

Mit aller Dynamik

Möglichkeiten der Bauteiloptimierung mittels Finite-Elemente-Methode

Das Verhalten von Bauteilen in der Konstruktionsphase zu simulieren und unter Berücksichtigung von Belastungsszenarien zu optimieren ist mit den heute zur Verfügung stehenden Rechenleistungen und der FEM-Software an fast jedem Konstruktionsarbeitsplatz möglich. Welche Möglichkeiten gerade die dynamische Simulation hier bietet und was dabei zu beachten ist, lesen Sie im Folgenden.

Eine Festigkeitsauslegung mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) gehört schon seit langem zur Standardprozedur im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess. Eine qualifizierte Erstellung des Berechnungsmodells mit der richtigen Wahl der Elementgröße und des Elementtypes und eine realistische Abbildung der Lagerung bilden die Grundlagen einer FEM-Simulation. „Meine 20-jährige Erfahrung zeigt, dass durch eine fehlerhafte bzw. nicht zutreffende Lagerung (z. B. Sperrung der Bereiche, die in der Realität eine hohe Flexibilität aufweisen) oft eine Spannungsdiskrepanz von bis zu 100 % entstehen kann.“ – Michael Margolin, Senior-Berechnungsingenieur bei der Invenio Lintner Engineering GmbH. Für die Konstruktion bedeutet dies eine erhebliche Reduzierung der Lebensdauer und für das Unternehmen entstehen möglicherweise hohe finanzielle Belastungen durch Nachforderungen einhergehend mit einem riesigen Imageverlust.

Ein ebenso sehr wichtiger Aspekt bei einer FEM-Berechnung ist die Festlegung der maximalen wirkenden Lasten. Empfehlenswert ist dabei die Bildung eines Lastkollektivs. Eine exakte Berücksichtigung der maximalen wirkenden Kräfte über die geplante Lebensdauer kann, insbesondere bei großen Serien oder schweren Konstruktionen, zu erheblichen Kosteneinsparungen führen. Insbesondere innerhalb

des globalen Wettbewerbs kann ein solcher technologischer Vorsprung von existenzieller Bedeutung sein.

Um die Topologie der Konstruktion in Bezug auf die Festigkeitseigenschaften weiter zu optimieren, ist eine genaue Abschätzung der Art der wirkenden Lasten erforderlich. Die entscheidende Frage hierbei lautet: Kann die Belastung als statisch wirkend angenommen werden?

Dynamische Effekte berücksichtigen

Vor 20 Jahren gab es kaum Möglichkeiten dynamisch wirkende Lasten und das daraus resultierende Schwingen des Systems in komplexen Konstruktionen zu simulieren. Software und Hardware waren damals oft überfordert. Heutzutage sind solche Aufgaben mit den modernen Mitteln der FEM vergleichsweise einfach zu lösen. Dabei können auch nichtlineare Materialeigenschaften und Kontaktsituationen berücksichtigt werden. Die FEM-Modellbildung unterscheidet sich kaum von der statischen Analyse.

Wann wird es aber erforderlich, dynamische Effekte zu berücksichtigen? „Wenn die aus der Last resultierenden Spannungen über die Zeit unveränderlich bleiben, kann von einer statischen Last gesprochen werden. Die kinetische Energie des betrachteten

Systems ist hier entweder Null oder sehr gering.“ – Viktor Schmidt, Geschäftsführer der Invenio Lintner Engineering GmbH.

Ein klassisches Beispiel für eine statische Last ist die Erdbeschleunigung (Eigengewichtbelastung). Die FEM-Berechnung verläuft in diesem Fall linear und man erhält stets einen intransienten Spannungsverlauf, der anschließend für die Bewertung der Festigkeit herangezogen werden kann. Die Algorithmen für diese statisch linearen Betrachtungen sind über 40 Jahre alt, verhältnismäßig einfach durchführbar und in fast allen führenden CAD-Systemen als „Add-On“ berücksichtigt.

