

Christian von Holst und Horst Göhlich, Berlin

Fortschritte in der Simulation schnellfahrender Traktoren

Der zunehmende Einsatz von 3D-CAD Programmen, Mehrkörpersystem – Simulationssoftware (MKS-Software), Finite Elemente Methoden – Programmen (FEM-Programmen) und ähnlicher Software erleichtert und beschleunigt zwar viele Entwicklungen, schafft aber auch zusätzliche Risiken und Probleme. Diese Risiken werden aufgezeigt und Lösungswege vorgeschlagen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Modelle und deren Verifikation gelegt, da hier häufig die Ursache für unbefriedigende Ergebnisse zu suchen ist.

Alle namhaften Hersteller von Traktoren haben Fahrzeuge im Programm, die Fahrgeschwindigkeiten von 40 km/h erreichen, einige ermöglichen sogar Geschwindigkeiten von 50 km/h und mehr. Durch diese Entwicklung treten sowohl für den Hersteller, als auch für den Benutzer eines solchen Fahrzeugs Probleme in den Vordergrund, die zwar nicht neu sind, aber jetzt wesentlich stärker beachtet werden müssen. Hier sind vor allen Dingen zu nennen:

- Fahrsicherheit in allen Betriebszuständen (Anbaugeräte, Anhängelasten und ähnliches)
- Gesundheitsschutz und Komfort des Fahrers
- Schutz der Umwelt und Schonung von Ressourcen (Bodenverdichtung, Reifenverschleiß)
- Uneingeschränkte Eignung des Fahrzeugs für seine traditionellen Aufgaben auf dem Acker

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und die hohen Fahrgeschwindigkeiten erreichen zu können, ist der Einsatz gefederter Fahrzeugachsen unumgänglich. Dabei verläßt man aber insoweit bekanntes Terrain, als die Erfahrungen mit gefederten Achsen noch begrenzt sind. Zwar ist das Prinzip der Traktoren

mit gefederten Achsen schon recht alt, aber solche Fahrzeuge und Achskonstruktionen unterschieden sich wesentlich von modernen Traktoren.

Um nun kostengünstig und schnell ein neues Fahrzeug auf den Markt bringen zu können, ist es heutzutage nicht mehr möglich, die Entwicklung durch ausgedehnte Tests und über eine lange Reihe von Prototypen zu betreiben. Hier wird von allen führenden Herstellern mit modernen Methoden des CAD gearbeitet.

Fortschritte in Konstruktion und Berechnung

Die größten Fortschritte liegen hier vor allem in leistungsfähigeren (und preiswerteren) Computern und Programmen. Durch die Verwendung von 3D – CAD Programmen erreicht man folgende Vorteile:

- Neben den Geometriedaten liegen sofort auch Massen- und häufig Werkstoffdaten vor.
- Die so konstruierten Bauteile und Baugruppen können mittlerweile häufig problemlos in weiterführende Programme eingebunden werden, wie etwa FEM und MKS Programme (zum Beispiel Pro/E – DADS).
- Schon während der Konstruktion werden auch bei komplizierten Bauteilen und Baugruppen Probleme und Fehler deutlich.
- Bei komplizierten Bauteilen gestaltet sich das Anfertigen von Werkstattzeichnungen viel einfacher, da auch komplizierte Schnitte schnell und korrekt erstellt werden können.

Als Nachteil stehen dem jedoch immer noch die, im Vergleich zu 2D CAD Programmen, größeren Anschaffungs- und Unterhaltskosten, die höheren Anforderungen an den Computer und vor allem an die Benutzer solcher Software gegenüber.

