

EINFLUSS VON DYNAMISCHER UND STATISCHER BERECHNUNG AUF DIE SPANNUNG

FEM – mehr als ein Klick

Trotz hochentwickelter Simulationswerkzeuge bleibt die Finite-Elemente-Methode eine Disziplin für Experten, die sich mit den Feinheiten auskennen und beispielsweise wissen, wann eine statische Berechnung ausreicht und wann dynamisch zu rechnen ist. **VON VIKTOR SCHMIDT**

Die Festigkeitsauslegung von Konstruktionen mittels Finite-Elemente-Methode gehört heutzutage zu den Standardabläufen in jedem Entwicklungsprozess. Für die Ermittlung der Verformungen, der Spannungen und der damit verbundenen Dauer- oder Zeitfestigkeitsbewertung stehen sowohl in CAD-Systemen integrierte FEM-Module, als auch professionelle Stand-alone-Produkte zur Verfügung, die dem Entwickler einen genauen Einblick in die Strukturmechanik ermöglichen.

Beide Werkzeuge erleichtern die Optimierung der Bauteilgeometrie hinsichtlich der Masseneinsparung und der Spannungsharmonisierung enorm – wenn sie richtig interpretiert werden. Der Komfort der Hilfsmittel verleitet leicht zur Annahme, Simulation sei heute nur noch eine Frage von weniger Klicks – et voilà – ein buntes Bild der Spannungen ist generiert und fertig die Festigkeitsberechnung.

So einfach ist der Weg nicht – der Ingenieur muss die Aufgabenstellung zunächst mathematisch korrekt beschreiben und in eine Simulation übertragen. Die Umsetzung hängt dabei entscheidend von der richtigen Wahl der Elementierung (Größe, Typ), Detaillierungsstufe, Materialmodell und Analyseart ab. Entsprechend ist auch die Aussagekraft einer Analyse geprägt von den getroffenen Annahmen, den Randbedingungen, der Lasteinleitung, der Qualität des Berechnungsmodells

– und von der Qualifikation des Berechnungsingenieurs selbst. All diese Aspekte haben einen enormen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse und sind nicht zu unterschätzen; das gilt nicht zuletzt für den Einfluss dynamischer Effekte.

Dynamik und Resonanz

Bei Festigkeitsauslegungen muss zwischen statischen und dynamischen Lasten unterschieden werden. Streng genommen haben nahezu alle mechanischen Belastungen einen dynamischen Anteil. Noch vor 20 Jahren stieß die Berücksichtigung dieser dynamischen Effekte schnell an die Grenzen der Soft- und Hardware. Inzwischen sind derartige Probleme vom Tisch.

Man kann daher Schwingungseffekte und die eventuell vorhandene Zeitabhängigkeit der Last genau erfassen. Dies ist in einer Festigkeitsberechnung unbedingt zu berücksichtigen.

Die Lösung solcher Probleme lässt sich auch in einem Wort zusammenfassen: Resonanz. Sehr oft wird hier nur ein Zustand gemeint, bei dem die Eigenfrequenz der Struktur mit der Erregerfrequenz des Lastgebers übereinstimmt. Auch wenn die beiden Frequenzen nicht direkt übereinander liegen, können infolge einer Überlagerung negative dynamische Effekte auftreten. Es geht hier generell um die durch das Schwingungsverhalten bedingte Erhöhung der Spannungen. Die Berücksichtigung der vorhandenen Schwingungssituation ist dabei von hoher Bedeutung.

Eine dynamische Berechnung setzt deswegen bei der Bestimmung der Eigenformen an. Mithilfe von Schwingungsanalysen wird die Lage der Eigenfrequenzen inklusive der dazugehörigen Eigenformen ermittelt. Über die Gewichtung der Partizipationsfaktoren kann dann die bei der Schwingung „aktive“ Masse bewertet werden.

Das wiederum schafft die Entscheidungsgrundlage, ob dynamische Analysen notwendig sind oder nicht. Wichtig ist, dass die Eigenfrequenzen des zu untersuchenden Bauteils oder der Konstruktion sowie das Schwingverhalten des Einbaurums betrachtet werden. Das Nichtberücksichtigen der Lagersituation/Befestigung kann schnell zur Verzerrung der Ergebnisse führen.

