

**Vorträge**

# Auf der Suche nach dem Optimum

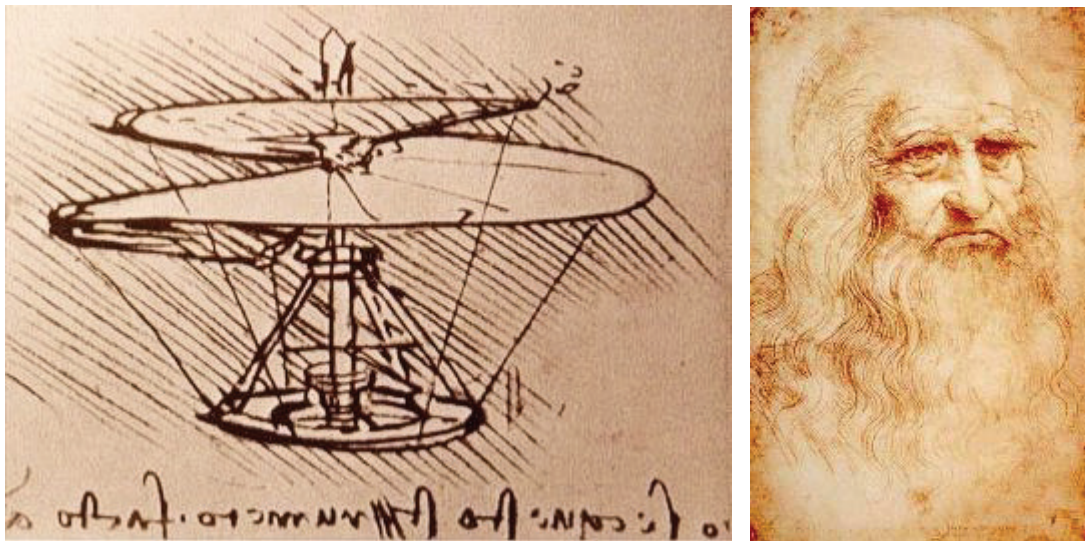
Johannes Will

# Auf der Suche nach dem Optimum

## Methoden CAE-basierter Robust Design Optimierung in der virtuellen Produktentwicklung

Schon Leonardo da Vinci wusste, dass es sich bei Innovationen häufig um die Nachahmung von Natur auf technische Fragestellungen handelt. Darauf folgt ein evolutionärer Entwicklungsprozess des Probierens und Verwerfens (Trial and Error) der den Fahrplan des technologischen Fortschritts skizziert. Inklusive technologischer Revolutionen wie der Dampfmaschine sowie technologischer Evolutionen wie die Entwicklung des Verbrennungsmotors bis zum heute erreichten Optimierungsgrad. Im Prinzip funktioniert technologischer Fortschritt damit wie vor 500 Jahren gleich - nur heute sehr viel schneller.

Mit Hilfe mathematischer Algorithmen, atemberaubend wachsender Rechenleistung und durch immer realitätsnähere Virtualisierung kann die Entwicklung in die virtuelle Welt verlagert werden und die Entwicklungszeiten können extrem verkürzt werden. Davon ausgehend, dass die Simulation in der virtuellen Welt realitätsnah genug ist, um die Produkteigenschaft abzuschätzen und man Varianten automatisiert erzeugen und berechnen kann, hätte Leonardo vermutlich als nächstes Strategien entwickelt, um den Prozess des Trial and Error in der virtuellen Produktentwicklung selbst zu optimieren.



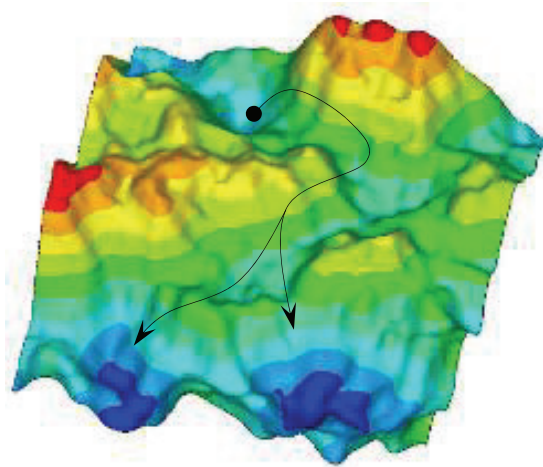
Links: Flugschirm von Leonardo - Vorbild des Hubschrauber

Rechts: Leonardo da Vinci, (1452-1519) Universalgenie der Renaissance

Womit wir beim Thema wären: Anwendung von Optimierungsstrategien in der virtuellen Produktentwicklung:

Das einfachste wäre so lange Varianten zu erzeugen, durchzurechnen und zu bewerten bis man mit den Produkteigenschaften zufrieden ist. Hierbei kann man z.B. systematisch Varianten (Experimente) erzeugen, durch Kombinatorik oder für alle Extremwerte von Designparameters. Derartige Verfahren werden häufig als Design of Experiments (DoE) bezeichnet. Oder man erzeugt die Varianten zufällig, hier ist die Spieltheorie, benannt nach einem berühmten Kasino in Monte Carlo Namenspatron (Monte Carlo Verfahren). Hier würden also Fleiß oder Zufall zum Erfolg führen.