Speziell bei den MKS-Programmen sind die Fortschritte der letzten Jahre in der Handhabung zu sehen. Während der Benutzer solcher Software früher über sehr detaillierte Kenntnisse der Programmierung verfügen mußte, ist dies heute nicht mehr in dem Maße erforderlich. Die gängigen Programme gestatten ohne solche Kenntnisse schon die Lösung vieler Probleme. Dringt man bei der Arbeit mit einem solchen Programm in Spezial- oder

Randgebiete vor, so ist die selbständige Programmierung jedoch unumgänglich. Hier werden jedoch komfortable Schnittstellen geschaffen, die es dann jedem Benutzer ermöglichen, die einmal programmierten Module durch einfache Eingabehilfen zu benutzen. Die Kombination verschiedener Programme schafft hier weitere Vorteile. Im Berliner Institut für Landmaschinen und Ölhydraulik wurden in dieser Beziehung gute Erfahrungen bei der Kombination der Programme Pro/Engineer, DADS, Matlab/Simulink und Pro/Mechanica gemacht.

Modellerstellung

Sind die CAD-Daten in die Simulationssoftware importiert, beginnt die eigentliche Arbeit der Modellerstellung. Hier muß Klarheit herrschen, wie genau das Fahrzeug abgebildet werden soll und es sollte grundsätzlich nach der Prämisse verfahren werden: So genau wie nötig, so ungenau wie möglich. Das ist aus mehreren Gründen sinnvoll: Ein zu genau modelliertes System bringt nur wenig genauere Ergebnisse, verlängert aber Rechenzeiten ganz erheblich und macht eine Fehlersuche extrem schwierig. Die Modellierung umfaßt natürlich neben der Abbildung der reinen Geometrie- und Massendaten auch und vor allem eine exakte Abbildung der Kinematik und der Feder- und Dämpferelemente. Hier bietet moderne Mehrkörpersystem – Simulationssoftware (MKS-Software) den Vorteil, daß sie modular solche Elemente enthält und die Programmierung anwenderspezifischer Elemente erleichtert. Die Verwendung solcher implizierter Elemente setzt aber die exakte Kenntnis über die Modelle (einschließlich theoretischem Hintergrund) und die realen Gegebenheiten voraus. Wird beispielsweise bei der Simulation eines Traktors ein ungeeignetes Reifenmodell verwendet, so ist es nahezu unmöglich, reale Fahrzustände exakt abzubilden.

Wie gelungen die Modellierung ist, muß sich schlussendlich in der Verifikation des Modells zeigen.

In Bild 1 wird beispielhaft gezeigt, wie mit einem sehr einfachen Prototypenmodell schon Ergebnisse erzielt werden können, die eine Modellverfeinerung sinnvoll erscheinen lassen.

Verifikation

Hier liegt die Hauptarbeit der Simulation und hier bestehen viele Fehlermöglichkeiten. Diese können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

1. Fehler im Verifikationsablauf
 2. Fehler in der Modellveränderung
- Für ein erstes Simulationsmodell (Prototypenmodell) ist es nicht sinnvoll, ein

Dipl. – Ing. Christian von Holst arbeitet seit 1995 am Institut für Maschinenkonstruktion, Bereich Landmaschinen und Ölhydraulik der TU Berlin, Zoppoter Str. 35, 14199 Berlin, als wissenschaftlicher Assistent und beschäftigt sich in seiner Promotion mit der Optimierung des fahrdynamischen Verhaltens von Traktoren.

em. Prof. Dr. – Ing. Horst Göhlich leitete das Institut für Landmaschinen und Ölhydraulik in der Zeit von 1966 bis 1994 und ist dort noch als Emeritus aktiv.

