



Schwingungskomfort und Fahrsicherheit

Virtuelle Prozesskette zur Komfort- und Fahrdynamikoptimierung mobiler Arbeitsmaschinen

Manuel Bös

Moderne mobile Arbeitsmaschinen – insbesondere hoch ausgelastete Leistungsmaschinen – sind heute mit einer Vielzahl von Schwingungssystemen ausgerüstet, um sowohl den Schwingungskomfort des Bedieners als auch die Fahrsicherheit der Maschinen auf einem hohen Niveau sicherzustellen. Diese Schwingungssysteme umfassen beispielsweise mehrachsig gefederte Fahrersitze, Kabinen- und Achsfederungen sowie Tilger zur Beruhigung von Fahrzeugschwingungen.

Dipl.-Ing. Manuel Bös, Doktorand Vorentwicklung Radlader, Liebherr-Werk Bischofshofen GmbH, Bischofshofen

Der Schwingungskomfort mobiler Arbeitsmaschinen rückt aktuell stark in das Zentrum des Interesses der Maschinenbetreiber. Mit dem Aufkommen der EU-Richtlinie 2002/44 EG bzw. nationaler Umsetzungen (Deutschland: LärmVibrationsArbSchV) stehen Maschinenbetreiber von Rechts wegen in der Pflicht, die Vibrationsexposition ihrer Fahrer zu überprüfen und sicherzustellen, dass festgelegte Grenzwerte nicht überschritten werden. Maschinenhersteller sehen sich hierdurch der Aufgabe gegenübergestellt, ihre Fahrzeuge hinsichtlich des Schwingungskomforts weiter zu optimieren.

Hierbei besteht die Herausforderung, die komplexen Zusammenspiele verschiedener Schwingungssysteme zu bewerten und diese optimal aufeinander abzustimmen. Gleichzeitig können neue Ansätze wie adaptive oder aktive Systeme vonnöten sein, um den strengen Vibrationsgrenzwerten begegnen zu können, wobei deren Wirkungsweise oftmals sehr spezifisch an den Maschinentyp angepasst werden muss.

Beachtet werden muss dabei, dass eine Optimierung des Schwingungskomforts

durch eine Anpassung oder Neugestaltung von Schwingungssystemen auch auf andere Verhaltensweisen des Fahrzeugs Auswirkungen haben kann. So kann beispielsweise eine Änderung des Achsfederungs-

Die intuitive Vorgehensweise der Versuchsfahrer wurde in der virtuellen Welt nachgebildet

systems neben dem Schwingungskomfort auch die Fahrdynamik, die dynamische Kippsicherheit, das Lenkverhalten und das für den Arbeitsbetrieb notwendige Prozessfeedback beeinflussen. Diese Auswirkungen müssen in der Entwicklung zu einem frühen Zeitpunkt bestmöglich erkannt und bewertet werden, um kosten- und zeitintensive Nacharbeit in späteren Entwicklungsphasen zu vermeiden. Es ist ein globales Verständnis des Fahrzeugverhaltens nötig und eine Beschränkung der Betrachtung auf eine Verhaltensdomäne muss vermieden werden.

Virtuelles Radladermodell im Manöver auf der Schlechtwegstrecke (links oben) und Messdatenaufzeichnung mit Versuchsfahrzeug zur Modellvalidierung

