

Heinz Böhler, Marktoberdorf

Einsatz von Simulationen bei der Produktentwicklung von Traktoren

Der Einsatz von Simulationen Werkzeugen hat bei der Entwicklung der Fendt Traktoren eine lange Tradition. Ein Vorgehen nach dem Motto „Probieren geht über Studieren“ ist bei den heutigen kurzen Entwicklungszyklen nicht mehr möglich, Wiederholungsschleifen für fehlgeschlagene Versuche sind in den Verfahrensabläufen kaum mehr eingeplant.

Welche Vielfalt an Problemstellungen sich inzwischen mit Simulationen bearbeiten lassen, zeigt die Pkw-Branche. Für die Entwicklung von landtechnischen Fahrzeugen stellt sich jedoch die Frage, welche Simulationen Werkzeuge bei den deutlich kleineren Stückzahlen und Personalressourcen sinnvoll einsetzbar sind.

Dr.-Ing. Heinz Böhler war von 1993 bis 2001 am Lehrstuhl tätig und ist bei der AGCO GmbH für den Bereich Festigkeitsversuch und Technische Berechnung verantwortlich, Joh.-Georg-Fendt-Str. 4, 87616 Marktoberdorf; e-mail: heinz.boehler@xfendt.de

Schlüsselwörter

Traktor, Simulation, FEM

Keywords

Tractor, simulation, FEM

Einem wesentlichen Beitrag zum Erfolg der Simulation leistete die inzwischen erfolgte breite Einführung von 3D-CAD-Systemen. Noch vor einigen Jahren hatte die notwendige Aufbereitung der Konstruktionsdaten einen gewichtigen Anteil am Aufwand zur Durchführung einer Simulation. Inzwischen liegen dem Berechnungsingenieur die notwendigen Ausgangsdaten für vielfältige Simulationen unmittelbar vor, so dass er direkt mit der Modellierung seiner Aufgabe beginnen kann.

Überblick über Einsatzbereiche von Simulationstechniken

Table 1 zeigt eine Liste mit Simulationenmethoden, die für die Entwicklung von Landmaschinen relevant sind [1]. Im Folgenden soll insbesondere auf die Bereiche Schwingungen und Festigkeit eingegangen werden.

Festigkeitsberechnung mit Hilfe der FEM

Das wichtigste Anwendungsgebiet für Simulationen bei AGCO ist sicherlich der Festigkeitsbereich und dabei die Spannungsermittlung mit Hilfe der Finite Elemente Methode FEM.

Bild 1 zeigt die Berechnung des Fahrzeugrahmens. Es wurden dabei mehrere verschiedene Lastfälle (Feldwegefahrt mit schweren Geräten, Pendelanschlag der Vorderachse, einseitiges Anfahren gegen ein

Hindernis, Frontladen) berechnet; die Lastvorgaben dazu stammen aus Messungen am Fahrzeug. Der Vorteil der Simulation ist offensichtlich: Bricht bei einem Versuch ein Bauteil, so hat man nur eine kritische Stelle entdeckt. Bei der Berechnung werden dagegen sämtliche kritischen Stellen angezeigt. Diese könnten danach in der Serie aufgrund der Streuungen der Materialdaten und der Belastungen noch kritischer sein als die Stelle, die im Versuch versagte.

Um den Nachweis der Haltbarkeit zu führen, müssen für jeden Lastfall die maximal zulässigen Spannungen definiert oder wenn möglich eine Betriebsfestigkeitsrechnung durchgeführt werden.

Die heutige Computerleistung reicht aus, um auch komplizierte Gussteile wie in Bild 1 oder Baugruppen (Gehäuseverbände) mit Schraubenvorspannung und Kontakt und Reibung schnell und effizient zu rechnen.

Zur Verbesserung der Konzeptfindung eines Bauteils gibt es spezialisierte Topologie-Optimierungsprogramme, die innerhalb des vorhandenen Bauraumes eine für den Kraftfluss optimale Kontur vorschlagen.

Mit Hilfe von FEM-Analysen im Zeitbereich lässt sich auch das dynamische Schwingungsverhalten von Systemen untersuchen. In [2] wird die Schwingungsanalyse des Motors mit Anbauteilen beschrieben, bei dem das System durch die Wechselmomente des Motors angeregt wurde. Ziel der Analyse war es, sowohl das Schwingungsverhalten als auch die Festigkeit zu optimieren.

