

Die Abbildung zeigt die Zuverlässigkeitsbewertung auf der Antwortfläche.

In Zeiten großer Herausforderungen, wie der Gestaltung des Klimawandels, ist der Ingenieur gefordert, mit Hilfe wissenschaftlich-technischer Innovationen die entscheidenden Grundlagen für technologischen Fortschritt zu liefern. Es stellt sich die Frage, wie es früher zu technologischem Fortschritt kam und wie er heute funktioniert. Autor Johannes Will hat diese Fragestellung aufgegriffen und sich mit Methoden der Optimierung, Robustheits- und Zuverlässigkeitsbewertung in der virtuellen Produktentwicklung beschäftigt.

Auf der Suche nach dem **Optimum**

Schon Leonardo da Vinci wusste, dass es sich bei Innovationen um die Nachahmung von Natur bezüglich technischer Fragestellungen handelt. Daraus folgt ein evolutionärer Entwicklungsprozess des Probierens und Verwerfens (Trial and Error), der den Fahrplan des technologischen Fortschritts skizziert. Inclusive technologischer Revolutionen, wie der Erfindung der Dampfmaschine oder der Rechenmaschine (Neudeutsch: Computer), sowie technologischer Evolutionen wie der Entwicklung des Verbrennungsmotors oder des Segelflugzeugs.

Im Prinzip funktioniert technologischer Fortschritt noch immer wie vor 2000 Jahren – nur heute sehr viel schneller, mit Hilfe mathematischer Grundlagen, atemberaubend wachsender Rechenleistung und immer realitätsnäherer Virtualisierung. Dadurch lässt sich die Entwicklung in die virtuelle Welt verlagern und die Entwicklungszeiten können extrem verkürzt werden. Leonardo da Vinci wäre wahrscheinlich begeistert gewesen von der Anzahl an virtuellen Experimenten und Prototypen, die er über Nacht hätte ausprobieren können. Davon ausgehend, dass die Simulation in der virtuellen Welt realitätsnah genug ist, um die Produkteigenschaft abzuschätzen (CAE-gestützte Berechnung) und man Vari-

anten automatisiert erzeugen und berechnen kann (parametrische Modellierung), hätte Leonardo vermutlich als nächsten Schritt Strategien entwickelt, um den Prozess des Trial and Error in der virtuellen Produktentwicklung selbst zu optimieren.

Weitere Optimierungsstrategien

Das einfachste wäre es, immer neue Varianten zu erzeugen, durchzurechnen und zu bewerten – so lange, bis man mit den Produkteigenschaften zufrieden ist. Hierbei kann man beispielsweise systematisch Varianten (Experimente) durch Kombinatorik oder für alle Extremwerte von Designparametern erzeugen. Derartige Verfahren werden häufig als Design of Experiments (DoE) bezeichnet. Oder man erzeugt die Varianten zufällig, hier greift die Spieltheorie, benannt nach einer berühmten Spiel- und Kasino-Hochburg (Monte-Carlo-Verfahren). Hier würden also Fleiß oder Zufall zum Erfolg führen. Ein Ingenieur will natürlich eher „mitdenken“ oder gar „vorausdenken“ und so den Verbesserungsprozess beeinflussen. Das ist die Motivation für zahlreiche Optimierungsstrategien. Eine davon bildet Gradienten von Designmodifikationen. Dazu berechnet man kleine Ver-

änderungen pro Designvariable und verwendet diese Informationen zur Suche nach dem optimalen Design. Gradientenbasierte Verfahren werden häufig als mathematische Optimierungsverfahren bezeichnet. Erfolg und Misserfolg hängen davon ab, ob aussagekräftige Gradienten ermittelt werden können. Sie stellen deshalb hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Berechnung und an die Struktur der Probleme. Sind diese Randbedingungen erfüllt, gelten mathematische Optimierungsverfahren aufgrund ihrer Geschwindigkeit bei der Suche nach optimalen Designs als unschlagbar.

