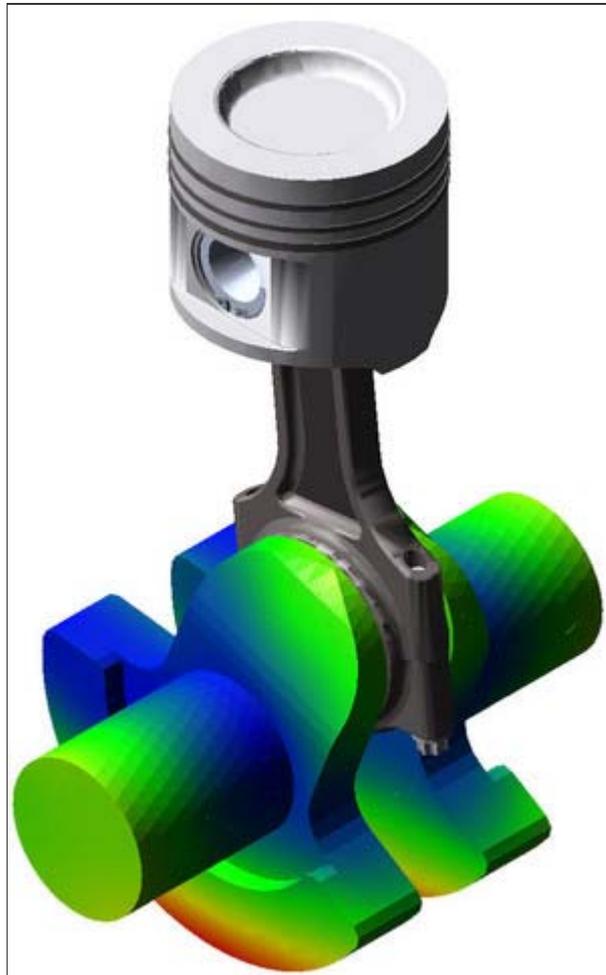


## Toleranzmanagement und Robust Design

# So eng wie nötig, so breit wie möglich

14.03.13 | Autor / Redakteur: Prof. Sandro Wartzack, Michael Walter, Benjamin Schleich / Karl-Ullrich Höltkemeier



Das virtuelle Toleranzmanagement trägt wesentlich zur Erfüllung der Qualitätsziele moderner Technologieunternehmen bei. (Bild: Uni Erlangen-Nürnberg)

**Frühzeitige, virtuelle Absicherung der Prozesse sowie die Vergabe kostenoptimaler Toleranzen sind von Bedeutung für die Entwicklung hochwertiger Produkte.**

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).

### **Stetig wachsenden Anforderungen an die Qualität technischer Produkte**

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.

## BILDERGALERIE



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.

### **Bewältigung der Herausforderungen durch 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 Produktenstehungsprozesses 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 Produktenstehungsprozess abzuleiten.

### **Resümee: Das virtuelle Toleranz- management hilft**

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.

### **Seminar: Optimierung und Reverse Engineering**

Wie viel Verbesserungspotential steckt noch in Ihren Designs? Erlernen Sie, wie Sie mit einer bequemen Oberfläche Ihre Optimierungsziele und -bedingungen definieren können.

Dieses zweitägige Seminar zeigt Ihnen Tipps zum Parametrisieren, zum Aufsetzen und Auswerten von Optimierungsprozessen für mechanische, elektromagnetische, strömungsmechanische und gekoppelte Analysen sowie zur Bewertung von Einflüssen durch in der Realität auftretende Streuungen.

Sie lernen ebenfalls, wie Sie durch Reverse Engineering unsichere Simulations-Parameter den Versuchsergebnissen entsprechend anpassen können. Der nächste Termin: 07.05.2013. (hö)

### **Cadferm stellt auf der Hannover Messe aus: Halle 7, D40**

\* Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack, Dipl.-Ing. Michael Walter und Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Schleich; Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Martensstraße 9, 91058 Erlangen

Copyright © 2013 - Vogel Business Media