Aber was ist, wenn die Belastung doch zeitabhängig ist? Dies gilt für die meisten Konstruktionen. Ob ein Innendruck steigt oder fällt, wenn sich Kräfte in ihrer Richtung und Größe ändern, ob Windlasten oder globale Beschleunigungen die Struktur belasten. Stets gilt zu hinterfragen: Kann hier noch statisch gerechnet werden? Die Antwort hängt vom Schwingungsverhalten der Struktur und der äußeren Anregung ab. Ist die kinetische Energie mit der internen Verformungsenergie vergleichbar, sollte diese mittels dynamischer FEM-Berechnung berücksichtigt werden.

Stimmen die Eigenfrequenzen der Konstruktion und die Erregerfrequenz der Belastung überein, kommt es zu einem Resonanzeffekt, welcher grundsätzlich zu ver-

meiden ist. Dabei können die Spannungen um das Mehrfache steigen und die Festigkeit gravierend abnehmen. Wird bei der Strukturauslegung eine Resonanzgefahr festgestellt, kann das Problem hauptsächlich über die Änderung der Steifigkeit gelöst werden.

Eigenfrequenz \approx Quadratwurzel (Steifigkeit/Masse): Eine Verdopplung der Steifigkeit bedeutet eine Erhöhung der Eigenfrequenz um das 1,4-fache. Dabei muss auf die Änderung der Masse geachtet werden. Steigt die Masse um den gleichen Faktor wie die Steifigkeit, wird keine Frequenzänderung stattfinden.

Mit einer FEM-Simulation ist es problemlos möglich, eine quantitative Bewertung der Spannungen aus einer dynamischen Anregung zu ermitteln. Sehr verbreitet sind in einem solchen Berechnungsfall spektrale Analysen (z. B.: PSD-Analysen). Dabei wird die Erregerfrequenz über einen ausgewählten Frequenzbereich untersucht und eine Antwortfunktion (Abhängigkeit zwischen der Erregerfrequenz und der resultierenden Spannung) gebildet. In Bereichen mit Resonanzeffekten zeigt die Kurve dann einen mehr oder weniger ausgeprägten Ausschlag nach oben.

Simulation als Kernkompetenz

Die Invenio Lintner Engineering GmbH bietet seit mehr als 25 Jahren Ingenieurdienstleistungen im Bereich der technischen Simulationen an. Zu den Kernkompetenzen gehören Festigkeitsberechnungen, Strömungssimulationen sowie hochdynamische Crashberechnungen. Schnelle und qualifizierte Kundenlösungen werden mittels FEM- und CFD-Simulationen erarbeitet, um das Strukturverhalten von Komponenten oder ganzen Systemen hinsichtlich deren Festigkeit, Thermik oder Strömung besser vorhersagen, bewerten und optimieren zu können. Einhergehend mit den Berechnungen und Simulationen können Optimierungsmaßnahmen erarbeitet und umgesetzt werden, um Strukturverbesserungen hinsichtlich technischer und ökonomischer Gesichtspunkte zu erzielen.



Bild 2: Darstellung des Lasteinleitungspunktes „A“

Bild 3: Statische Betrachtung – Darstellung der resultierenden Spannungen

Bild 4: Dynamische Betrachtung – Darstellung der resultierenden Spannungen

Ein Beispiel: Prüfstandskonsole

Um die Wichtigkeit der beschriebenen Aspekte zu verdeutlichen, wird anhand eines Invenio-Projektes der Spannungs-zustand in einer Konsole betrachtet. Bei der dargestellten Struktur handelt es sich um eine Prüfstandskonsole im Antriebsbau. Die Belastung besteht hier aus einem Antrieb, der eine exzentrische, nicht ausbalancierte Massen (Unwucht) beinhaltet. Das

Motek



www.motek-messe.de

32. Motek

Internationale Fachmesse für Produktion- und Fertigungstechnik

- Werkzeugmaschinen
- Handhabungsgeräte
- Robotersysteme
- Zylinder- und Flügelmotoren
- Antriebe – Steuer- / Peripherie



7.-10.10.2013
Stuttgart



Belastungsszenario auf der Konsole ist als Punkt „A“ in Bild 2 dargestellt.

