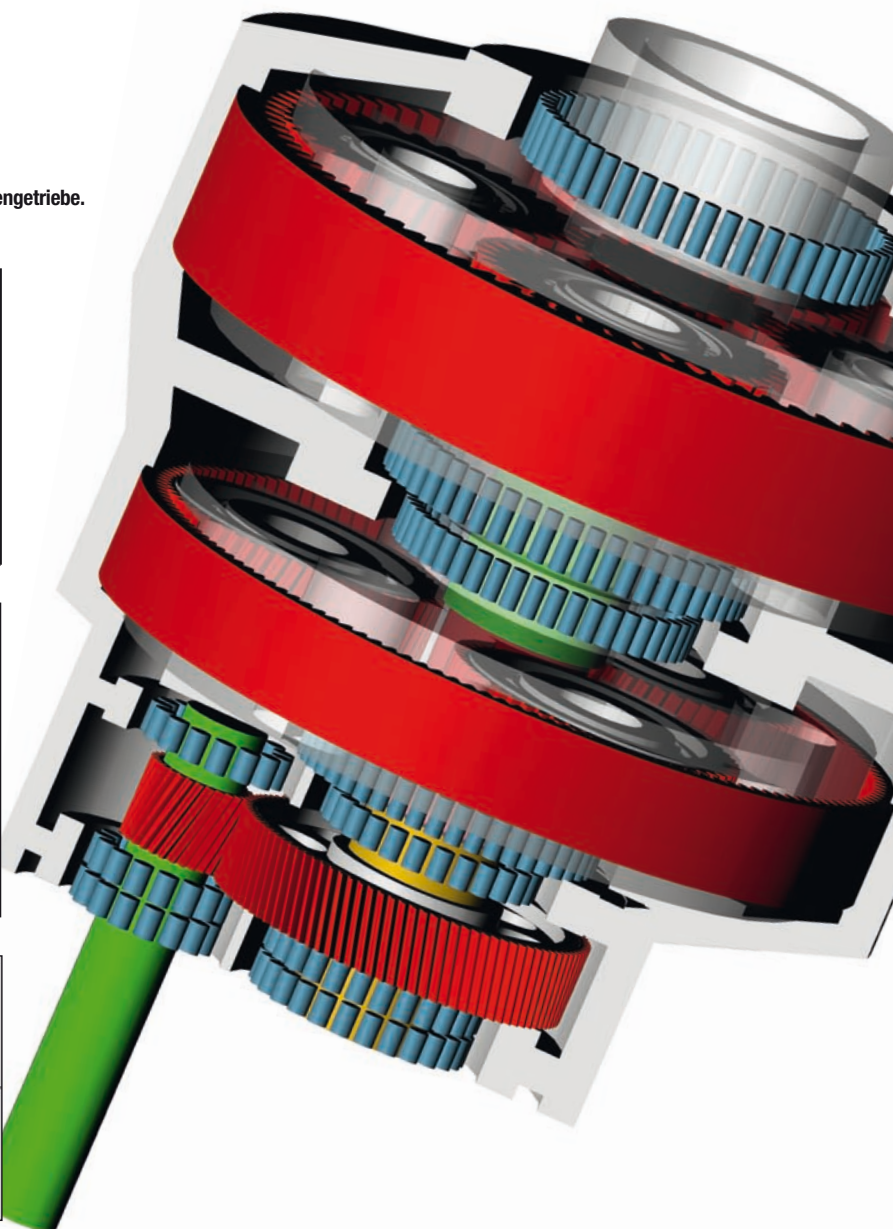
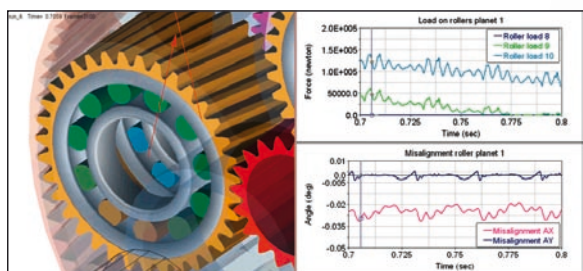
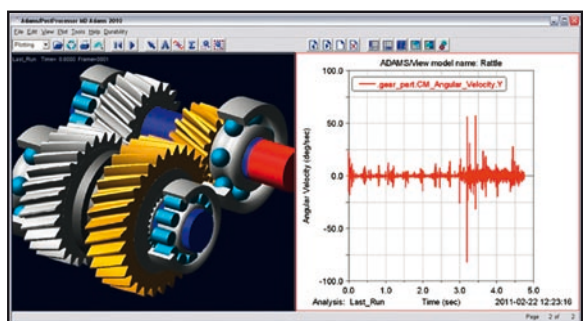
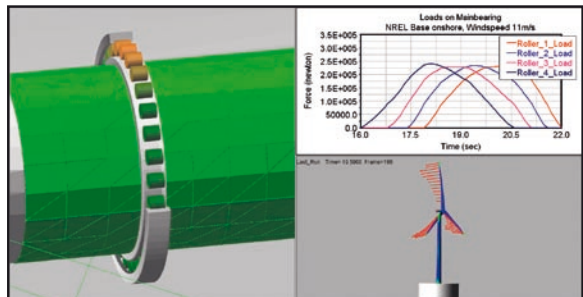


**Oben:** Lasten auf Rollenkörpern im Hauptlager einer Windturbine  
**Mitte:** Getrieberasseln unter Berücksichtigung des Lagerspiels.  
**Unten:** Detailergebnisse der Berechnung eines Lagers in einem Planetengetriebe.  
**Rechts:** All-Adams-Gear-Getriebe.