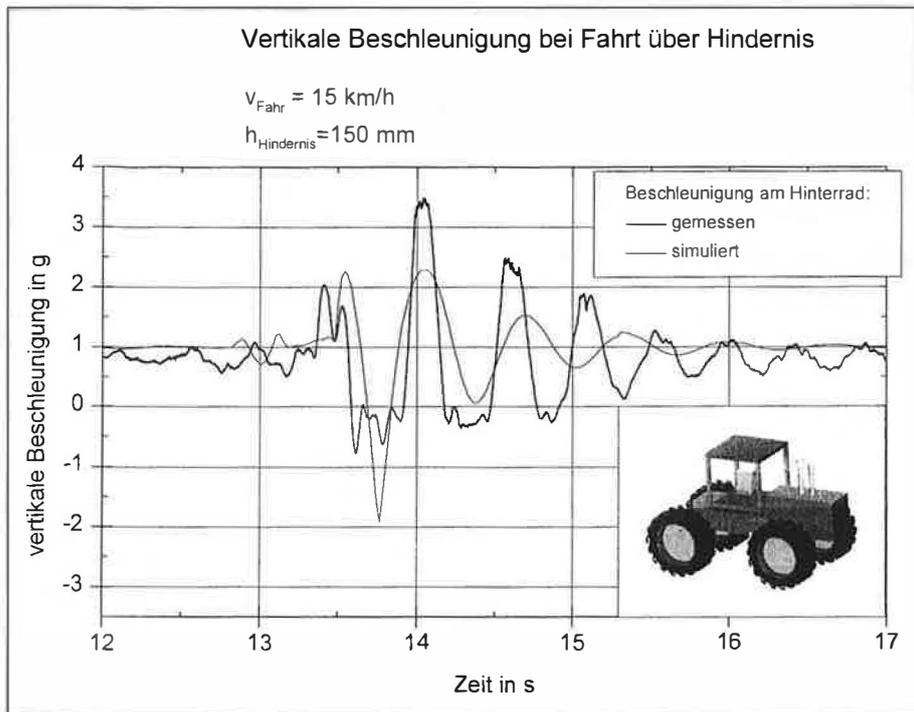


Bild 1: Prototyp eines Traktors (20 Freiheitsgrade, Starrkörper, ohne Reibung und ohne Spiel, Reifenmodell aus Simulationssoftware) und Vergleich von Messung und Simulation

Fig. 1: Prototype-modell of a tractor (20 degrees of freedom rigid bodies, no friction, no bearing-tolerance, tyre model included in software) and comparison of measurement and simulation

komplettes Modell, etwa eines Traktors mit gefederter Vorderachse, als Ganzes über eine virtuelle unebene Fahrbahn fahren zu lassen und die Ergebnisse dann mit Meßergebnissen zu vergleichen. Der Nachteil dieser Vorgehensweise besteht darin, daß Abweichungen der Ergebnisse nicht präzise zugeordnet werden können. So ist es bei dieser Vorgehensweise kaum möglich festzustellen, ob ein fehlerhaft modellierter Reifen, eine falsche Auslegung der Vorderachsfederung oder bisher unberücksichtigte Effekte wie Reibung oder Lagerspiel für die Ergebnisabweichung ursächlich sind. Würde man an dieser Stelle das Modell optimieren, also soweit verändern, daß die berechneten und die gemessenen Ergebnisse ausreichend übereinstimmen, hätte man später keine Möglichkeit mehr, Aussagen über Teilsysteme zu treffen.

Eine Verifikation einzelner Teilsysteme ist hier der bessere Weg. Das komplette System wird in weitgehend unabhängige Teilsysteme zerlegt, dies können beim Traktor Sitz, Kabine, Rahmen oder Motor – Getriebeeinheit, Vorderachse und Reifen sein, und diese werden unabhängig voneinander verifiziert. Ausgehend von der Überlegung, daß ein Komplettsystem, das aus korrekt modellierten und einzeln verifizierten Teilsystemen aufgebaut ist, dann auch korrekt modelliert sein muß, beschränkt sich dann die Verifikation auf die Schnittstellen des Zusammenspiels der Teilsysteme.

