

CAE-Software

Modellkalibrierung
Sensitivitätsanalyse
Optimierung
Robustheitsbewertung
Robust Design Optimierung
Metamodellierung

optiSLang



PRODUKTÜBERSICHT

Seit der Markteinführung im Jahr 2002 hat sich optiSLang zu einer der führenden universellen Softwareplattformen für CAE-basierte Optimierung im virtuellen Prototyping entwickelt. Basierend auf Designvariationen oder Mess- und Beobachtungspunkten können bei minimaler Nutzereingabe und wenigen Solveraufrufen effiziente Variationsanalysen durchgeführt werden.

optiSLang unterstützt Sie bei:

- Kalibrierungen von virtuellen Modellen mit physikalischen Tests
- Analysen der Sensitivität und Relevanz von Parametern
- Metamodellierungen
- Quantifizierungen der Robustheit und Zuverlässigkeit
- Robust Design Optimierungen (RDO) bzw. Design for Six Sigma (DFSS)

Die größten Herausforderungen für eine erfolgreiche CAE-basierte Produktentwicklung ist die Generierung eines standardisierten Workflows mit allen notwendigen Komponenten für die Erstellung von parametrischen Designs und die Systemauswertung. Deshalb wurde optiSLang ab Version 4 zu einer leistungsfähigen Workflowplattform für parametrische Simulationen erweitert. Anwender können somit die Workflowgenerierung einer CAE-basierten Simulation mit parametrischen Modellen sowie den Modulen der Sensitivitätsanalyse, Optimierung und Robustheitsbewertung effizient innerhalb einer Plattform realisieren.

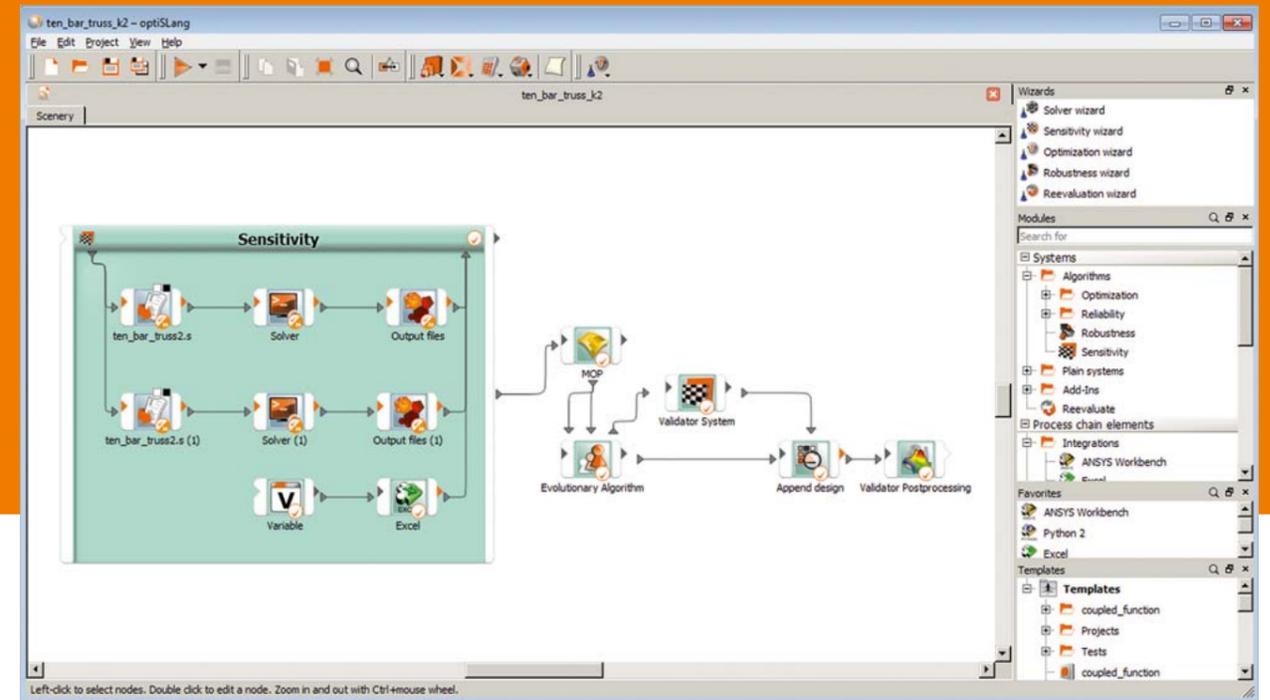
Simulationsbasierte Produktoptimierung im virtuellen Prototyping

Das vorrangige Ziel der CAE-basierten Optimierung im virtuellen Prototyping ist eine optimale Produktleistung bei

minimalem Ressourceneinsatz. Das führt Designs oft an die Grenzen von tolerierbaren Belastungen und Verformungen. Das Produktverhalten wird sensitiv gegenüber Streuungen in Bezug auf Material, Geometrie oder Umweltbedingungen. Deshalb ist es empfehlenswert, eine Robustheitsbewertung und RDO mit folgenden Modulen zu implementieren:

- Sensitivitätsanalysen zur Ermittlung der ausschlaggebenden Strategie
- Multidisziplinäre Optimierungen und Mehrzieloptimierungen zur Ermittlung des optimalen Designs
- Robustheitsbewertungen zur Überprüfung der Robustheit und Zuverlässigkeit des Designs

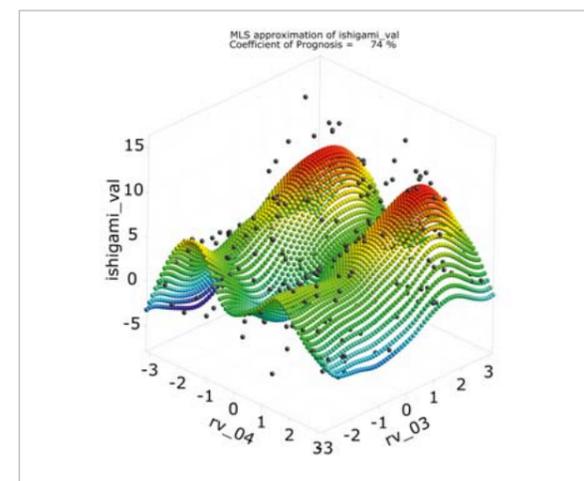
Das Best-Practice-Management von optiSLang unterstützt diese Strategie durch eine automatische Auswahl der geeigneten Sensitivitäts-, Optimierungs- und Robustheitsalgorithmen und deren Konfiguration. Die Verfahren werden von einem intuitiven Workflowaufbau und einem leistungsstarken Postprocessing-Tool begleitet. Innerhalb der Workflowumgebung von optiSLang kann jedes parametrische CAD- oder CAE-Modell einfach integriert werden. Das ermöglicht umfassende parametrische Modellierungen und Designstudien für eine innovative und effiziente virtuelle Produktentwicklung. Weiterhin stehen diverse Schnittstellen zu PLM Systemen für einen konsistenten und nachvollziehbaren Workflow zur Verfügung.