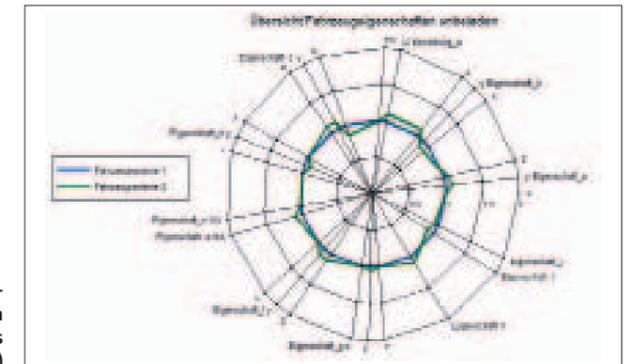
Einsatz von Simulation

Bei der Entwicklung und Optimierung von Schwingungssystemen an Radladern des Hauses Liebherr kommt der numerischen Mehrkörpersimulation seit Jahren eine starke Bedeutung zu und ergänzt klassische, versuchstechnische Methoden. Durch die Freiheit von Einschränkungen einer realen Versuchsumgebung können Einflussfaktoren auf das Verhalten effizient in der virtuellen Umgebung herausgearbeitet werden. Gleichzeitig wird durch die Möglichkeit, mit dem Schwingungssystem frei experimentieren zu können, das Systemverständnis der Entwickler gefördert. Die Wirksamkeit von Konzepten kann bereits virtuell realistisch bewertet werden, so dass Entwicklungsentscheidungen zielsicher getroffen werden können, bevor beträchtlicher Aufwand in reale Prototypen fließt. Besonders die Branche der mobilen Arbeitsmaschinen ist geprägt durch die Tatsache, dass Fahrzeuge sowohl aus hydraulischen, mechanischen als auch elektronischen Komponenten aufgebaut sind und diese Systeme in ständiger Wechselwirkung miteinander stehen. Zur Abbildung der Fahrzeuge in der Simulation eignen sich daher insbesondere die so genannten objektorientierten Systemsimulationsumgebungen, da diese die Möglichkeit bieten, mehrere technische Domänen (1D-3D Mechanik, Hydraulik, Pneumatik, Regelungstechnik) auf einer Plattform darzustellen. Somit wird unter anderem auch die Modellierung von adaptiven oder (semi-)aktiven hydraulisch-mechanischen Schwingungssystemen mit integrierter Regelungstechnik ermöglicht. Der objektorientierte Ansatz erlaubt es weiterhin, auf Teilsystemebene modellierte und validierte Baugruppen, beispielsweise eine Kabinenfederung, später leicht in ein komplexeres Gesamtfahrzeugmodell zu integrieren.

Virtuelle Versuchsfahrten

Um das globale Fahrzeugverhalten mit den Teilgebieten Schwingungskomfort, Fahrdynamik, Kippsicherheit und Bedienbarkeit gesamtheitlich bewerten und optimieren zu können, wurde in der Liebherr-Radladerentwicklung ein durchgängiger Prozess auf Basis virtueller Prototypen implementiert.

Übersichts-
darstellung des globalen
Fahrzeugverhaltens
(erste Ergebnisebene)



Die zentralen Elemente sind dabei die verwendete Systemsimulationsumgebung SimulationX gekoppelt mit einem strukturdynamischen Reifenmodell sowie ein hausinternes Simulationssteuerungs- und Datenverarbeitungswerkzeug.

Die Kernidee: Die intuitive Vorgehensweise eines Versuchsfahrers in der virtuellen Welt nachzubilden. Übergibt man einem geschulten Versuchsfahrer eine neue

Die Auswirkungen einer Anpassung auf das globale Fahrzeugverhalten werden transparent

Fahrzeugkonfiguration zur Bewertung des Schwingungs- und Fahrverhaltens, so wird dieser verschiedenste Fahrzyklen und Betriebssituationen durchfahren, um einen differenzierten Gesamteindruck zum Maschinenverhalten zu erlangen. Für jede Fahrsituation existieren dabei spezifische Anforderungen an das Soll-Verhalten der Maschine und entsprechende Bewertungskriterien.

Analog hierzu wird nun mit einem validierten Gesamtfahrzeugmodell des betrachteten Radladers im Simulationsprozess sukzessive ein Katalog verschiedenster Fahrmanöver durchfahren. Jedes dieser Fahrmanöver wird automatisiert analysiert und gibt Einblick in bestimmte Verhaltensweisen des Fahrzeugs. Die Auswerterroutinen geben dem Benutzer dabei die Möglichkeit, einen gesamten Überblick über das globale Fahrzeugverhalten (Komfort, Fahrdynamik, Kippsicherheit, Bedienbarkeit) zu erlangen und bei Bedarf auf manöverspezifische Detailauswertungen zurückzugreifen.

Wird nun ein Schwingungssystem an der virtuellen Maschine rekonfiguriert oder

neue Konzepte virtuell integriert, so kann der Entwickler nach dem automatisierten Durchfahren des Manöverkatalogs direkt beurteilen, wie sich diese Änderung am Fahrzeug in den verschiedenen Verhaltensdomänen auswirken wird.

Durch die damit verbundene Effizienz in der Entwicklung von Schwingungssystemen erreichen frühe reale Prototypen bereits eine hohe Produktreife und die nachfolgenden Abstimmungsarbeiten an Versuchsfahrzeugen werden wirksam unterstützt. Durch den globalen Betrachtungsansatz bezüglich der Verhaltensweisen der Maschine werden unliebsame Überraschungen im Fahrverhalten der ersten Prototypen und damit kostspielige Nachbearbeitungsschleifen verhindert. Für die Kunden bedeutet dies maximale Wirksamkeit der Schwingungssysteme an der Serienmaschine für optimierten Schwingungskomfort und höchste Betriebssicherheit.

Liebherr

www.vfmz.net/3192940

Summary

To optimize the operator comfort and vehicle dynamic behavior of wheel loaders, Liebherr relies on physical testing as well as multi-body simulation when it comes to suspension system design and tuning. The combination of these methods ensures a highly efficient process and reliable results. For global machine optimization regarding operator comfort, vehicle dynamics, tipping safety and operability, a new automated simulation process has been established.