Tab. 1: Mögliche Anwendungsgebiete von Simulationen

Table 1: Possible fields of application for simulation methods

Bereich	Beispiele für Simulationen
Gesamtfahrzeug	Simulation von Fahr- und Betriebseigenschaften (etwa Zugkraft, Achslastverlagerungen)
Mechatronik	FMEA, Hardware in the Loop
Schwingungen	Komfort und Fahreigenschaften des Gesamtfahrzeugs, Antriebsstrangschwingungen, Bauteilschwingungen
Festigkeit	Lastdatenermittlung, Lastdatenanalyse und Raffung, Materialeigenschaften (etwa Gußeigenspannungen), Spannungsanalyse, Lebensdauerberechnung
Geräusch	Schallerzeugung durch Schwingungen und Abstrahlverhalten von Gehäusen
Kinematik / Kinetik	Bewegungsanalyse von Fahrwerksfedern und von Geräteschnittstellen wie etwa Heckkraftheber
Hydrodynamik	Instationäre Strömungsvorgänge in der Hydraulik
Aerodynamik	Auslegung von Fahrzeugkühlanlagen

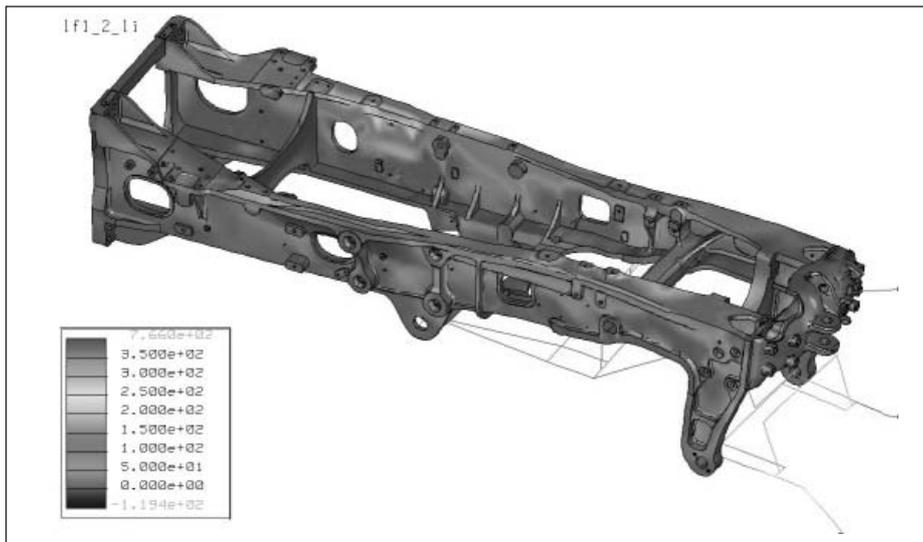


Bild 1: Spannungsanalyse mit FEM am Rahmen des Favorit 700

Fig. 1: Stress analysis by FEM applied to the frame of Favorit 700

Mehrkörpersystem – Simulation

Die Mehrkörpersystem- (MKS-) Simulation wird für die Berechnung von Systemen von starren Körpern mit großen Bewegungen verwendet. Ein Anwendungsgebiet ist beispielsweise die Analyse von Front- und Heckkraftheber. Dabei interessieren vor allem Freiganguntersuchungen und die Hubkraftkurven der Kraftheber.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Komponenten wie etwa der Fahrwerksfederungen oder des Gesamtfahrzeugs. Derartige Untersuchungen zur Optimierung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit fordern einen hohen Aufwand und werden zurzeit nur vereinzelt durchgeführt. Schwierigkeiten bereiten insbesondere noch die Modellierung und Parametrierung der Reifen.

Bei sehr detaillierter Modellierung können auch Lastannahmen zur Auslegung der Bauteile abgeleitet werden [3], für die Landmaschinenindustrie ist der Aufwand aber zurzeit noch zu hoch.