Typischer Workflow mit Sensitivitätsanalyse, Optimierung, Metamodellen und Validierung des besten Designs

Metamodellierung mit optiSLang

optiSLang erweitert parametrische Designstudien mit Metamodellierungen basierend auf virtuellen Designpunkten, experimentellen Antwortgrößen oder Feldbeobachtungen. Die Software identifiziert automatisch die korrespondierenden Eingabeparameter für jede Antwortvariation. Darüber hinaus wird das bestmögliche funktionale Metamodell generiert, das den Einfluss der Eingabeparameter auf die Antwortgrößen beschreibt. Das Ergebnis ist ein Metamodel of Optimal Prognosis (MOP).



3D Visualisierung des Metamodel of Optimal Prognosis

Der von Dynardo entwickelte Coefficient of Prognosis (CoP) quantifiziert die Prognosegenauigkeit des Metamodells. Dieses automatische Verfahren erfüllt die folgenden wichtigen Aufgaben einer Metamodellierung:

- Vermeidung von Überanpassung (Overfitting)
- Identifikation des passendsten Metamodells
- Reduktion der Komplexität

Durch die automatische Reduktion auf wichtige Parameterbereiche werden Metamodelle mit einem Minimum an virtuellen Designpunkten erstellt. Folglich können auch Aufgaben mit einer großen Anzahl von Optimierungsvariablen, Streuungsparametern sowie nichtlinearem Systemverhalten effizient gelöst werden.

Robustheitsbewertung und Zuverlässigkeitsanalyse

optiSLang bietet leistungsstarke stochastische Analysealgorithmen. Das ermöglicht dem Anwender eine zuverlässige Bestimmung von Ausfallwahrscheinlichkeiten durch die Auswertung von Ergebnisvariationen, einschließlich der Identifikation und Berücksichtigung relevanter streuender Eingabeparameter.

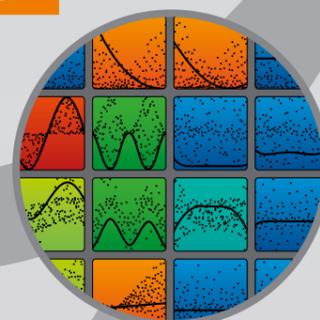
OPTISLANG – UNIVERSELLE SOFTWAREPLATTFORM FÜR VARIANTENANALYSEN

Sensitivitätsanalyse, Modellkalibrierung, Optimierung und Robustheitsbewertung basierend auf Designvariationen, Mess- oder Beobachtungspunkten mit minimaler Benutzereingabe und Solveraufrufen.



- Stochastisches-Sampling (LHS) zum optimierten Scannen vieldimensionaler Parameterräume
- Quantifikation der Prognosequalität (CoP) von Metamodellen
- Generierung des Metamodelles Optimaler Prognosefähigkeit (MOP)

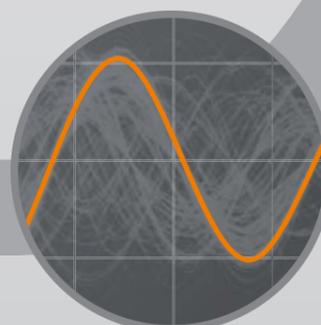
SENSITIVITÄTS-ANALYSE



CAE-Daten



Messdaten



MODELLKALIBRIERUNG

- bester Abgleich zwischen Simulation und Messung

Coefficient of Prognosis (CoP)

Der CoP quantifiziert die Prognosefähigkeit eines Metamodels (Regressionsmodells) zur Vorhersage einer Ergebnisgröße.

Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)

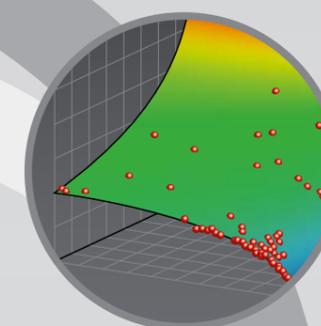
Das MOP repräsentiert das Metamodel mit der besten Prognosefähigkeit der Variation einer Ergebnisgröße. Zur Ermittlung des MOP werden verschiedene Unterräume wichtiger

Eingangsrößen mit verschiedenen Metamodellen ausgewertet. Das ermöglicht eine No-Run-Too-Much-Strategie mit einem Maximum an Prognosequalität bezüglich der gegebenen Anzahl an Designbewertungen.

OPTIMALE VOREINSTELLUNGEN

MINIMALE PARAMETER VARIATION

AUTOMATISIERT MODULAR



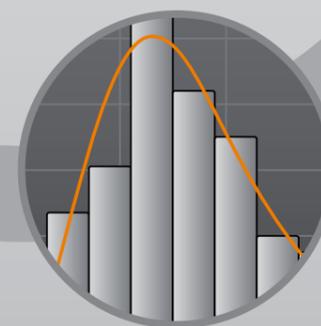
OPTIMIERUNG

- Identifikation der relevanten Input-Parameter und Antwortgrößen basierend auf Sensitivitätsanalyse
- Vor-Optimierung der Parametersets mit MOP ohne zusätzlichen Solver-Aufruf
- Weitergehende Optimierung der Parametersets mit den am besten geeigneten Algorithmen (Best-Practise Management)

Optimales Design

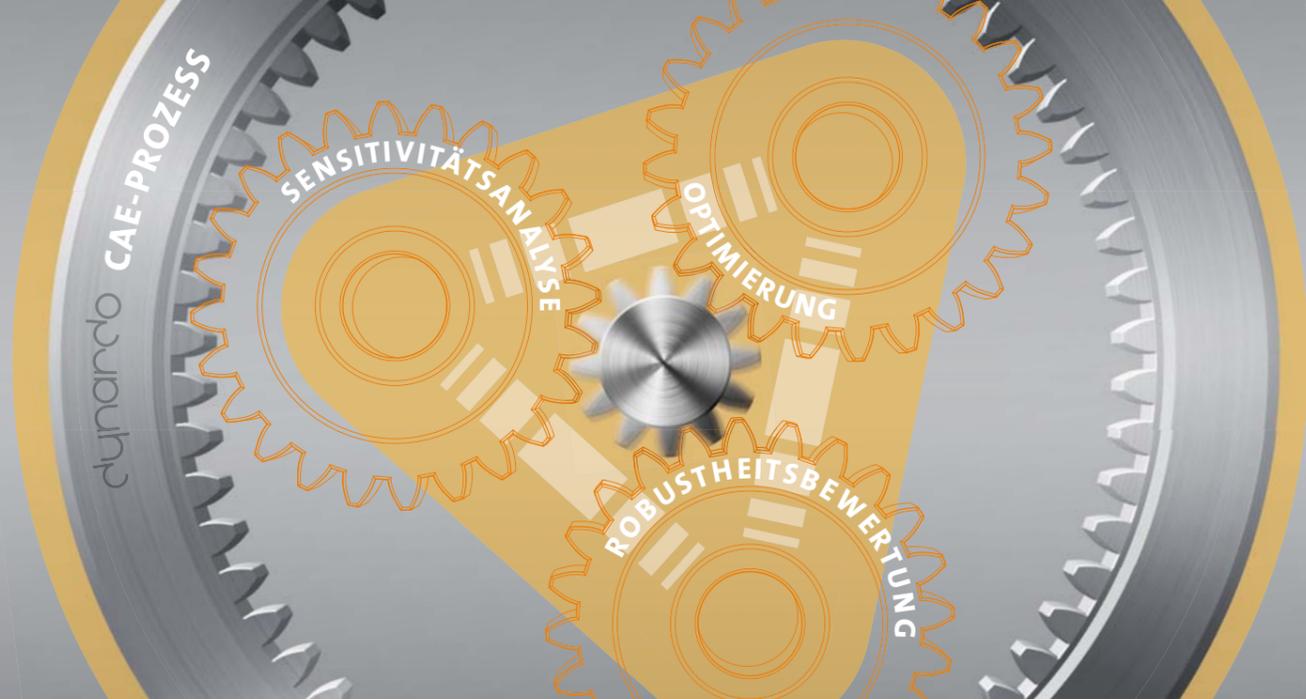


WENIGER SOLVER AUFRUFE



ROBUSTHEITSBEWERTUNG

- Effiziente Verfahren der stochastischen Analyse zur Ermittlung von Versagenswahrscheinlichkeiten
- Bewertung der Variation der Ergebnisgrößen
- Identifikation der relevanten streuenden Input-Parameter