Ein Ingenieur würde natürlich „Mitdenken“ und „Vorausdenken,, wollen und den Verbesserungsprozess beeinflussen wollen. Daraus motivieren sich zahlreiche Optimierungsstrategien.

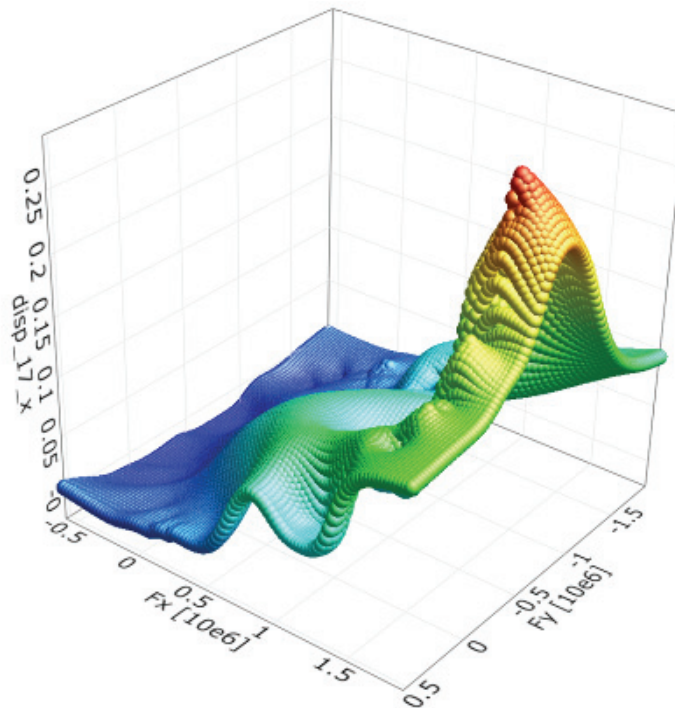


Optimierungsproblem: Mit welchen Algorithmen finde ich das tiefste Tal?

Eine Strategie bildet Gradienten von Designmodifikationen, indem kleine Veränderungen pro Designvariable berechnet werden und verwendet diese Informationen auf der Suche nach dem optimalen Design. Gradientenbasierte Verfahren werden häufig als mathematische Optimierungsverfahren bezeichnet. Erfolg und Misserfolg dieser Verfahren der mathematischen Optimierung liegen im Vermögen aussagekräftige Gradienten ermitteln zu können. Sie haben deshalb hohe Anforderungen an Genauigkeit der Berechnung und an die Struktur der Probleme. Sind diese Randbedingungen erfüllt, sind mathematische Optimierungsverfahren in Ihrer Geschwindigkeit optimale Design zu suchen 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, evolutionäre Strategien, die hauptsächlich durch Mutation (zufällige Änderung) Design weiterentwickeln oder Schwarmmechanismen, die die Intelligenz eines Bienenschwarms auf Futtersuche nachempfinden und zur Designverbesserung einsetzen. 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 Design nicht erfolgreich berechnet werden können. Ob die Verbesserung signifikant ist, ob also das Optimierungspotential weitgehend ausgeschöpft ist, kann bei Evolutionsstrategien nur mit erheblichem Aufwand verifiziert werden, oder mit anderen Worten Ihr Konvergenzverhalten ist in der Regel bescheiden.

Wenn eine einzelne Designbewertung mit langen Rechenzeiten verbunden ist, werden gerne Approximationsmodelle der Designräume bei der Optimierung verwendet (Antwortflächenverfahren - Response Surface Methoden – RSM). Dann werden in vorhandene Sets von Stützstellen im Designraum Antwortflächen gefittet und die Optimierung auf den Antwortflächen ausgeführt. Es ist dann eine gute Idee zu überprüfen, ob die „optimalen“ Designs im Approximationsraum bei der Nachrechnung standhalten, was den Weg iterativer bzw. adaptiver Antwortflächenverfahren vorzeichnet.