Dies soll an einem einfachen Beispiel erläutert werden. Ein Traktorreifen wird auf einem Prüfstand mit verschiedenen

Reifendrücken und Lasten untersucht. Der Reifen wird mit dem Prüfstand als MKS-Modell im Computer abgebildet und in diesem Modell wird der Reifen solange verändert, bis sein Verhalten gut mit der Realität übereinstimmt. Parallel wird das Fahrzeug ohne Reifen auf einem Prüfstand untersucht und ebenfalls so mittels MKS-Software nachgebildet. Befriedigen die Modelle von Reifen und Fahrzeug (ohne Reifen), werden die Teilsysteme gekoppelt. Abweichungen zwischen Messung und Simulation des Gesamtsystems können dann gezielt zugeordnet und untersucht werden.

Dieses Vorgehen ist zwar erst einmal zeitintensiver, bietet aber einen entscheidenden Vorteil. Es ist später recht einfach möglich, im Rahmen einer Modellpflege, einzelne Komponenten des Fahrzeugs zu verändern und ihre Modifikation mittels MKS zu untersuchen. Des weiteren resultiert eine viel detailliertere Kenntnis über die einzelnen Teilsysteme aus dieser Vorgehensweise, so daß es dem Fahrzeughersteller möglich ist, exaktere Lastenhefte an seine Zulieferer zu geben.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil liegt im Erfahrungsgewinn bei den Messungen. Wird ein Traktorreifen mit niedrigen Luftdrücken, hohen Lasten und Fahrgeschwindigkeiten untersucht, so ist es unvermeidlich, daß auch der Prüfstand durch den Reifen beeinflusst wird. Durch die Simulation von Prüfstand und Reifen werden Effekte berechenbar gemacht, die technisch unvermeidlich sind. Als Beispiel soll hier der Reifenprüfstand des Institutes für Landmaschinen und Öl-

hydraulik dienen. Auf ihm wurden Messungen gemacht, die zur Verifikation eines Reifenmodells dienen. Dabei traten Schwingungen in einem Frequenzbereich auf, die durch das Modell nicht nachzubilden waren. Die Simulation des Prüfstandes zeigte jedoch, daß diese Schwingungen nicht von dem Reifen herrührten, sondern in der speziellen Kinematik des Prüfstandes und seiner Elastizität begründet waren. Da diese Effekte jetzt aber bekannt sind, können sie zukünftig berücksichtigt werden.

Ausblick

An dem Institut für Landmaschinen und Ölhydraulik an der TU-Berlin wird daran gearbeitet, eine möglichst optimale Vorgehensweise bei der Erstellung solcher komplexer Simulationsmodelle zu finden. Es werden Wege untersucht, die eine zeit- und aufwandsoptimale Modellierung und Verifikation der Teilsysteme gestatten (etwa Modellierung der Traktor-Reifen mit Stollen und Unrundheiten anhand von Meßergebnissen). Dabei liegt das Augenmerk nicht nur auf der Simulation, sondern auch auf dem experimentellen Teil der Verifikation. Es wird an standardisierten Meßverfahren zur Ermittlung der dynamischen Kenngrößen von Reifen, Fahrzeugen, Fahrersitzen und ähnlichem gearbeitet, die eine schnelle und zuverlässige Modellerstellung und Verifikation ermöglichen. Dabei werden auch Verfahren berücksichtigt und erprobt, die den Meßaufwand deutlich reduzieren oder aufwendige Prüfstände wenigstens teilweise ersetzen können.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Zieldefinition speziell bei der MKS-Simulation. Hier wird untersucht, welche Meßgrößen sich besonders zur Verifikation eignen oder in welcher Form sie verwendet werden sollten (Zeit- oder Frequenzbereich). Die Zieldefinition umfaßt aber auch die Fragen, wie gut die Ergebnisse aus Messung und Simulation übereinstimmen müssen und welcher Zeitaufwand dabei entstehen darf. Ist die Anwendung der Methoden des CAE auf diese Weise als Standard in der Entwicklung und Konstruktion verankert, können Fernziele, wie etwa die Einbindung des Fahrers in ein Fahrzeugmodell, angestrebt werden.

Schlüsselwörter

Simulation von Traktoren, Fahrdynamik, gefederte Vorderachse

Keywords

Simulation of tractors, ride dynamics, front axle suspension