PROZESSINTEGRATION UND AUTOMATISIERUNG

Interaktive Prozessautomatisierung und Prozessintegration sowie der Zugriff auf bestmögliche parametrische Simulationsmodelle sind der Schlüssel für eine erfolgreiche CAE-basierte Variationsanalyse. Diese Workflows werden in optiSLang durch Eingabeassistenten und Standardeinstellungen unterstützt.

Prozessintegration

Mit optiSLang ist die parametrische Anbindung verschiedenster Software aus dem Umfeld der virtuellen Produktentwicklung möglich. Die Integration wird entweder durch textbasierte oder vordefinierte Schnittstellen realisiert. Damit können mehr als 100 verschiedene CAx/PLM Softwarelösungen mit optiSLang gekoppelt werden. Die neue Generation von optiSLang bietet z.B. Zugriff auf:

- CAD (Catia, Nx, Creo, Solidworks ...)
- CAE (ANSYS, Abaqus, AMESim ...)
- MS Excel, Matlab, Python ...
- PLM (EKM, Teamcenter, Subversion ...)
- In-house Solver

Verschiedene parametrische Umgebungen lassen sich bündeln und zu einem automatisierten parametrischen Workflow für die CAE-basierte Produktentwicklung kombinieren.

Erstellen von CAx Workflows

optiSLangs Benutzeroberfläche unterstützt den Workflow durch grafisch gekoppelte Bausteine und Algorithmen, um Abhängigkeiten und Zeitabläufe zu illustrieren. So kann der Datenaustausch zentral definiert und gesteuert werden. Gleichzeitig erleichtern verständliche Diagramme und Schaltflächen

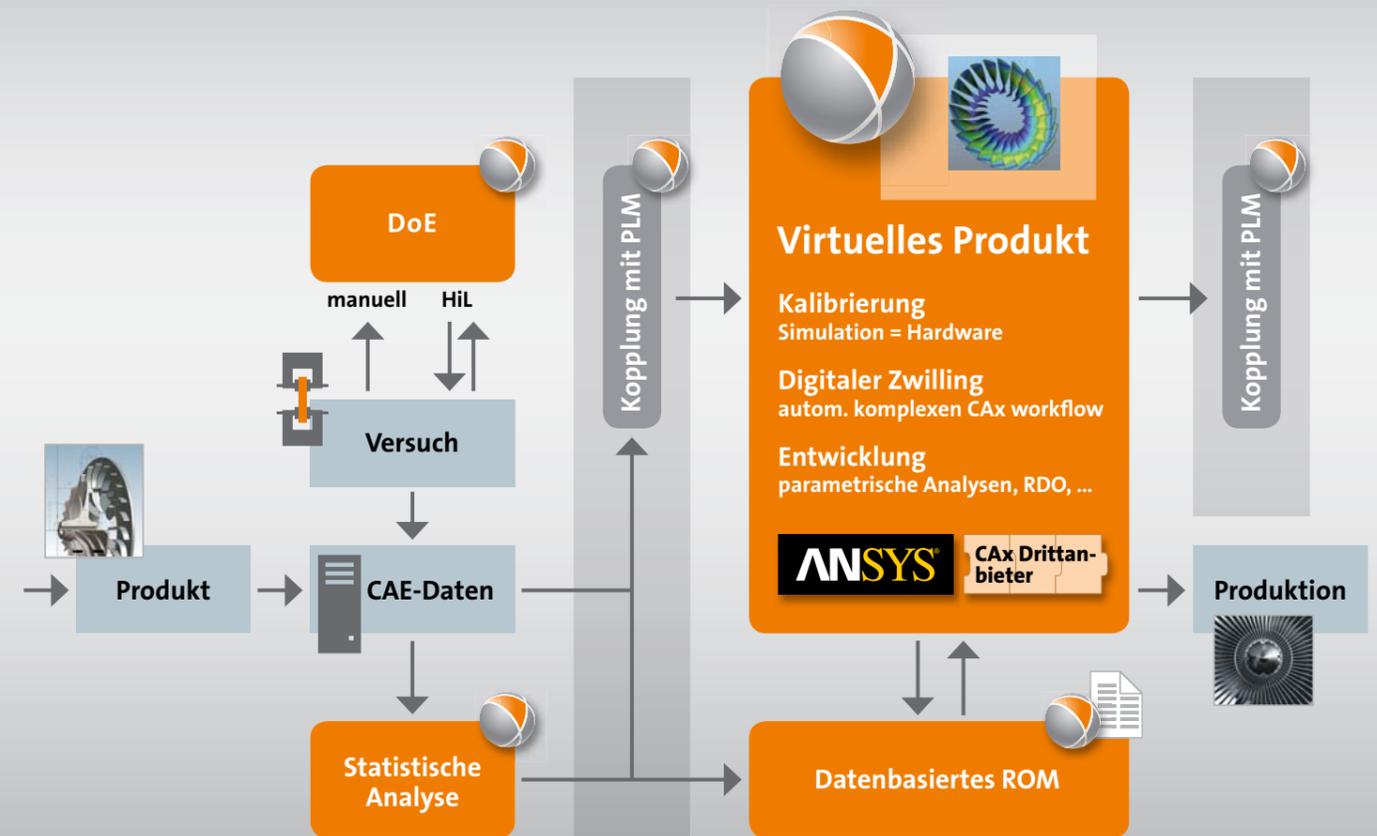
den Workflowaufbau. Dies ermöglicht einen umfassenden Zugriff und die Rückverfolgbarkeit des gesamten Prozesses. Der Anwender kann komplexe Simulationsprozesse aus CAE-Solvern sowie Pre- und Postprozessoren in heterogenen Netzwerken oder Clustern verbinden. Die Automatisierung wird in gebündelten Solver-Prozessketten oder in komplexen multidisziplinären/Multidomain-Workflows realisiert. Auch Performance-Darstellungen und deren Beurteilung können in die standardisierten Projekte einbezogen werden.

Integration von optiSLang in parametrische Modellierungsumgebungen

Der modulare Aufbau unterstützt die direkte Integration der Module in standardisierte parametrische Modellierungsumgebungen. Das ermöglicht die nahtlose Integration von optiSLang in z. B. ANSYS Workbench / AIM, Excel oder eigene Umgebungen. Hier müssen Anwender ihre parametrische Modellierungsumgebung nicht verlassen und können effizient auf optiSLang-Module zugreifen.

