

Toleranzmanagement und Robust Design

„So eng wie nötig, so breit wie möglich“

Auch wenn in Serie gefertigte Produkte faktisch gleich sind, treten bei einzelnen Produkten immer wieder qualitätsmindernde Abweichungen auf. Je später im Produktentwicklungsprozess damit verbundene Auswirkungen auf Funktion und Ästhetik identifiziert und berücksichtigt werden, desto zeit- und kostenintensiver sind die notwendigen Änderungen am Produkt und den Entstehungsprozessen. Folglich sind die frühzeitige, virtuelle Absicherung der Produkte und Prozesse sowie die Vergabe kostenoptimaler Toleranzen von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung qualitativ hochwertiger und erfolgreicher Produkte.

Bereits seit 1996 richtet sich der Blick des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik KTmfk der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) auf Forschungsaktivitäten im Bereich des Toleranzmanagements und des Robust Designs, das heißt der Robustheit von Produkten gegenüber zufälligen Streuungen. Dabei stehen Aspekte der Toleranzspezifikation, der Toleranzsynthese und der Toleranzanalyse im Vordergrund und überspannen den gesamten Produktlebenszyklus (Bild 1).

Aktuelle Herausforderungen

Die stetig wachsenden Anforderungen an die Qualität technischer Produkte (Stichwort: Six Sigma), die durch immer kürzere Produktentwicklungszyklen sowie durch zunehmende Komplexität von Produkten und Prozessen geprägt sind, stellen insbesondere das Toleranzmanagement und das Robust Design vor enorme Herausforderungen. Hierbei zeichnen sich im Wesentlichen zwei Trends ab: Zum einen sollen wichtige Entscheidungen bezüglich der Bauteilgeometrie und der Designparameter möglichst früh im Produktentwicklungsprozess getroffen werden. Zum anderen sind durch die Vergabe kostenoptimaler Toleranzen die ästhetische und die funktionelle Qualität des Produktes auch unter (vielfältig) schwankenden Umgebungsbedingungen sicherzustellen.

Einsatz von Simulationslösungen

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen lassen sich im Wesentlichen drei Aktivitäten des virtuellen Toleranzmanagements ableiten, nämlich die Toleranzspezifikation, die Toleranzsynthese und die Toleranzanalyse. So müssen im Rahmen der Toleranzspezifikation zunächst alle geometrischen Abweichungen, die Auswirkungen auf die relevante Produktfunktion haben können, identifiziert und entsprechende Toleranzarten zugeordnet werden. Anschließend können durch die Toleranzsynthese für diese Abweichungen zulässige Toleranzen bestimmt werden, deren Einflüsse auf das funktionsrelevante Maß im Rahmen der Toleranzanalyse zu beurteilen sind.

Die klassische Toleranzrechnung basiert zu diesem Zweck auf der statistischen Auswertung eines mathematischen Zusammenhangs zwischen dem funktionsrelevanten Maß (dem sogenannten Schließmaß) und den auftretenden Abweichungen der Einzelteile des betrachteten Systems. Diese Schließmaßgleichungen können beispielsweise über Vektorketten, welche die Montagefolge der Einzelbauteile des Systems abbilden, ermittelt werden. Treten geometrische Abweichungen der

Bauteile auf, so können diese in Form zusätzlicher Vektoren in die bestehende Vektorkette integriert werden. Diese vektorkettenbasierte Toleranzanalyse wird beispielsweise zur Toleranzanalyse bewegter technischer Systeme herangezogen. Hierbei konzentrieren sich die Forschungsarbeiten des Lehrstuhls auf die Zeitabhängigkeit von Systemen und ermöglichen die vollständige Toleranzbetrachtung von bewegten Systemen während des Betriebs.

Zur statistischen Auswertung und Visualisierung der gewonnenen Ergebnisse wird auf die von der Dynardo GmbH entwickelte Software-Lösung optiSLang zurückgegriffen. Diese ermöglicht unter anderem die einfache und effektive Identifikation der stärksten Einflussgrößen (Beitragsleister) bzw. Abweichungen mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen.

Kopplung verschiedener Simulationswerkzeuge

Darüber hinaus erlaubt die vektorielle Toleranzrechnung, insbesondere bei komplexeren Systemen, die Integration von Simulationsergebnissen. Somit können betriebsbedingte Abweichungen, beispielsweise die elastische Deformation eines Bauteils, in der Toleranzanalyse berücksichtigt werden (Bild 2). Aufgrund der Bewegungsabhängigkeit der betriebsbedingten Abweichungen ist meist die Kopplung verschiedener Simulationswerkzeuge notwendig (z. B. Mehrkörpersimulation und FEM), was mit ANSYS Workbench einfach realisierbar ist. Ein zusätzlicher Datenaustausch mit optiSLang erleichtert die statistische Auswertung der auftretenden Abweichungen.

Um die Effizienz weiter zu erhöhen, wurde von CADFEM eine in ANSYS Workbench integrierte optiSLang Version (optiSLang inside ANSYS Workbench) forciert und von Dynardo umgesetzt. Damit werden die Vorteile von ANSYS Workbench – multidisziplinäre, vollständig parametrische, automatisierte CAE-Berechnungsprozesse – direkt mit den Stärken von optiSLang – hoch effiziente, automatische Workflows der Robust Design Optimierung – gekoppelt, um möglichst frühzeitig die Leistung und Qualität des zukünftigen Produktes unter besonderer Beachtung von Streuungen und Toleranzen abzusichern.