Antriebsstrangsimulation

Auch bei der Antriebsstrangsimulation handelt es sich um eine spezielle MKS-Simulation; sie wird bereits seit einigen Jahren konsequent bei allen Vario-Getrieben eingesetzt [4]. Die Anregung des Antriebsstrangs erfolgt vor allem durch die Gelenkwelle. Dabei können durch Schwingungen an eigentlich unbelasteten Wellen hohe Wechselmomente entstehen. Ziel der Untersuchungen ist es, diese Schwingungsprobleme im Antriebsstrang frühzeitig zu erkennen und zu minimieren oder diese bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Vor- und Nachteile von Simulationsrechnungen gegenüber Versuchen

Vorteile

- Die Ergebnisse von Simulationsrechnungen sind in der Regel umfassender und damit aussagefähiger als Versuche. Es können zahlreiche Ausgabegrößen ermittelt werden, die bei Versuchen meist gar nicht oder nur mit großem Aufwand zugänglich sind. Dadurch können komplexe Problemstellungen leichter durchschaut und Lösungen gefunden werden.
- Ist das Modell aufgestellt und validiert, können zahlreiche Einsatzfälle jederzeit mit geringem Aufwand untersucht werden.
- Die Auswirkungen von geplanten Änderungen können frühzeitig und ohne Hardware recht genau und schnell vorhergesagt und bewertet werden.

Nachteile

- Werte und Streubreite bestimmter wichtiger Eigenschaften (etwa Dämpfung) sind oft nicht bekannt und können nur über Versuche ermittelt oder abgeschätzt werden.
- Materialeigenschaften, die durch Fertigungsprozesse entstehen, zum Beispiel Eigenspannungen beim Gießen, Schweißen, Härten, ... können zurzeit noch nicht ausreichend berücksichtigt werden.
- Je genauer die Aussage des Modells sein soll, desto mehr Erfahrung und Aufwand wird für die Modellerstellung benötigt.

Fazit:

- Moderne Simulationsmethoden sind in der Produktentwicklung von Traktoren nicht mehr wegzudenken. Aufgrund der immer enger werdenden Zeitpläne bei Neuent-

wicklungen wird das Gewicht der Simulationen noch weiter steigen.

- Aufgrund der deutlich kleineren Stückzahlen und Personalressourcen macht nicht jede Simulationsmethode, die im Pkw-Bereich verwendet wird, auch bei Traktoren Sinn. Um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten, ist eine qualifizierte Mannschaft notwendig, die auch regelmäßig Erfahrung mit dem entsprechenden Simulationswerkzeug sammeln kann.
- Dies hat bisher die breite Einführung etwa der Mehrkörpersimulation am Gesamtfahrzeug und eine detailliertere Betriebsfestigkeitsberechnung verhindert; einzelne Projekte wurden bei AGCO bei Bedarf mit externen Partnern durchgeführt. Die Bedienbarkeit und der Nutzwert der Programme wird jedoch laufend verbessert, so dass auch diese Methoden bei der Entwicklung von Traktoren interessanter werden.
- Ein Einstieg in die Anwendung neuer Simulationstools ist dazu die Zusammenarbeit mit Universitäten und externen Dienstleistern. Dabei können der Nutzwert dieser Methoden deutlich gemacht und die teilweise doch erheblichen Investitionen besser begründet werden.

Literatur

- [1] Negele, E.: Der Einsatz theoretischer Simulationsmethoden bei der Produktentwicklung zur Reduzierung von Zeit und Kosten und zur Steigerung der Produktzuverlässigkeit. Vortrag: Tagung Landtechnik, Garching, 15./16.10.1998, Tagungsband (VDI-Berichte 1449), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998, S. 321-326
- [2] Hedderich, R.: Lösung von schwierigen Schwingungs-/Festigkeitsproblemen durch parallelen Einsatz von modernsten Versuchs- und Berechnungsmethoden, Teil 2: Berechnungsmethodik. Vortrag: Tagung Landtechnik, Münster, 10./11. 10. 2000, Tagungsband (VDI-Berichte 1544), VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000, S. 379-384
- [3] Böhler, H.: Traktormodell zur Simulation der dynamischen Belastungen bei Transportfahrten. Dissertation, TU München, 2001, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 14, Nr. 104, VDI Verlag, Düsseldorf, 2001
- [4] Hedderich, R.: Rechnerische Simulation – ein Hilfsmittel zur Lösung von Schwingungsproblemen im Antriebsstrang. Vortrag: Tagung Landtechnik, Garching, 15./16. 10. 1998, Tagungsband (VDI-Berichte 1449), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998, S. 327-332