Schnittstellen und Automatisierung

optiSLang bietet verschiedene Schnittstellen (z.B. Python, C++, Befehlszeile) zur automatischen Erstellung, Änderung und Durchführung von Projekten innerhalb von optiSLang und von



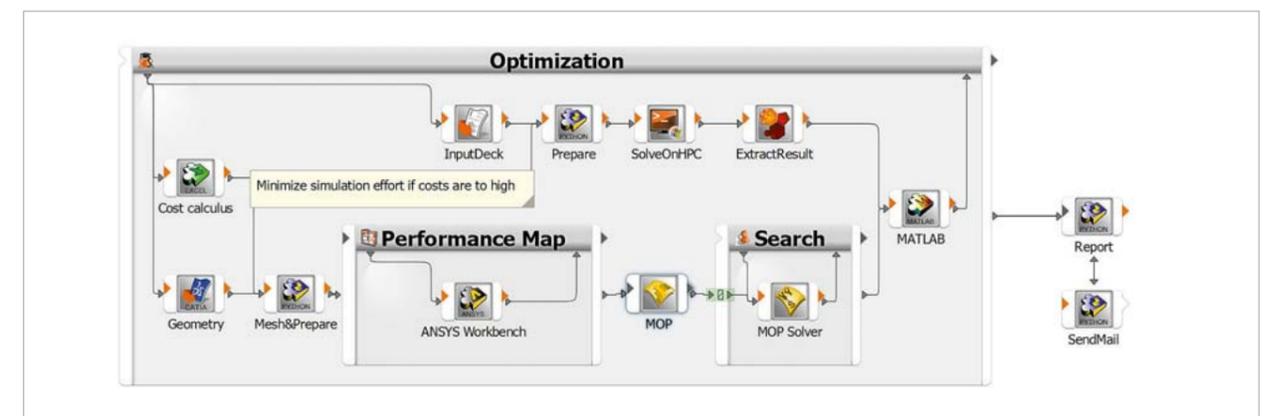
externen Software-Integrationen. Dadurch wird die Implementierung von benutzerdefinierten Anwendungen sichergestellt und optiSLang-Projekte können in kundenspezifische Plattformen integriert werden. Repetitive und zeitaufwendige Aufgaben werden standardisiert und automatisiert.

- Algorithmen für DoE, Optimierung, Robustheitsbewertung usw.
- Meta-Modellen
- CAx Integrationen
- Verbindungen zu Datenbanken

Erweiterungen

Der hohe Grad an Effizienz der optiSLang Plattform ermöglicht Ihnen die Anbindung von:

Das macht optiSLang zu einer flexiblen Plattform zur Lösung von aktuellen und zukünftigen Anforderungen der parametrischen Simulation in der virtuellen Produktentwicklung.

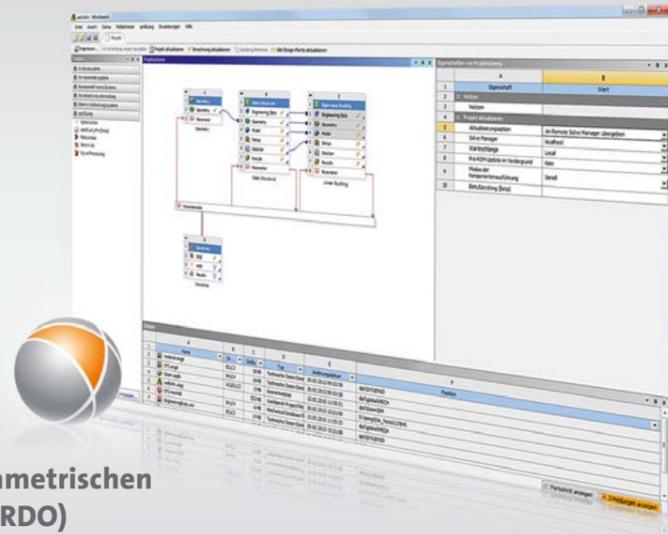


Vollautomatischer Optimierungsworkflow in optiSLang unter Berücksichtigung von Kosten- und Performance-Kennzahlen, Ausführung mehrerer Solver und Einsatz von HPC

ANSYS®

optiSLang®

Die Kombination von leistungsfähigen parametrischen Modellen mit Robust Design Optimierung (RDO)



ANSYS OPTISLANG

ANSYS optiSLang kombiniert die weltweit führende Simulationsplattform ANSYS mit den leistungsstarken Algorithmen von optiSLang in der Variantenanalyse und Prozessautomatisierung. Durch den Aufbau von CAx-Workflows für automatische Designvariationsstudien können Produkte optimiert und in kürzerer Zeit entwickelt werden.

Möglichkeiten der Interaktion mit ANSYS

Die Prozessintegrations- und Workflow-Methoden von optiSLang bieten eine ideale Ergänzung der ANSYS-Simulationstools. Es gibt Möglichkeiten zur Integration von ANSYS-Tools in optiSLang-Workflows sowie zur Verwendung von optiSLang-Modulen innerhalb der ANSYS Workbench.

- In ANSYS Workbench: Das Workbench Plugin macht optiSLang-Technologie mittels Drag & Drop-Modulen in der ANSYS Workbench verfügbar
- Text basierte Integration (ANSYS APDL) zur Kombination von ANSYS mit weiteren CAE/CAD-Tools zur Prozessautomatisierung und Workflow-Erstellung
- ANSYS Workbench-Knoten: Der direkte Integrationsknoten ermöglicht den Einsatz von ANSYS Workbench-Projekten in optiSLang-Workflows

ANSYS Workbench plugin

Die Plugin-Toolbox von optiSLang enthält Module für Prozessintegration, Sensitivitätsanalyse, Optimierung und Robustheitsbewertung. Ein Eingabeassistent unterstützt Sie bei der Definition der Module und ermöglicht eine optimale Lösungsstrategie bei minimaler Benutzereingabe. So kann die optiSLang-Integration einfach per Drag & Drop gestartet werden. Sie brauchen nur den Variationsraum, die Randbe-

dingungen und die Zielfunktion festlegen. optiSLang identifiziert automatisch die wichtigsten Parameter und generiert das Zusammenhangsmodell. Ein Best-Practice-Management wählt dann die geeigneten Methoden zur Optimierung und Robustheitsbewertung.