Eine zweite Strategie schaut der Natur auf die Finger und versucht den Evolutionsprozess nachzuempfinden und auf technologische Fragestellungen anzuwenden. Hieraus entstanden zahlreiche evolutionsbasierte Optimierungsstrategien, wie genetische Algorithmen, die die Evolution durch genetischen Austausch imitieren. Etwa evolutionäre Strategien, die hauptsächlich mit Mutationen

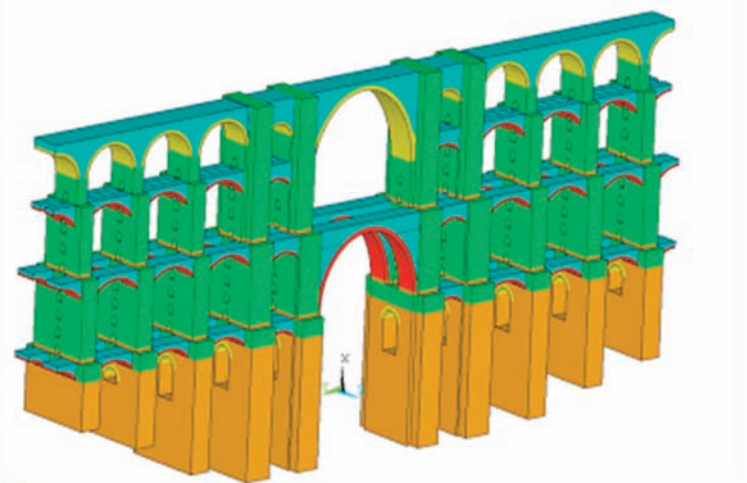
(zufälligen Änderungen) oder Schwarmmechanismen, die die Intelligenz eines Bienen-schwarms auf Futtersuche nachempfinden, Designs weiterentwickeln. Evolutionsbasierte Optimierungsstrategien sind heute wegen ihrer Robustheit sehr populär geworden. Ihnen gelingt es fast immer, ein Design weiterzuentwickeln, auch wenn die virtuelle Welt ungenaue Ergebnisse liefert oder einzelne Designs nicht erfolgreich berechnet werden können. Ob die Verbesserung signifikant ist, ob also das Optimierungspotenzial weitgehend ausgeschöpft wurde, kann bei Evolutionsstrategien allerdings nur mit erheblichem Aufwand verifiziert werden.

Robustheit des Design

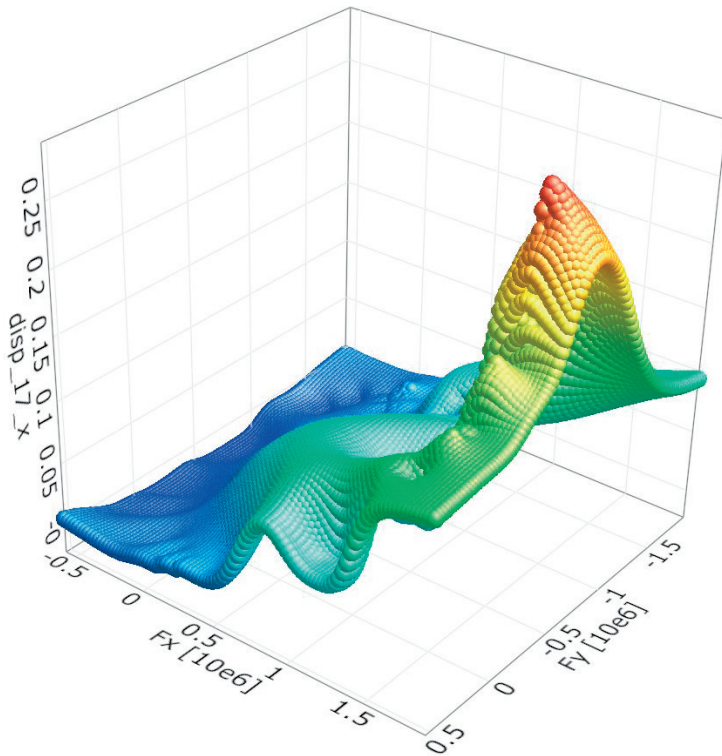
Wenn eine einzelne Designbewertung mit langen Rechenzeiten verbunden ist, werden gerne Approximationsmodelle der Designräume bei der Optimierung verwendet (Response-