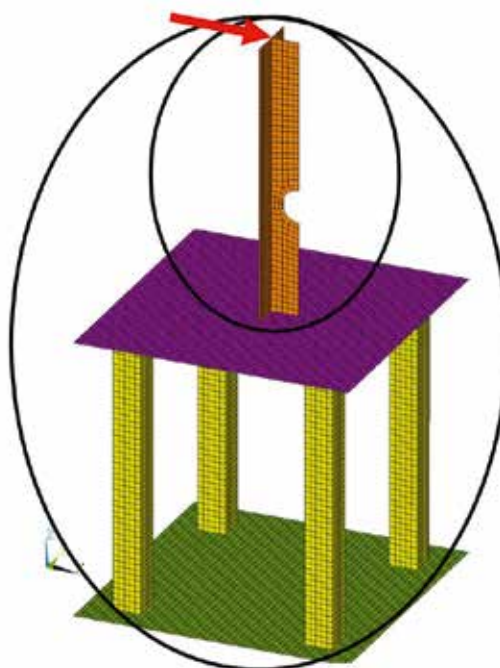


Bild 1: Berechnungen 1 und 2 betreffen den Träger (kleiner Bereich). Berechnung 3 bezieht die Unterkonstruktion ein.

Auslegungsbeispiel

Ziel ist, die Spannung in einem vertikalen Träger zu ermitteln, der mit einer horizontalen Kraft von 1 Kilonewton mit 70 Hertz belastet wird. Der Träger ist auf einer Unterkonstruktion platziert.

Im ersten Schritt wird eine statische Berechnung durchgeführt, die die Unterkonstruktion vernachlässigt (Bild 1). Der Träger wird am unteren Ende „fest eingespannt“. Die zweite Berechnung berücksichtigt den dynamischen Charakter der Last durch unter anderem die Berücksichtigung des Schwingungsverhaltens.

Erst in der dritten Phase wird die FEM-Berechnung um die Steifigkeit der Unterkonstruktion ergänzt. Dazu wird das FEM-Modell entsprechend erweitert.

Die Ergebnisse zeigen (Bild 2), wie sehr sich die maximalen Spannungen unterscheiden: Zwischen der ersten und der dritten Berechnung liegt eine Abweichung von 68 Prozent. Diese große Diskrepanz ist bedingt durch die Nähe der Erregerfrequenz zur Biege-Eigenfrequenz der Struktur.

In der dritten Berechnung bewirkt die Steifigkeit der Unterkonstruktion eine Verschiebung der Eigenfrequenz des Gesamtsystems in Richtung der Belastung. Dies führt zur Spannungssteigerung. In der Praxis bedeutet dies ein frühzeitiges Versagen der Konstruktion und damit verbundene erhebliche finanziellen Risiken.

Überdimensionierung vermeiden

Die Betrachtung der dynamischen Effekte führt nicht zwangsläufig zu einer Spannungssteigerung. In der Fahrzeugtechnik beispielsweise werden häufig Extremlasten mit hohen Beschleunigungen berechnet. In Extremfällen muss die Struktur einer Belastung des mehr als Zehnfachen der Erdbeschleunigung standhalten.