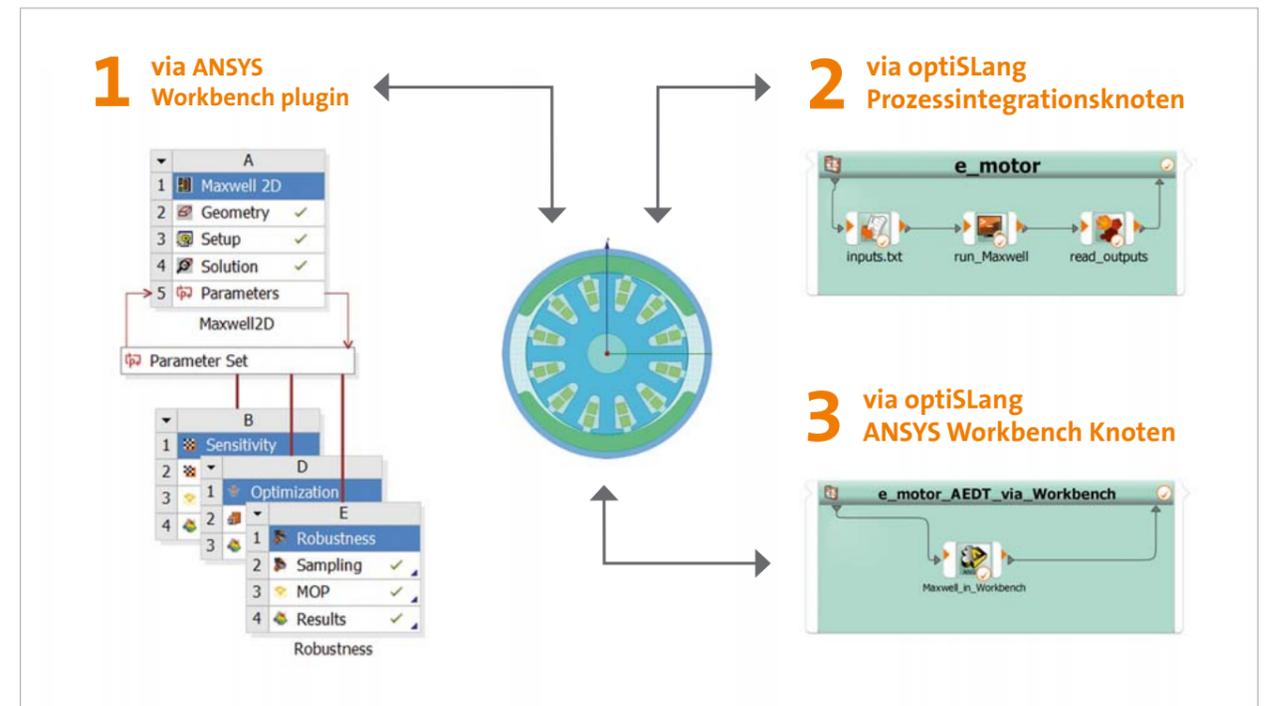
Die Optionen für die parallele Berechnung an mehreren Kernen mit dem ANSYS Remote-Solve-Manager und die Verwendung von parametrischen ANSYS HPC Pack-Lizenzen für die gleichzeitige Berechnung verschiedener Designs werden unterstützt. Das Plugin ermöglicht auch eine sichere Handhabung von Designabbrüchen innerhalb der ANSYS Workbench. Alle erfolgreichen Designs werden in der Datenbank von optiSLang gespeichert und können unabhängig von der ANSYS Workbench Designtabelle verwendet und nachbearbeitet werden.

Beispiele für allgemeine Funktionen des Workbench-Plugins:

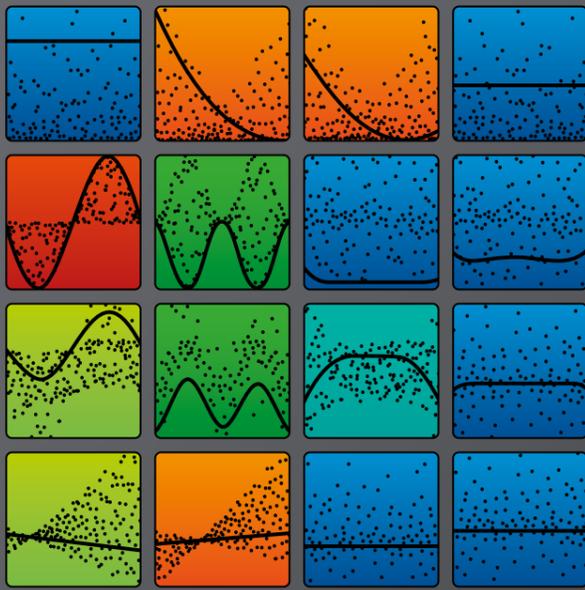
- Reduzierung der Anzahl von CAE-Solveraufrufen
- Automatische Identifizierung wichtiger Parameter während der Sensitivitätsanalyse
- Automatischer Aufbau von bestmöglichen Zusammenhangsmodellen (MOP)
- Multidisziplinäre- und Mehrziel-Optimierung
- Robustheitsbewertung
- Intuitives und effizientes Postprocessing
- Unterstützung von nicht-skalaren Antworten (Vektoren, Kurven, Signalen)



ANSYS optiSLang Simulationsumgebung und die effizienten Algorithmen und Werkzeuge von optiSLang für Workflows der Variationsanalyse



Möglichkeiten zur Integration von ANSYS-Simulation und optiSLang am Beispiel eines Elektromotors



SENSITIVITÄT

SENSITIVITÄTSANALYSE

Mit Hilfe einer globalen Sensitivitätsanalyse und der automatischen Generierung des Metamodel of Optimal Prognosis (MOP) werden Optimierungspotentiale sowie die korrespondierenden wichtigsten Variablen identifiziert. Auf dieser Basis können Zielfunktionen und Randbedingungen aufgabenbezogen definiert und geeignete Optimierungsalgorithmen ausgewählt werden.

Praktische Anwendung

Designvariablen werden durch ihre untere und obere Grenze oder durch mehrere mögliche diskrete Werte definiert. Bei praktischen Optimierungsaufgaben kann die Anzahl der Designvariablen oft sehr groß sein. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse können Sie genau diejenigen Variablen identifizieren, die effektiv zu einer möglichen Erreichung des Optimierungsziels beitragen. Auf Basis dieser Identifikation wird die Anzahl der Designvariablen entscheidend reduziert und eine effiziente Optimierung ermöglicht. Darüber hinaus hilft eine Sensitivitätsanalyse, die Optimierungsaufgabe hinsichtlich der Auswahl und Anzahl der Ziele, ihrer Gewichtung oder möglicher Einschränkungen angemessen zu formulieren. Eine Sensitivitätsanalyse unterstützt auch bei der Bewertung des numerischen Solverauschens sowie der richtigen physikalischen Formulierung der Aufgabenstellung.

Best Practice

- Erfassung des gesamten Designraumes durch optimiertes Latin Hypercube Sampling (LHS) und Minimierung von Korrelationsfehlern innerhalb der Eingabevariablen
- Automatische Identifizierung des Metamodells des MOP
- Quantifizierung der Prognosefähigkeit eines Metamodells (Regressionsmodells) zur Vorhersage einer Ergebnisgröße durch den Coefficient of Prognosis (CoP)

- Identifizierung der wichtigsten Parameter bezogen auf jede Ergebnisgröße und die Nebenbedingungen sowie auf das Optimierungsziel
- Minimierung der Anzahl von Solver-Runs durch MOP/CoP

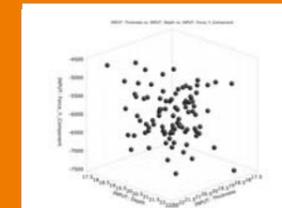
Methoden

- Definition von Optimierungsvariablen mit oberer und unterer Grenze oder diskreten Werten
- Definition und Generierung des Design of Experiments (full factorial, central composite, D-optimal, benutzerdefiniertes DoE); LHS für optimales Scannen vieldimensionaler Parameterräume
- Automatische Generierung des MOP durch das Testen verschiedener Approximationsmethoden
- CoP-Quantifikation der Prognosequalität der Metamodelle

