

Mathematische Optimierung mechanischer Sensorelemente (SFB 805)

Mathematische Optimierung mechanischer Sensorelemente

Mechanische Strukturen wie Flugzeuge, Kräne oder Autos sind dafür ausgelegt, die während der gesamten Lebensdauer auftretenden Belastungen sicher zu tragen. Jedoch kann es aufgrund von falschen Annahmen während des Entwicklungsprozesses, Unsicherheit in der späteren Fertigung oder abweichenden Nutzungsszenarien zu einem späten Zeitpunkt der Nutzung zu Ausfällen mit fatalen Folgen kommen.

Ein im SFB 805 untersuchter Ansatz besteht darin, metallische Strukturen mit integrierter Sensorik auszustatten und so die tatsächlichen, während der Nutzungsphase auftretenden Kräfte zu erfassen. Hierdurch können Zustände eines Systems sowie die Belastungshistorie eines individuellen Bauteils sichtbar gemacht werden (Abb. 1).

Bei der Auslegung des integrierten Axialkraftsensors ist zu beachten, dass dieser eine hohe Empfindlichkeit

gegenüber der Messrichtung und eine geringe Messempfindlichkeit gegenüber allen weiteren Belastungsarten, wie z.B. Biegung aufweist (geringes Übersprechen des Sensors). Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass in den später produzierten Bauteilen u.a. Unsicherheit in Form von Toleranzabweichungen vorliegen wird.

Ziel der Optimierungsaufgabe ist daher, eine optimale Zielgeometrie für einen herstellbaren (und damit unsicherheitsbehafteten) Sensorkörper zu finden, der von einer perfekten Zielgeometrie unter idealen Bedingungen deutlich abweichen kann. Unsichere Parameter, die während der Produktions- und Nutzungsphase auftreten, werden antizipiert und als Input für eine mathematische Optimierungsaufgabe verwendet. Dazu werden durch die partiellen Differentialgleichungen der linearen Elastizität adäquat die Wirkungen der antizipierten Kräfte auf die Struktur beschrieben – und dadurch deren Sensitivität bezüglich der Kräfte. Diese Gleichungen konnten durch Verfahren, die auf der Finite-Elemente-Methode basieren, numerisch effizient gelöst werden.