Zur Verdeutlichung wird die FEM-Berechnung im ersten Schritt zunächst nur statisch, ohne Berücksichtigung von dynamischen Effekten, durchgeführt. Das resultierende Spannungsbild zeigt Bild 3. Die max. Spannung beträgt dabei ca. 147 MPa und resultiert aus dem Eigengewicht der Konstruktion.

Im zweiten Schritt wird eine dynamische FEM-Analyse durchgeführt. Dabei wird ein Anregungsspektrum im Bereich von 0 bis 20 Hz untersucht. Für jede Frequenz innerhalb des Spektrums wird eine Spannungsverteilung berechnet. Der dynamische Charakter der Belastung wird berücksichtigt und die dynamischen Effekte vollständig erfasst.

Die FEM-Analyse (Bild 4) liefert die in Bild 5 gezeigte Spannungsfunktion. Daraus lässt sich erkennen, dass bei einer Anregung mit ca. 10 Hz eine dynamische Spannungserhöhung auftritt. Die Spannung steigt dabei auf 192 MPa an. Dies entspricht einer Steigerung von 30 %. Dabei gilt zu

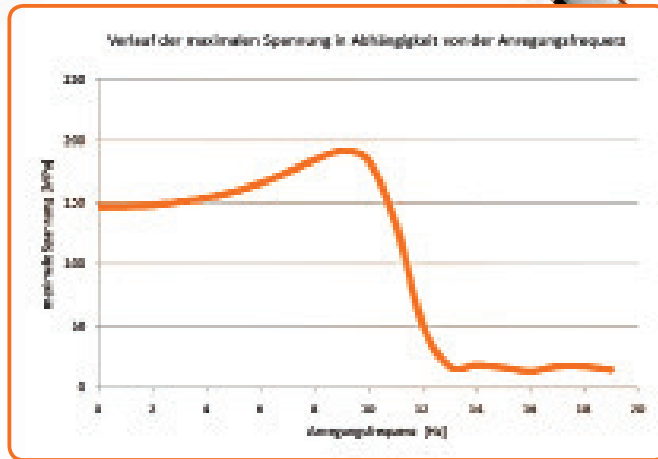


Bild 5: Darstellung der resultierenden Spannungen

Tiefer Einblick in strukturelle Vorgänge

„Moderne Werkzeuge der FEM-Festigkeits-simulation erlauben heute einen deutlich tieferen Einblick in die strukturellen Vorgänge als noch vor einigen Jahren. Eine Bewertung der eventuell vorhandenen Resonanzeffekte mittels dynamischer Analysen gehört in jede quali-

Gewichtsreduzierungen sich die Eigenfrequenzen gern in die unteren Frequenzbereiche verschieben und so zu unangenehmen Überraschungen bei der Inbetriebnahme führen können.

Viktor Schmidt, Geschäftsführer der Invenio Lintner Engineering GmbH bringt es auf den Punkt: „Die Berücksichtigung dynamischer Effekte zur Spannungsbewertung ermöglichen einen weitaus genaueren Einblick in das strukturelle Verhalten und erlauben ein rechtzeitiges Reagieren bereits im Konstruktionsprozess, noch bevor ein Versagen im späteren Lebensdauerzyklus mit seinem unangenehmen Folgen (Kosten, Imageverlust) auftritt. Und dies mit einem nur verhältnismäßig geringen Mehraufwand gegen über einer klassischen statischen FEM-Analyse.“

Eine Bewertung von Resonanzeffekten mittels dynamischen Analysen gehört in jede qualifizierte Festigkeitsauslegung

beachten, dass je nach Zusammenwirken von dynamischen Effekten die dynamischen Spannungen sich gegenüber denen aus der statischen Berechnung sogar mehr als verdoppeln können.

fizierte Festigkeitsauslegung“, so Markus Seidler - Berechnungsingenieur bei Invenio Lintner Engineering. Insbesondere in Zeiten des Leichtbaus ist eine solche Betrachtung unumgänglich, weil gerade bei

Invenio Lintner

www.vfmz.net/5949290

www.vfmz.net/3010760

DISCOVER YOUR VISIONS

HYBRIDExpo
Materials, Technology & Components

17.-19. Sept. 2013
Messe Stuttgart

www.hybridexpo.com