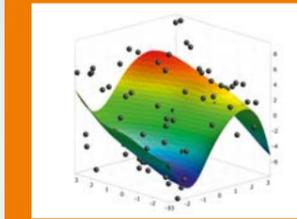
Ergebnisauswertung & Visualisierung

- Histogramme
- Korrelationsmatrizen / Parallel Coordinate Plots
- 2/3D Anthill Plots und 2/3D Oberflächenplots des MOP
- Variablenranking mittels CoP
- Residuendiagramme und lokale Fehlerbewertung
- Integration von Ergebnis-Grafiken der CAE Programme
- Benutzerdefinierte Plots

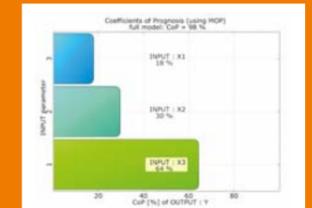
1 Latin Hypercube Sampling



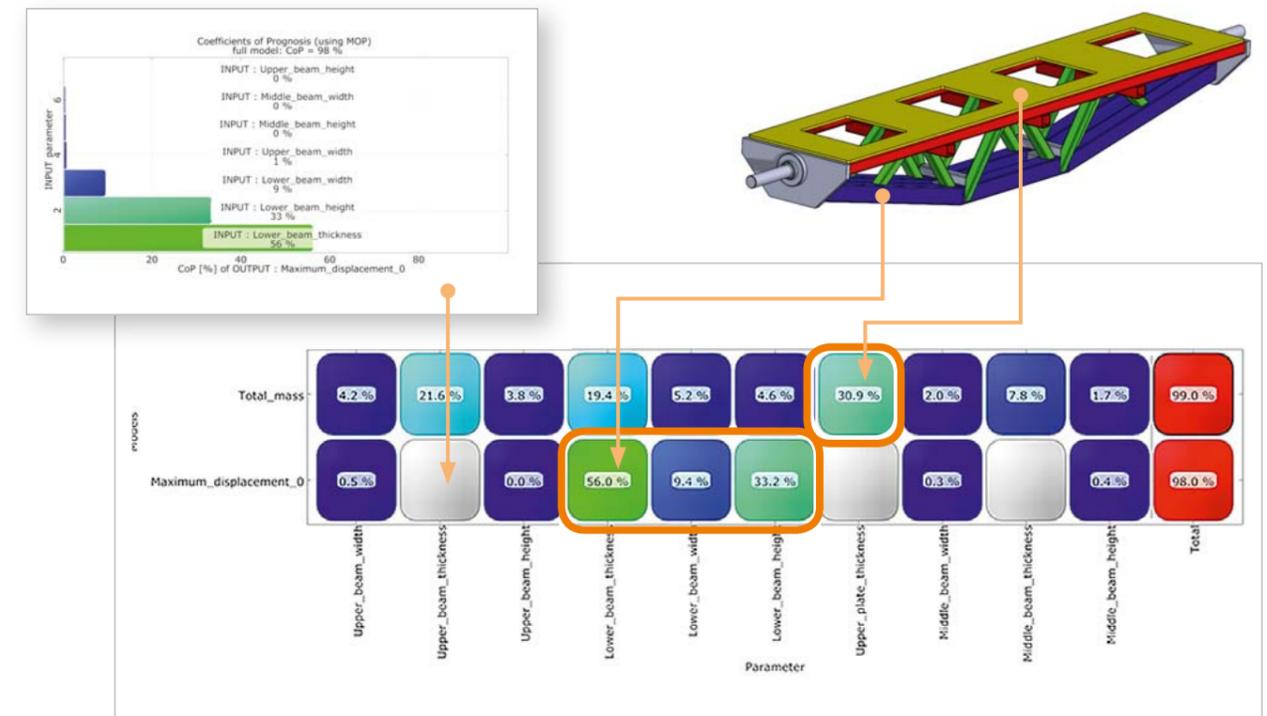
2 Metamodel of Optimal Prognosis



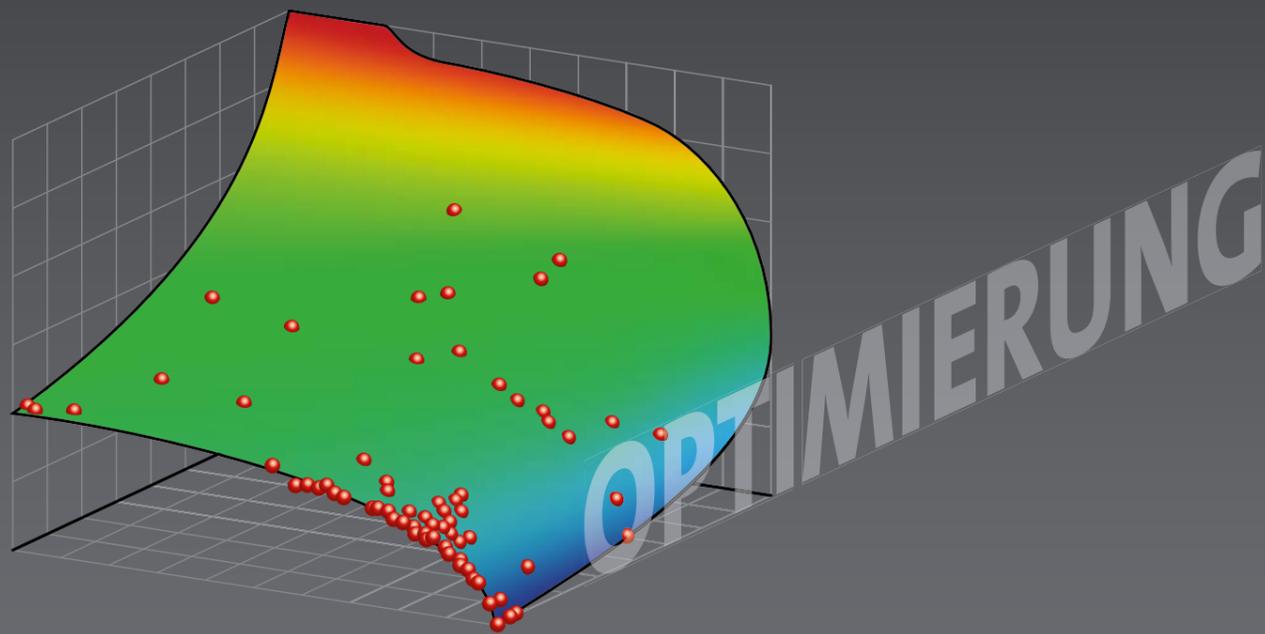
3 Wichtigkeit der Parameter



Verständnis der wichtigsten Eingangsvariablen



CoP-Matrix einer Werkstückhaltevorrichtung für die Analyse von Masseverschiebungen: Die Masse wird hauptsächlich durch die Oberplattenstärke und die Verschiebungen durch die Querschnittsparameter der Unterbalken beeinflusst.



MULTIDISZIPLINÄRE OPTIMIERUNG

optiSlang bietet leistungsfähige Optimierungsalgorithmen und automatisierte Workflows zur effizienten Bestimmung der optimalen Design-Parameter für vielfältige multidisziplinäre, nichtlineare und multikriterielle Optimierungsaufgaben.