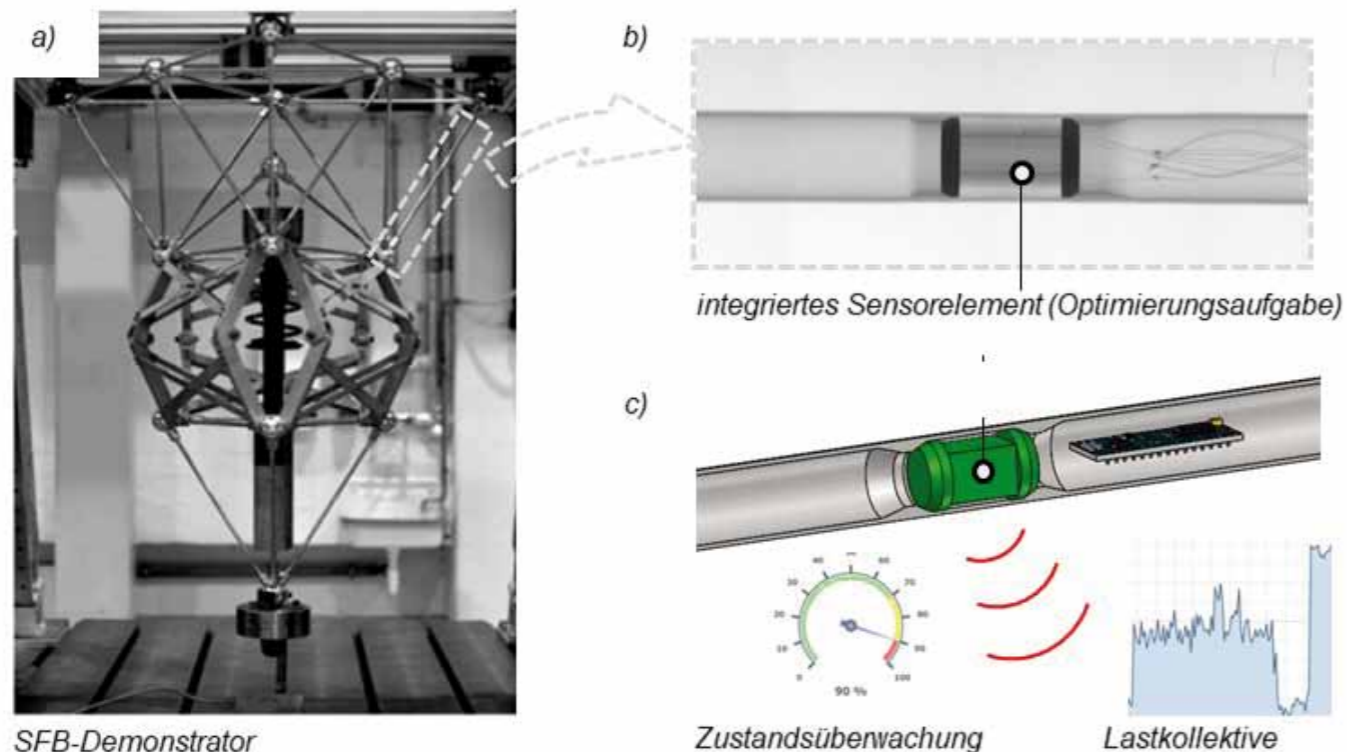


Abb. 1: Aufzeichnung von Lastkollektiven am SFB-Demonstrator mittels integrierter Sensorelemente.

Darüber hinaus wurde eine Methode der robusten Optimierung angewendet. Diese kann die Zulässigkeit der errechneten Optimallösungen garantieren, indem sie durch aufwendige, da mehrstufige Optimierungsprobleme gegen den Worst-Case absichert. Da das resultierende, robust formulierte Problem nicht-differenzierbare Funktionen enthält, wurden spezialisierte, nichtglatte Optimierungsmethoden angewendet. Das Resultat der robusten Optimierung ist in Abb. 2 dargestellt.

Der Sonderforschungsbereich 805

Unsicherheit hat gewaltige gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen – dies zeigt sich u.a. in der erschreckend hohen Zahl an Rückrufaktionen in den vergangenen Jahren. Der Sonderforschungsbereich 805 „Beherrschung von Unsicherheit in lasttragenden Systemen des Maschinenbaus“ befindet sich von 2017 bis 2020 in der dritten und damit letzten Förderperiode. 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Teilgebieten Maschinenbau, Mathematik und Rechtswissenschaft arbeiten eng zusammen, um Unsicherheit in lasttragenden Systemen zu beherrschen. Ursachen sind dabei nicht nur in der Produktentwicklung, sondern während des gesamten Produktlebenslaufs zu finden: Fehlende Informationen über spätere Nutzungsprozesse, Störgrößen wie Temperaturschwankungen in Produktionsprozessen und daraus resultierende Abweichungen in den Produkteigenschaften, Unwissen über Systemwechselwirkungen im Betrieb. Deshalb erforscht der SFB 805 Methoden und Technologien, um Unsicherheit produktlebenslaufübergreifend in der Produktentwicklung, der Produktion und der Nutzung zu beherrschen.

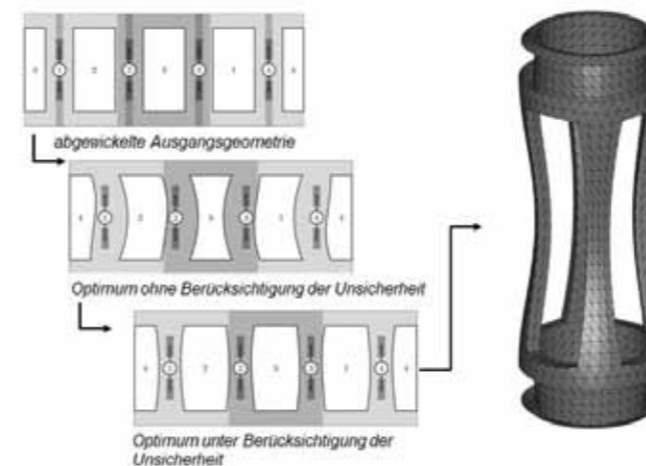


Abb. 2: Resultierende Geometrie der robusten Optimierung.

Projektteam:

- Prof. Dr.-Ing Eberhard Abele (FB 16, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen)
- Dr.-Ing. Lena Altherr (FB 16, Institut für Fluidsystemtechnik)
- Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (FB 16, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion)
- Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche (FB 16, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen)
- Dr.-Ing. Hermann Klobardanz (FB 16, Fachgebiet für Produktentwicklung und Maschinenelemente)
- Prof. Dr. Michael Kohler (FB 4, Arbeitsgruppe Stochastik)
- Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz (Institut für Systemzuverlässigkeit, Adaptionik und Maschinenakustik und Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit)
- Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz (FB 16, Institut für Fluidsystemtechnik)
- Prof. Dr. Marc Pfetsch (FB 4, Arbeitsgruppe Optimierung)
- Dr.-Ing. Roland Platz (Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit)
- Prof. Dr. Stefan Ulbrich (FB 4, Arbeitsgruppe Optimierung)
- Prof. Dr. iur. Janine Wendt (FB 1, Fachgebiet Bürgerliches Recht und Unternehmensrecht)

Kontaktinformationen:

Sprecher und wissenschaftliche Koordination:
 Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz
 Otto-Berndt-Straße 2
 64287 Darmstadt
 +49 6151 16-27100
 pelz@sfb805.tu-darmstadt.de