Darstellung nichtlinearer Zusammenhänge mittels Moving Least Square Approximationen

Virtuelle Welten idealisieren die Realität und gehen erst einmal von perfekten Randbedingungen aus. So wird z.B. für den Elastizitätsmodul des Stahls ein „idealisierter“ Wert angenommen, häufig ein Mittelwert oder Wert zugeordneter Wahrscheinlichkeit (z.B. 5% Fraktilwert). Wird ein Design optimiert und seine Performance immer nur unter dem Idealwert des E-Modul bewertet, muss die Robustheit des Designs gegenüber in Natura auftretenden Streuungen aller wichtigen Randbedingungen untersucht werden. Eine solche Bewertung nennt man Robustheitsbewertung. Hier werden für ein Design alle relevanten Streuungen mit Hilfe statistischer Kennwerte definiert und es wird mit Hilfe eines Zufallsgenerators aus der Menge möglicher Designrealisierungen um  $n$ -mögliche Situationen erzeugt, durchgerechnet und bewertet. Das Generieren eines Set möglicher Design auf der Basis von Verteilungsinformationen unsicherer Eingangswerte nennt man stochastische Analyse. Deren Ergebnisse werden mit statistischen Maßen 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, wären wir beim 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 beanspruchen. Gegebenfalls stehen die Anforderungen im Widerspruch und es muss ein wirtschaftlicher Kompromiss gefunden werden. Dann wird ein Design gesucht, was mit einer definierten Wahrscheinlichkeit funktioniert.

Natürlich haben Ingenieure sich zu allen Zeiten um die Zuverlässigkeit Ihrer Designs Gedanken machen müssen und haben hier hauptsächlich auf Erfahrungswerte zurückgegriffen und sich an notwendige Sicherheitsabstände herangetastet.

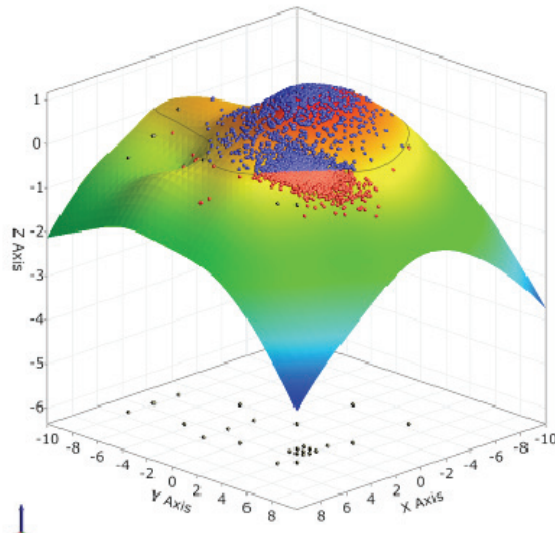


Bild: Zuverlässigkeitsbewertung auf der Antwortfläche (blau o.k., Rot nicht o.k.)

Dies sei am Beispiel der Dombauhütten des Mittelalters illustriert. In der Zeit der Romanik waren Fensteröffnungen schmal und mit Halbkreisen überdeckt. Aus statischen Gesichtspunkten war das sehr sicher. In der Romanik wurde die Fassaden immer filigraner, die Öffnungen und Spannweiten immer gewagter. Dabei gingen die Dombaumeister Schritt für Schritt an die Grenzen statisch machbarer Konstruktionen 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, geometrischer 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.



Bild: Göltzschtalbrücke

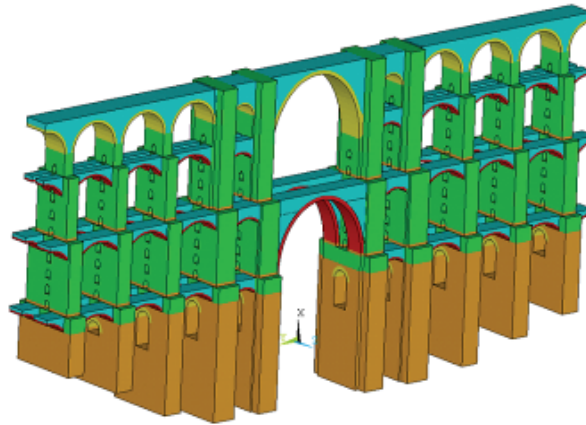


Bild: Beim Entwurf großer Mauerwerksviadukte in der Pionierzeit der Eisenbahn standen Konstruktionsregeln der Dombauhütten Pate – die Strukturen sind auch nach 100 Jahren noch uneingeschränkt standsicher

Gehen Optimierungsstrategien und Bestimmung von Robustheit und Zuverlässigkeit Hand in Hand spricht man von Robust 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 werden die Produkteigenschaften durch Variation schrittweise verbessert und die Tauglichkeit des Konzeptes wird unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Imperfektionen durch Wiederholungen überprüft – nur eben 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 wesentliches reduziert und in 2 und 3-dimensionalen Bildern dargestellt und verifiziert werden.

Wie startet man am besten bei der Einführung von Robust Design Technologien in der virtuellen Produktentwicklung?

Unser Tipp: optiSLang - unsere Software für CAE-basierte Sensitivitätsstudie, Robustheitsbewertung, Zuverlässigkeitsanalyse und Robust Design Optimierung. Wir haben die besten Algorithmen der zuvor besprochenen Technologien umgesetzt und mit leicht und sicher zu benutzenden Ablaufmasken kombiniert, damit auch Nicht-Experten der Optimierung und stochastischen Analyse sicher optimale und robuste Designs finden können.