Praktische Anwendung

Strukturen und Subsysteme müssen oft so ausgelegt werden, dass sie multidisziplinären Lastfällen standhalten. Zum Beispiel werden Fahrzeugkarosseriestrukturen beansprucht durch Crash (nichtlinear-transient), Noise Vibration Harshness (Frequenzbereich), Steifigkeit (linear statisch), Abnutzung (linear statisch) und Aerodynamik (CFD). Die strukturellen Anforderungen gegenüber Lasteinwirkungen in einer Disziplin unterscheiden sich oft von den Anforderungen in den anderen Disziplinen. Wenn Belastungen aus allen Bereichen während des Optimierungsprozesses nicht gleichzeitig berücksichtigt werden, wird das resultierende Design bezüglich der strukturellen Eigenschaften nicht optimal ausbalanciert sein. Deswegen ist eine multidisziplinäre Optimierung unter Berücksichtigung einzelner und mehrerer Ziele erforderlich.

Best Practice

- Identifikation der relevanten Input-Parameter und Antwortgrößen mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse und CoP/MOP
- Voroptimierung der Parametersets und Bewertung von möglichen konkurrierenden Zielfunktionen mit Hilfe des MOP
- Automatische Auswahl der am besten geeigneten Algorithmen zur Design-Optimierung durch den Optimierungsassistenten

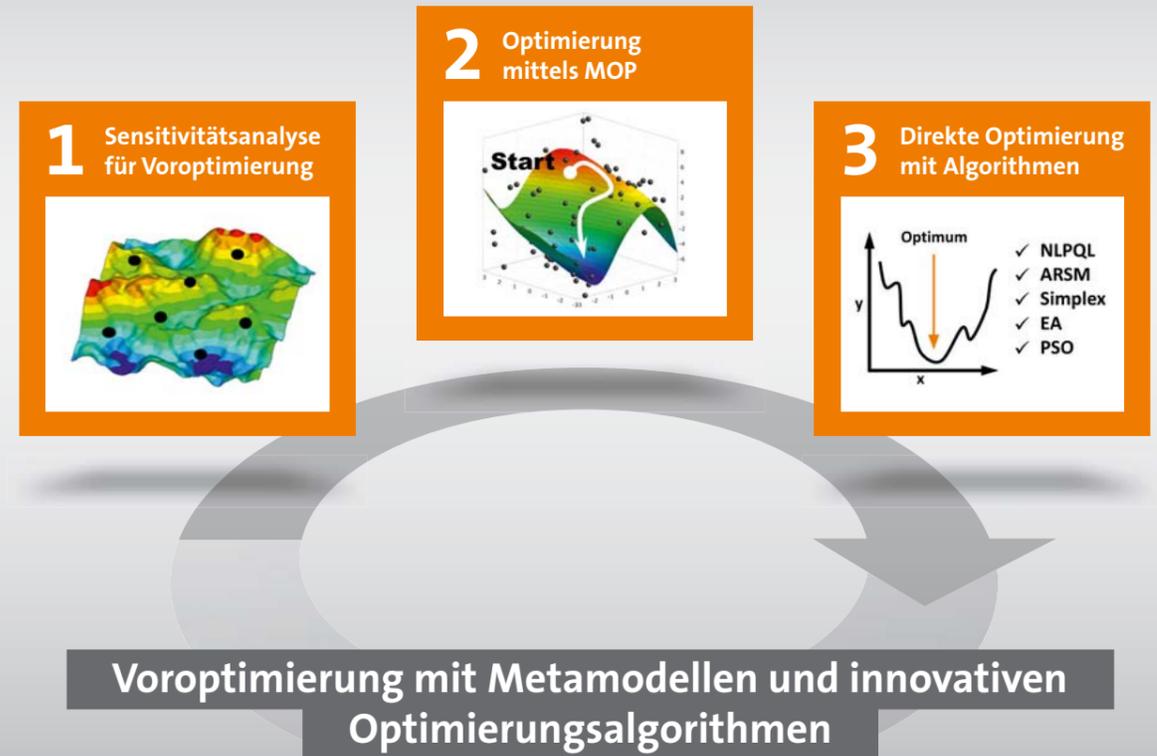
- Einfache Definition des Parameterbereiches, der Zielfunktion und der Randbedingungen

Methoden

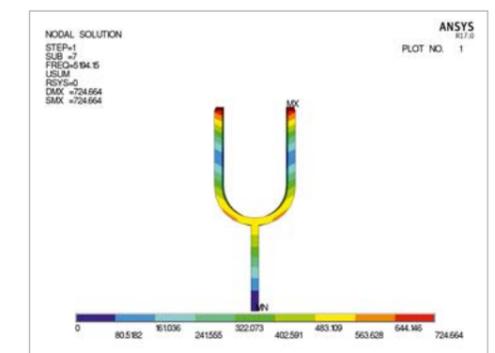
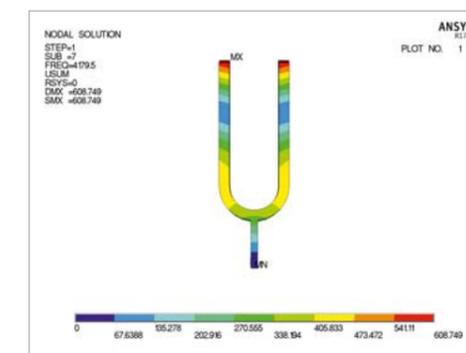
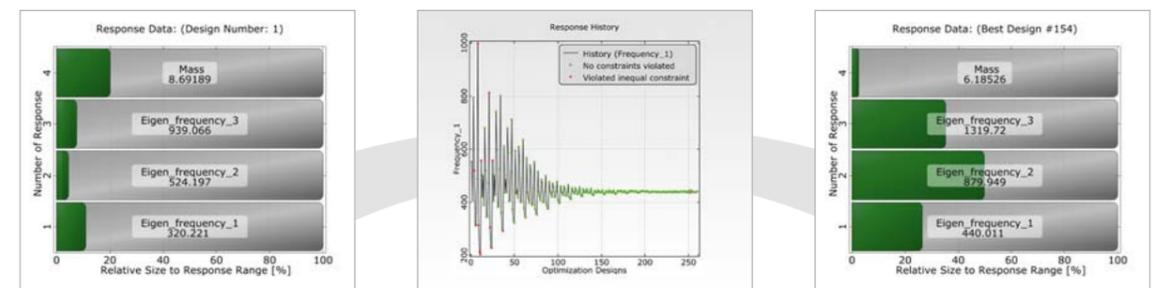
- Gradienten-basierte Methoden (NLPQL)
- Natur-inspirierte Optimierungsalgorithmen (NOA) für Ein- und Mehrzieloptimierung
- Adaptive Response Surface Methode (ARSM)
- Kundenspezifische Optimierungsalgorithmen

Ergebnisauswertung & Visualisierung

- Interaktives Postprocessing passend zum Optimierungsalgorithmus
- Schnelle Auswertung der Optimierungsergebnisse mit verschiedenen Darstellungsoptionen
- Parallel Coordinate Plots und Clusteranalyse für die Auswahl der besten Designs
- Selektierbarkeit einzelner Designs und einfache Visualisierung von nicht-skalaren Ergebnissen als Zeitreihe, 3D-Felddaten oder automatisierte Animation
- Objective History Plot für Einzielfunktionen, 2D und 3D Pareto Plots für Mehrzieloptimierung



Voroptimierung mit Metamodellen und innovativen Optimierungsalgorithmen



Optimierung einer Stimmgabel bezüglich Masse und Frequenz

MODELLKALIBRIERUNG

MODELLKALIBRIERUNG

Eine automatisierte Modellkalibrierung identifiziert effizient relevante bzw. nicht messbare Parameter, um die bestmögliche Übereinstimmung zwischen Simulationsergebnissen und Testdaten zu erreichen. Sensitivitätsanalysen spielen dabei für die Prognosequalität der Simulationsmodelle eine entscheidende Rolle.