Neben der Berücksichtigung der durch Simulationen bestimmten Bauteilabweichungen in der vektoriellen Toleranzrechnung können die generierten abweichungsbehafteten Bauteiloberflächen auch im Rahmen des geometriebasierten Toleranzmanagements verwendet werden. Hierbei werden die Einflüsse dreidimensionaler Geometrieabweichungen, die entlang des Produktentstehungsprozesses auftreten, hinsichtlich der Funktion und Produktqualität untersucht. In diesem Zusammenhang kommen wiederum verschiedene CAX-Werkzeuge zum Einsatz, beispielsweise Montagesimulationen oder stochastische Nachgiebigkeitsberechnungen. Ziel dieses Vorgehens ist es, neben Maßabweichungen auch komplexere Form- und Lageabweichungen zu berücksichtigen und deren Einfluss auf die Funktionserfüllung zu analysieren.

Der Produktentwickler erhält somit ein vollständiges Bild der zu erwartenden Abweichungen entlang des Produktentstehungsprozesses und deren Einflüsse auf das Produktverhalten im Betrieb. Die gewonnenen Erkenntnisse können schließlich genutzt werden, um sowohl die Aktivitäten im Toleranzmanagement zu optimieren als auch Handlungsempfehlungen an vor- oder nachgelagerte Stufen im Produktentstehungsprozess abzuleiten. Die Sensibilisierung des Ingenieursnachwuchses für die Relevanz der Betrachtung von Streuungen und Abweichungen während der Produktentwicklung sowie die Möglichkeiten, diesen mittels geeigneter Methoden und Simulationswerkzeuge zu begegnen sind in den Lehrtätigkeiten des Lehrstuhls fest verankert.

Resümee

Das virtuelle Toleranzmanagement trägt wesentlich zur Erfüllung der Qualitätsziele moderner Technologieunternehmen bei. In diesem Zusammenhang spielen neben der Sicherstellung der Produktfunktion und -ästhetik sowie der Befriedigung der Kundenansprüche sowohl die Reduzierung des Entwicklungsaufwandes als auch der Herstellungskosten in der Produktentwicklung eine wichtige Rolle. Ziel der Toleranzforschung ist es daher, durch den Einsatz moderner Simulationswerkzeuge den Produktentwickler zu befähigen, die komplexen Zusammenhänge zwischen Fertigungsabweichungen, Montageprozessen sowie dem Produktverhalten im Betrieb zu verstehen und durch die Toleranzvergabe gezielt zu beeinflussen.

InfoAutoren:

Prof. Sandro Wartzack, Michael Walter, Benjamin Schleich

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Martensstraße 9, 91058 Erlangen

InfoVerwendete Software

ANSYS Workbench, optiSlang

InfoAnsprechpartner CADFEM

Marc Vidal

InfoWebinare

Nichts dem Zufall überlassen

InfoVeranstaltungshinweis

9. Optimierungs- und Stochastik Tage 2012

DFX-Symposium 2012 in Bamberg (www.dfx-symposium.de)

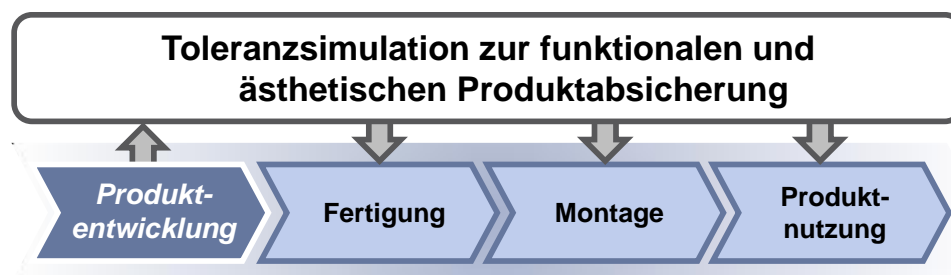


Bild 1: Lebenszyklusübergreifende Produktabsicherung

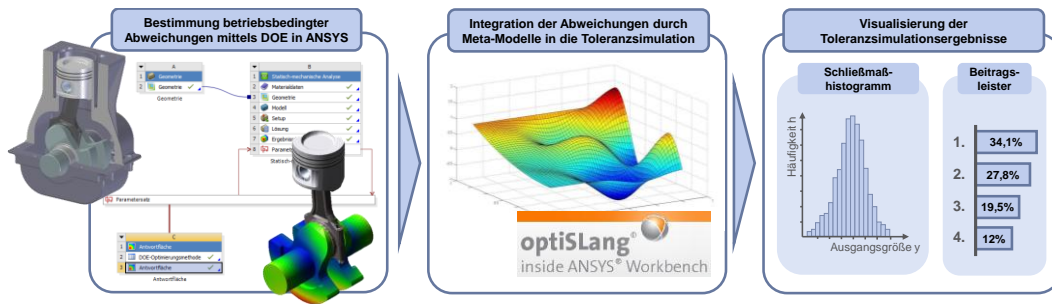


Bild 2: Integration betriebsbedingter Abweichungen in die vektorielle Toleranzsimulation