Surface-Methoden – RSM). Dabei passt man im Designraum in vorhandene Sets von Stützstellen Antwortflächen ein und führt die Optimierung auf diesen aus. Es ist dann sinnvoll zu überprüfen, ob die „optimalen“ Designs im Approximationsraum der Nachrechnung standhalten, was den Weg iterativer beziehungsweise adaptiver Antwortflächenverfahren vorzeichnet.

Virtuelle Welten idealisieren die Realität und gehen erst einmal von perfekten Randbedingungen aus. So wird beispielsweise für den Elastizitätsmodul des Stahls ein „idealisierter“ Wert angenommen, häufig ein Mittelwert oder ein Wert mit zugeordneter Wahrscheinlichkeit. Wird ein Design optimiert und seine Leistung immer nur unter dem Idealwert des E-Moduls bewertet, muss die Robustheit des Designs gegenüber in Natura auftretenden Streuungen untersucht werden.



Beim Entwurf großer Mauerwerksviadukte in der Pionierzeit der Eisenbahn standen Konstruktionsregeln der Dombauhütten Pate – die Strukturen sind auch nach 100 Jahren noch uneingeschränkt standsicher.



Die Abbildung zeigt eine Darstellung nichtlinearer Zusammenhänge mittels Moving-Least-Square-Approximationen.

Eine solche Bewertung nennt man Robustheitsbewertung. Hier lassen sich für ein Design alle relevanten Streuungen mit Hilfe statistischer Kennwerte definieren. Mit Hilfe eines Zufallsgenerators werden aus der Menge möglicher Designbewertungen n Realisierungen erzeugt, durchgerechnet und bewertet. Das Generieren eines Sets möglicher Designs auf der Basis von Verteilungsinformationen nennt man stochastische Analyse. Deren Ergebnisse werden mit statistischen Mitteln bewertet. Es werden Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten berechnet. Ist die Streuung wichtiger Produkteigenschaften klein, spricht man von einem robusten Design.

Wird untersucht, ob das resultierende Streuband der Produkteigenschaften definierte Zustände nicht unter- oder überschreitet, dann geht es um das Thema Zuverlässigkeit. Ein technisches Design soll üblicherweise möglichst zuverlässig seine Funktion erfüllen, aber zum Beispiel aus wirtschaftlichen Gründen leicht sein, um möglichst wenig Energie zu benötigen. Gegebenenfalls stehen diese Anforderungen im Widerspruch zueinander und es muss ein wirtschaftlicher Kompromiss gefunden werden. Dann wird ein Design gesucht, das mit einer definierten Wahrscheinlichkeit funktioniert.

Robuste Design-Optimierung

Natürlich haben sich Ingenieure zu allen Zeiten um die Zuverlässigkeit Ihrer Designs Gedanken gemacht und hier hauptsächlich auf Erfahrungswerte zurückgegriffen, um sich an die notwendigen Sicherheitsabstände heranzutasten. Dies sei am Beispiel der Dombauhütten des Mittelalters illustriert. Zunächst waren Fensteröffnungen schmal und mit Halbkreisen überdeckt. Aus statischen Gesichtspunkten war das sehr sicher. In der Romanik wurden dann die Fassaden immer filigraner, die Öffnungen und Spannweiten immer gewagter. Dabei gingen die Dombaumeister Schritt für Schritt an die Grenzen statisch machbarer Konstruktionen heran – und so mancher Kirchenbau blieb unvollendet oder stürzte ein.