# Wälzlager detailliert berechnen

**Virtuelles Prototyping.** Die Finite Element Analyse (FEA) und Mehrkörpersimulation (MKS) gehören zu den effizientesten Berechnungsmethoden, um komplexe mechanische Systeme zu untersuchen. Aktuelle Applikationen belegen, dass diese Anwendungen mehr sind als sich ergänzende Softwarelösungen.

**K**ünftig werden fortschrittliche und neue Entwicklungsprozesse auf einer engeren Integration beider Technologien beruhen. Nur so lässt sich eine höhere Genauigkeit bei virtuellen Prototypen erzielen. Infolgedessen verringern sich Entwicklungszeit und Kosten mechanischer Systeme – auch wenn die Modellierung komplexer wird.

Erste kommerzielle Anwendungen der FEA gab es bereits in den frühen 60er Jahren. 1964 schreibt die NASA die Entwicklung eines Codes für statische und dynamische Analysen aus. Die MacNeal-Schwendler Corporation (MSC) erhält den Auftrag. Es entsteht Nastran, kurz für NASA Structural Analysis Program. Einer der Mitbegründer von MSC, Richard H.

MacNeal, sagt über diese Zeit: „Wir gründeten MSC mit der Absicht, die computergestützte Strukturanalyse voranzutreiben. Die 60er Jahre kann man als Revolution der Finiten Elemente bezeichnen. Es gab ein industriegetriebenes Bedürfnis nach besseren Verfahren, um Flugzeugantriebe und Raumschiffe zu analysieren. Die in Nastran angewandten Algorithmen erfüllten diese Wünsche.“

Heute erzeugen ausgereifte Vernetzungsmodule die finiten Elemente in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand direkt aus der CAD-Geometrie. Die Genauigkeit der numerischen Prognosen hängt hauptsächlich von der Anzahl und Qualität der finiten Elemente sowie den verwendeten Randbedingun-

gen und Belastung der Komponenten ab. Der erste Punkt ist heute kein Hindernis mehr. Hochleistungsrechner können Modelle mit mehreren Millionen Knoten simulieren. Der zweite Punkt ist kritischer. Wie lässt sich die Komponentenbelastung in einem mechanischen System im zeitlichen Verlauf erkennen? Diese Frage lässt sich effektiv nur beantworten, indem man FEA und MKS kombiniert.

**Mehrkörperdynamik**

MKS wurde etwa ein Jahrzehnt später als FEA erstmals kommerziell angewandt. In der Starrkörpermechanik können sich Körper beliebig im Raum bewegen, wobei mechanische Gelenke oder Federgesetze die relative Bewegung der Bauteile beschränken. Die Analysemöglichkeiten umfassen auch statische Auslegungsuntersuchungen, aber Schwerpunkt ist die Voraussage des dynamischen Verhaltens von komplexen mechanischen Systemen.

Das Auto ist ein verständliches Beispiel für ein mechanisches System. Ein Auto besitzt verschiedenste komplexe Subsysteme für Funktion (Aufhängung, Antriebsstrang, Kraftübertragung), Komfort (Schiebedach, Tür- und Fensteröffner) und Sicherheit (Fahrzeugstabilität, Insassenhaltemechanismen). Diese Subsysteme werden separat entwickelt und optimiert, müssen aber im Gesamtsystem die Produktvorgaben erfüllen.

MKS wird für alle diese Aufgaben eingesetzt. Autos sind nur ein Beispiel. Kinematische Systeme sind Bestandteil unseres täglichen Lebens. Wir sind umgeben von mechanischen Systemen: von einfachen Pendeln bis hin zu komplexen Motoren und Turbinen.

**Flexible Körper**

Die mittleren 80er Jahre markieren einen Meilenstein für FEA und MKS. Zuvor erhielt der Berechnungsingenieur realistische Werte für die Komponentenbelastung oder Bauteilspannungen, indem er Schnittstellenkräfte aus der MKS auf seine FE-Modelle projizierte. Den Ingenieuren war jedoch klar, dass man bei vielen MKS-Berechnungen die Flexibilität der Komponenten berücksichtigen muss. Die Flexibilität von Komponenten beeinflusst die Systemantwort und durch diese Änderungen treten unterschiedliche Deformationen und Spannungen in den Komponenten auf.