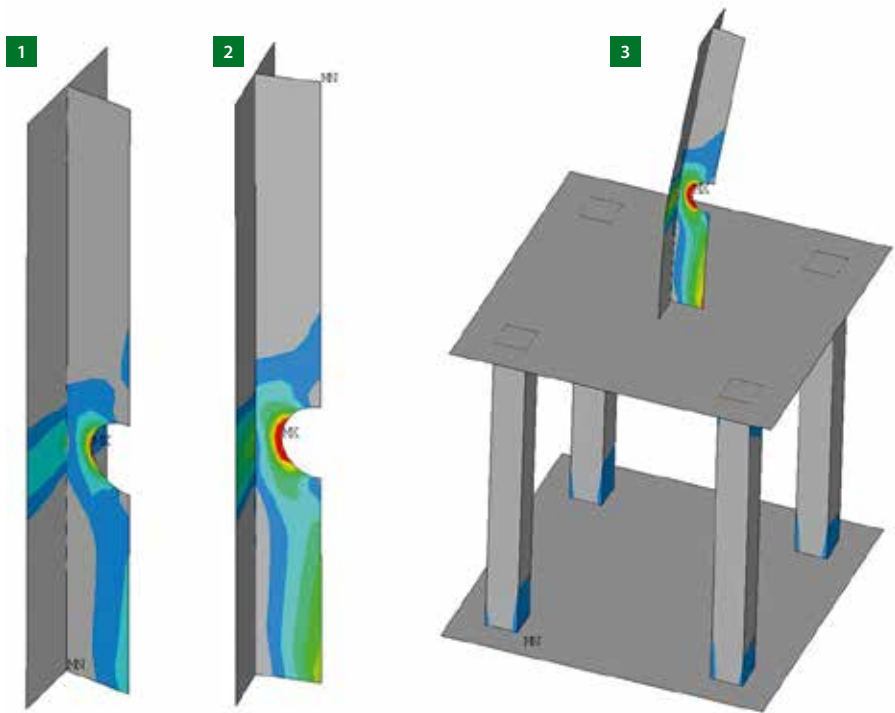


Bild 2: Während die statische Berechnung (1) eine Spannung von nur 503 Megapascal ergibt, ist die Belastung laut den dynamischen Berechnungen mit 782 Megapascal (2) und 843 Megapascal (3) deutlich höher.

Statische Analysen ergeben hier häufig, dass die Struktur deutlich verstärkt werden müsste. Der Knackpunkt ist, dass diese Extremlasten in der Regel lediglich sehr kurzzeitig auftreten – eine Erkenntnis, die erst die dynamische Analyse ermöglicht. In der Folge lässt sich Masse und damit Kosten in der Produktion und im Lebenszyklus des Produktes sparen.

Auch in diesem Fall können also statische Analysen in die Irre führen: Die statische Last induziert eine Spannung von 503 Megapascal (Bild 2, Berechnung 1). Wird die Struktur kurzfristig aber nur über 3 Millisekunden belastet, entsteht eine Spannung von maximal 330 Megapascal (Bild 3). Eine statische Betrachtung führt in diesem Fall zu einer Überdimensionierung um 52 Pro-

zent. Das kurze Zeitintervall von 3 Millisekunden zeigt die Unterschiede umso deutlicher.

Die Höhe der Spannungsreduzierung hängt neben der Lasteinleitungszeit noch von der Masse der Struktur ab. Je höher die Trägheit der Struktur ist, desto mehr Zeit ist erforderlich, um die Belastungsenergie in die interne Verformungsenergie zu verwandeln.

Fazit

Mit einem Klick allein ist die FEM-Analyse trotz aller praktischen Hilfswerkzeuge noch lange nicht getan. Erfolgreiche Produkte erfordern nach wie vor ein hohes Maß an Qualifikation und Sachverstand des Entwicklers. Fehlen diese Eigenschaften, sind Unter- oder Überdimensionierung meist vorprogrammiert.

Berechnungsmethoden müssen fortwährend ergänzt und angepasst werden. Die Argumentation: „Es hat immer so funktioniert, wir brauchen nichts zu verändern!“ führt über kurz oder lang in die Zweitklassigkeit. Fehlt die Berechnungskompetenz vor Ort, so sollte auf externe Kapazitäten zugegriffen werden. Nur dieser Weg führt zu langfristigem Erfolg in einer modernen und innovativen Produktentwicklung. **JBI |**

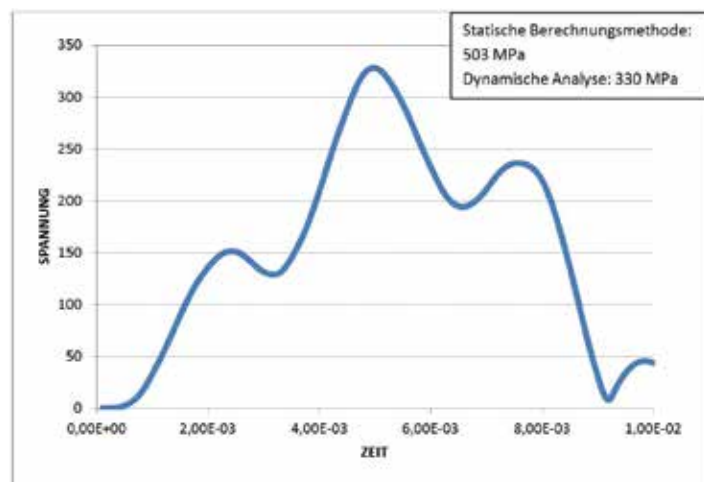


Bild 3: Verlauf der maximalen Spannung bei einer dynamischen Analyse. Bilder: Invenio

Dipl.-Ing. Viktor Schmidt ist Geschäftsführer von invenio Technical Simulations in Willich.