Aus diesen Erfahrungen wurden Konstruktionsregeln für Mauerwerksbauten abgeleitet, die teilweise bis heute Gültigkeit haben. Damit wurden Sicherheitsabstände etabliert, die einen ausreichenden Abstand gegenüber Unsicherheiten des Baugrunds, geo-



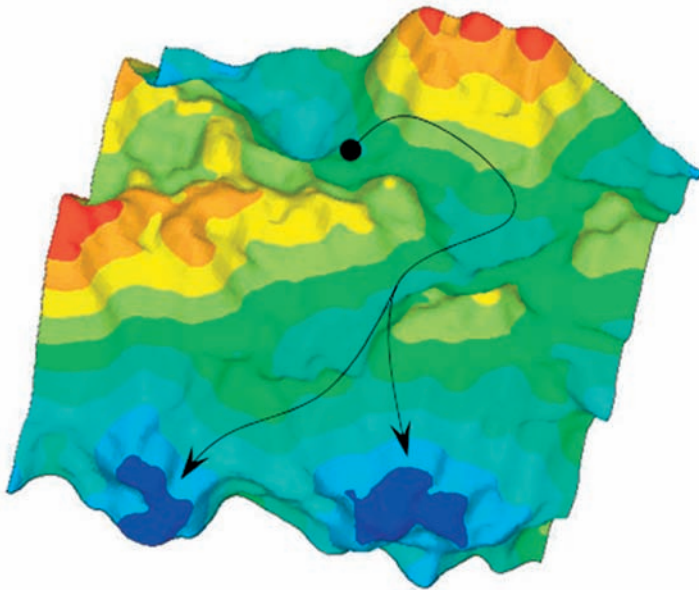
Dr.-Ing. Johannes Will, Geschäftsführender Gesellschafter der Dynardo GmbH, ist Lehrbeauftragter an der esocaet (European School of Computer Aided Engineering Technologies). Gemeinsam mit Prof. Christian Bucher von der TU Wien verantwortet er die Module „Structural Optimization“ und „Probabilistic Design“.

johannes.will@dynardo.de

esocaet

esocaet bietet Software-unabhängige CAE-Weiterbildung, wie den zweijährigen berufs begleitenden Masterstudiengang „Applied Computational Mechanics“. Dieser wurde in einer Private-Public-Partnerschaft von den Hochschulen Ingolstadt und Landshut und der Cadfem GmbH entwickelt, Dozenten sind anerkannte Experten aus Hochschule und Industrie.

www.esocaet.com



Optimierungsproblem:
Mit welchen Algorithmen finde ich das tiefste Tal?

metrischen Abweichungen der Kirchenbauwerke oder Materialstreuungen enthalten. In dieser Tradition gibt es heute viele Normenwerke, die für standardisierbare Konstruktionen Sicherheitsabstände festlegen. Wenn allerdings Grenzen ausgelotet werden oder Vorschriften zu Sicherheitsabständen fehlen, verlagert sich der Nachweis der Zuverlässigkeit häufig in die virtuelle Welt, flankiert von einzelnen Versuchen am auskonstruierten Design. Numerische Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse verbinden dann stochastische Analysemethoden mit Optimierungsalgorithmen zum Auffinden und Absichern kleiner Wahrscheinlichkeiten.

Gehen Optimierungsstrategien und Bestimmung von Robustheit und Zuverlässigkeit Hand in Hand, spricht man von Robuster Design-Optimierung (RDO). Im einfachsten Fall wird für das optimierte Design die Robustheit oder Zuverlässigkeit nachgewiesen, im Bedarfsfall werden Sicherheitsabstände justiert und es werden Schleifen der Optimierung und Zuverlässigkeitsbewertung wiederholt. Im Extremfall fließen in die Optimierungsaufgabenstellung Robustheits- und Zuverlässigkeitsmaße ein.

Im Grunde also nichts Neues seit Leonardo da Vinci: Ausgehend von einem Entwurf – von der Natur oder vom Nachbarn abgeschaut, selten wirklich neu erfunden – werden die Produkteigenschaften durch Variation schrittweise verbessert und die Tauglichkeit des Konzeptes wird unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Imperfektionen überprüft, allerdings virtuell und in vielen Dimensionen

gleichzeitig unter Auswertung vieler Designvarianten.