Um auch elastisches Materialverhalten in der MKS berücksichtigen zu können, wurden die sogenannten elastischen Körper integriert. Unter einem elastischen Körper versteht man die Berücksichtigung der Bauteilflexibilität (FEA) in der Mehrkörperdynamik. Dem geringen Mehraufwand in der Modellierung und der etwas längeren Rechenzeit stehen wesentlich genauere Voraussagen der Deformation und Dynamik des Gesamtsystems und der Bauteilbelastung gegenüber.

Die modale Synthese bildet den Grundstein, dass die heutige Mehrkörperdynamik mit kurzen Rechenzeiten die Lücke zwischen reiner Strukturanalyse und Systemsimulation schließen konnte. Gerade im letzten Jahrzehnt hat sich gezeigt, dass die Verwendung von elastischen Körpern in der Mehrkörperdynamik den Entwicklungsteams Vorteile bietet. Komplexe mechatronische Systeme mit mehreren elastischen Körpern werden mit großer Effizienz virtuell getestet.

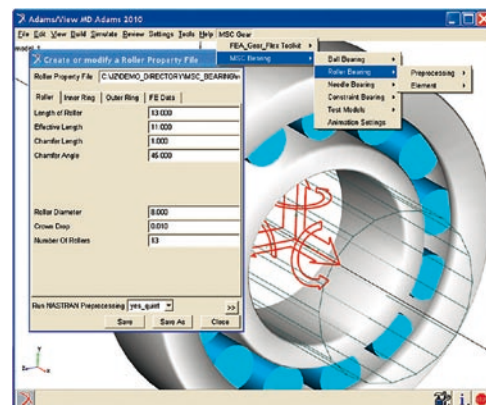
**Wälzlager modellieren**

Wie können gekoppelte Anwendungen von FEA und MKS künftig aussehen? Diese Frage kann am Beispiel der Modellierung von Wälzlagern als Ersatz für Gelenke oder Federungen beantwortet werden. Die Lastübertragung in Wälzlagern

ist komplex und von mehreren Parametern abhängig. Daher kann nicht gewährleistet werden, dass vereinfachte Modellierungen und Berechnungen immer genaue Ergebnisse liefern. Die Kopplung von FEA und MKS kann eine solche Konsistenz und hohe Qualität liefern – solange eine identische Modellierung gegeben ist.

Bearing Advanced Technology (AT) ist ein Softwarewerkzeug für die Modellierung von Wälzlagern innerhalb des Mehrkörperdynamikprogramms Adams und belegt die innovative Kopplung zwischen FEA und MKS. Hohe Benutzerfreundlichkeit wird dadurch erreicht, dass ausschließlich Ingenieurdaten eingegeben werden. Die gesamte Vernetzung und die Kontaktanalyse zwischen den Wälzkörpern und Ringen werden automatisch ausgeführt. Die Anwendung dieses Prozesses erfordert keine Fachkenntnisse in der FEA. Bei den Berechnungen mit Adams werden Effekte wie Abstände und Ausrichtungsfehler in den Wälzlagern berücksichtigt. Diese Effekte werden beispielsweise für die moderne Konstruktion von Zahnradgetrieben benötigt.

Mit Bearing AT können Wälzlager sehr detailliert berechnet werden, da die komplexe und nichtlineare Kontaktmechanik im Wälzlager berücksichtigt wird. Nur wenige Eingabedaten genügen zur Beschreibung der Geometrie des Wälzlagers und der Mikrogeometrie der Wälzkörper. Die Vernetzung und die Bestimmung der Kontaktsteifigkeiten zwischen Wälzkörper und Ring geschehen auf Knopfdruck. Die ermit-



Die Benutzeroberfläche von Bearing AT verfügt unter anderem über eine Eingabemaske für Lagerspezifikationen.

telten Kontaktsteifigkeiten werden unter Berücksichtigung des Lagerspiels zur Bestimmung der aktuellen Wälzkörperlasten und -bewegungen verwendet.

Durch die hohe Genauigkeit der Lagermodellierung erzielen Ingenieure genauere Voraussagen zu Systemdynamik und Bauteilbelastung. Dieser Mehrwert wird ohne Zunahme von Rechenzeit erreicht. Der Modellierungsaufwand unterscheidet sich dabei kaum zu anderen bisher genutzten Methoden in diesem Bereich.

**Ausblick**

Berechnungen mit flexiblen Körpern sind heute Standard. Bei nur leicht erhöhten Modellierungskosten nimmt die Prognosegenauigkeit zu – ohne deutlichen Anstieg der CPU-Zeit. Komplexe Simulationsprobleme können durch die innovative Kombination von FEA und MKS gelöst werden. Der Schwerpunkt der künftigen Softwareentwicklung wird daher nicht allein auf dem Finden neuer und besserer Algorithmen liegen. Vielmehr müssen Arbeitsumgebungen und Oberflächen geschaffen werden, die eine problemlose und effektive Nutzung aller Simulationsmöglichkeiten erlauben.

**Autor**

Sylvett Tsialos, MSC.Software