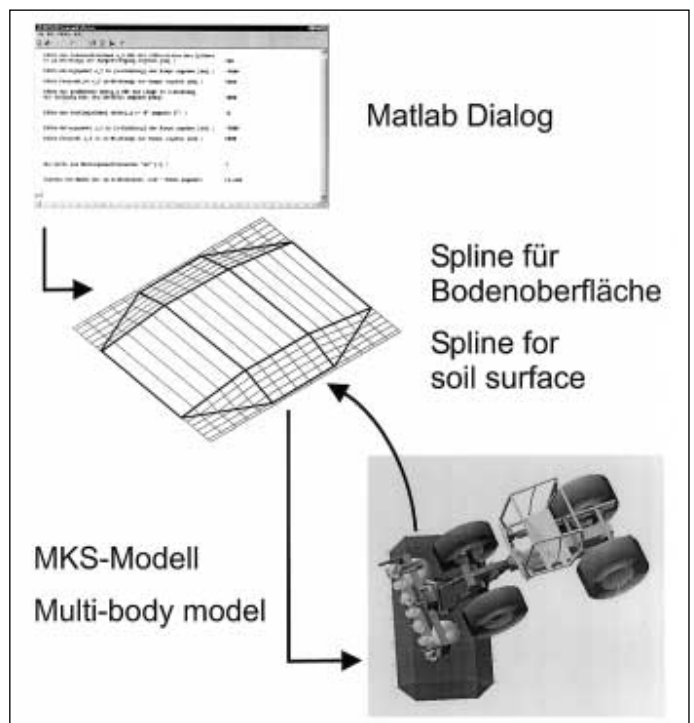
Fig. 2: Implementation of the soil surface geometry

Variationen für Simulationsläufe

Durch entsprechende Platzierung und Ausrichtung von Traktor und Mähwerk können unterschiedliche Anfahrpositionen und -winkel auf die Hindernisse beurteilt werden. Die Feder-Dämpfer-Charakteristik zwischen Boden und den Geräten wird jeweils so gewählt, dass ein Eintauchen unter die Bodenoberfläche auch bei Hinderniskontakt während der Simulation unterbleibt. Die Verformbarkeit, das Abscherverhalten und die Nachgiebigkeit bei weichem Untergrund werden in der Simulation nicht betrachtet. Mögliche Modellierungsansätze hierfür wären die Nachbildung des Bodens auf der Basis von Finiten Elementen. Entsprechende Modelle würden ein Vielfaches an Hardware-Ressourcen beanspruchen und müssten aufwendig parametrisiert werden. Deshalb wurde der Boden als ideal starr angesetzt.

Gemäß der Lage von Unterlenkern und Oberlenker zueinander und der Lage der zwischen Anbaubock und Schneidwerk angebrachten Zugstreben ergeben sich verschiedene Mähwerkstypen. Bei ebener Betrachtungsweise der Aufhängungs kinematik von der Seite kann je nach der Momentenpollage des Schneidwerks eine Einteilung in geschobene, gezogene oder gehobene Mähwerke vorgenommen werden [1]. Für räumliche Getriebe stellt die momentane Schraubachse das Pendant zum Momentenpol eines ebenen Getriebes dar. Deren Lage hängt wiederum von der Anordnung der Getriebeglieder, also der Verbindungsstreben oder Unter- und Oberlenker, ab. Daher wird für Simulationsläufe eine systematische Variation der Gelenkpunktlagen für die Mähwerksbauteile durchgeführt.

Ein weiteres Variationsmerkmal von Mähwerken betrifft die rotatorischen Massen. Die Simulationsmodelle lassen sich hier für qualitative Aussagen hinsichtlich des Einflusses auf die Beweglichkeit des Schneidwerkes nutzen. Hierfür wird der Mähbalken mit seinen rotierenden Zahnradern, Mähscheiben und Schwadtrommeln



gezielt um eine Achse verdreht. Der Einfluss der Corioliskräfte auf das für die Drehung notwendige Drehmoment wird durch die Simulation verdeutlicht. Für gleiche Randbedingungen wird die Dichte der rotierenden Bauteile variiert.

Erste Ergebnisse und Ausblick

Viele gängige Mähwerkskonzepte sorgen dafür, dass das Schneidwerk durch eine gezogene Kinematik über den Boden geführt wird. Hierbei stellt sich ein gutes Ausweichverhalten bei mittigem Hinderniskontakt ein, da das Schneidwerk nach oben ausweichen kann. Bei seitlichem Hinderniskontakt stellt sich der Mähbalken, in der Draufsicht von oben betrachtet, um einige Winkelgrade schräg zur Fahrtrichtung. Die dadurch bewirkte Verringerung der Schnittbreite ist vernachlässigbar gering. Auffälliger sind die über der Schnittbreite unterschiedlichen Abstände zwischen Messerkreisen und Boden. Hierbei handelt es sich um ein prinzipbedingtes Verhalten, wenn der Mähbalken über seine gesamte Länge nur an zwei Punkten den Boden berührt. Ein Einfluss der rotierenden Massen auf die Beweglichkeit des Mähbalkens konnte bisher nur in vernachlässigbar kleinem Umfang nachgewiesen werden.

Die MKS-Werkzeuge sind leistungsfähige Hilfsmittel für die Beurteilung des Bewegungsverhaltens frontangehängter Mähwerke. Die gegenseitige Beeinflussung von Traktor, Mähwerk und Bodenkontur lässt sich im Rechner eindrucksvoll in Form von Kurvenverläufen und Bewegungsanimationen virtuell darstellen. Die Anwendung der dargestellten Modelle unter Nutzung weitergehender Funktionalitäten für automatisierte Simulationsstudien sind Gegenstand laufender Untersuchungen.