Verbleibt noch ein kleines, aber nicht unwesentliches Problem: Der Ingenieur will auch noch verstehen, warum und wie ein zufällig oder planmäßig verbessertes Design verbessert wird. Hier stoßen wir an die Grenzen der Dimensionalität des menschlichen Denkens – wir leben und denken in drei Dimensionen. Am Ende müssen hochdimensionale Zusammenhänge auf das Wesentliche reduziert und in zwei- und drei-dimensionalen Bildern dargestellt und verifiziert werden. –sg–

An der **Fachhochschule Südwestfalen** ist im **Fachbereich Maschinenbau (Standort Iserlohn und Studienort Lüdenscheid)** mit den akkreditierten Bachelor- und Master-Studiengängen zum frühestmöglichen Zeitpunkt eine

W2 - Professur für CAE-Techniken

zu besetzen.

Es sind Bewerbungen von Damen und Herren erwünscht, die die Fächer **3D-CAD-Methodik, Kontinuumsmechanik und FEM sowie virtuelle Produktentwicklungs- und Simulationstechniken** auf wissenschaftlicher Basis praxisorientiert und anwendungsbezogen in Lehre und Forschung vertreten können. Die Bewerberinnen und Bewerber sollen fundierte theoretische Kenntnisse in den aufgeführten Methoden und Techniken sowie mehrjährige Berufserfahrung in mindestens einem der oben genannten Bereiche in einem 3D-CAE-System (vorzugsweise **CATIA V5**) vorweisen.

Zu den Aufgaben der ausgeschriebenen Professur gehört die Durchführung von Lehrveranstaltungen im Präsenz- und Verbundstudium des Fachbereichs Maschinenbau am Standort Iserlohn sowie am Studienort Lüdenscheid. Die Lehre im Verbundstudium (mit Fernstudienanteilen) erfordert die Bereitschaft zur Erstellung von fachbezogenen Studienmaterialien sowie zur Durchführung von Lehrveranstaltungen auch an Samstagen. Die Übernahme von fachnahen Grundlagenvorlesungen wird grundsätzlich erwartet.

Die Fachhochschule Südwestfalen arbeitet sehr eng mit der regionalen Wirtschaft zusammen. Von den Bewerberinnen und Bewerbern wird erwartet, dass sie sich neben ihren praxisorientierten Lehraufgaben im Rahmen des Technologietransfers und der anwendungsbezogenen Forschung und Entwicklung an dieser Kooperation beteiligen. Weiterhin wird die Fähigkeit zu interdisziplinärer Arbeit sowie die Bereitschaft zur Mitwirkung in den Selbstverwaltungsgremien der Hochschule erwartet.

Voraussetzungen

Nähere Informationen zu den Einstellungsvoraussetzungen und den rechtlichen Rahmenbedingungen finden Sie im Internet unter:
www3.fh-swf.de/beschaefigte/stellen_fhswf.htm

Auskunft erteilt

Prof. Dr. Werner Radermacher, Tel.: 02371 566-124
E-Mail: radermacher@fh-swf.de

Bewerbungen mit aussagekräftigen Unterlagen (Lebenslauf, Darstellung des wissenschaftlichen und beruflichen Werdegangs, Publikationsverzeichnis, Forschungskonzept, Liste der bisher durchgeführten Lehrveranstaltungen, Zeugniskopien) werden unter Angabe der **Stellenangebot-Nr. 54/2010** bis zum **23.09.2010** (Posteingang) erbeten an den **Präsidenten der Fachhochschule Südwestfalen, Postfach 2061, 58590 Iserlohn** oder per E-Mail an heidinger@fh-swf.de.



Fachhochschule
Südwestfalen
Hochschule für
Technik und Wirtschaft
University of Applied Sciences