Praktische Anwendung

Messdaten stellen wichtige charakteristische Antwortgrößen dar, um das physikalische Simulationsmodell zu validieren und zu verbessern. Im Kontext der Parameteridentifikation bedeutet Modellkalibrierung, dass experimentelle Beobachtungen genutzt werden, um unbekannte Simulationsmodellparameter zu prognostizieren. Mittels Sensitivitätsanalysen werden zunächst Parameter erfasst, die tatsächlichen Einfluss auf die Simulationsergebnisse und den Kalibrierungsvorgang haben. Außerdem hilft die Analyse dabei, um Abweichungen zwischen Messung und Simulation zu quantifizieren. Abschließend kann analysiert werden, ob das inverse Problem eindeutig gelöst werden kann, d.h. ob eine eindeutige Parameterkombination für eine optimale Anpassung zwischen Messung und Simulation existiert.

Best Practice

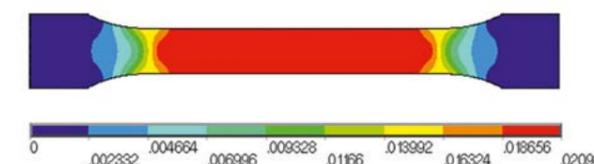
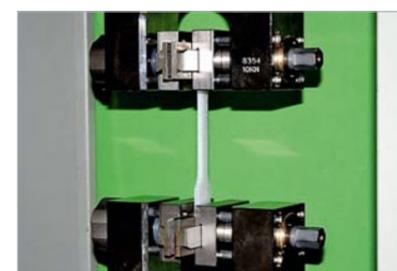
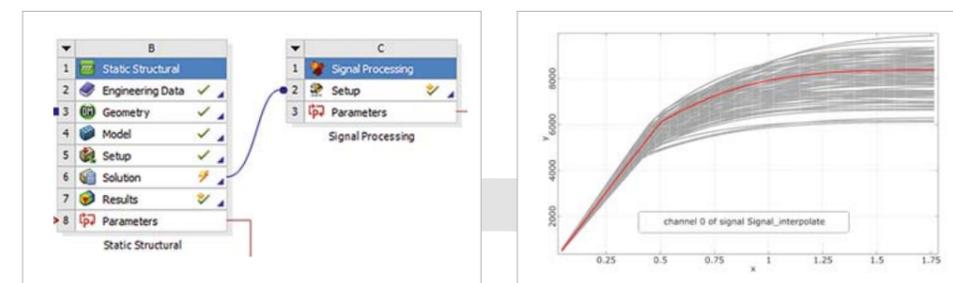
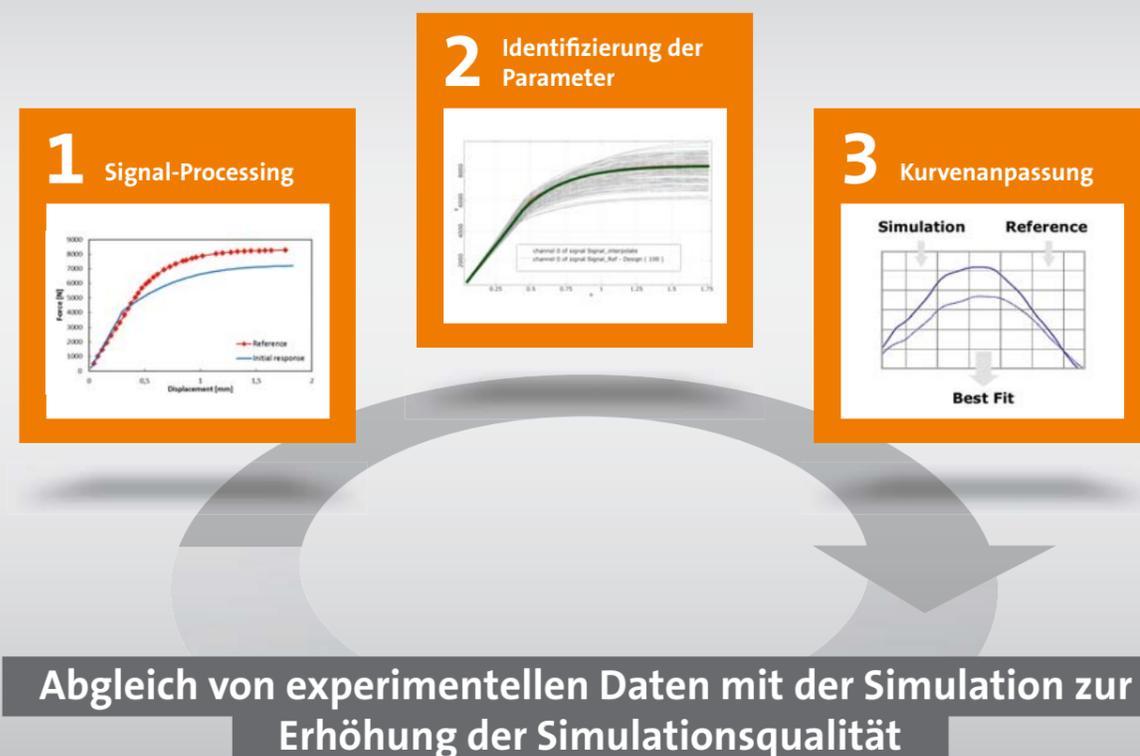
- Sensitivitätsanalyse prüft, welche Parameter einen signifikanten Einfluss auf die Modell-Antwortgrößen haben
- Identifizierung der bestmöglichen Ergebnisextraktion zum Vergleich von Simulationsmodell und Versuchsgröße
- Überprüfung der Eindeutigkeit des bestmöglichen Zusammenhangmodells zwischen Parameter- und Ergebnisvariation
- Suche nach uneindeutigen (multiplen) Parametersätzen durch Parameterkopplung zur Minimierung der Abweichungen

Methoden

- Berücksichtigung von skalaren Antwortgrößen
- Definition von Mehrkanal-Signalen, z.B. Zeit-Verschiebungskurven
- Umfangreiche Bibliothek von Signalfunktionen, z.B. lokale Werte als maximale und minimale Amplituden, globale Werte als Integrale bestimmter Eigenschaften und komplexeren Signalberechnungen
- MOP zur Sensitivitätsanalyse von verschiedenen Signaleigenschaften und zur Vorevaluierung
- Verschiedene Optimierungsalgorithmen (z.B. Gradienten-basiert oder Natur-inspiriert)

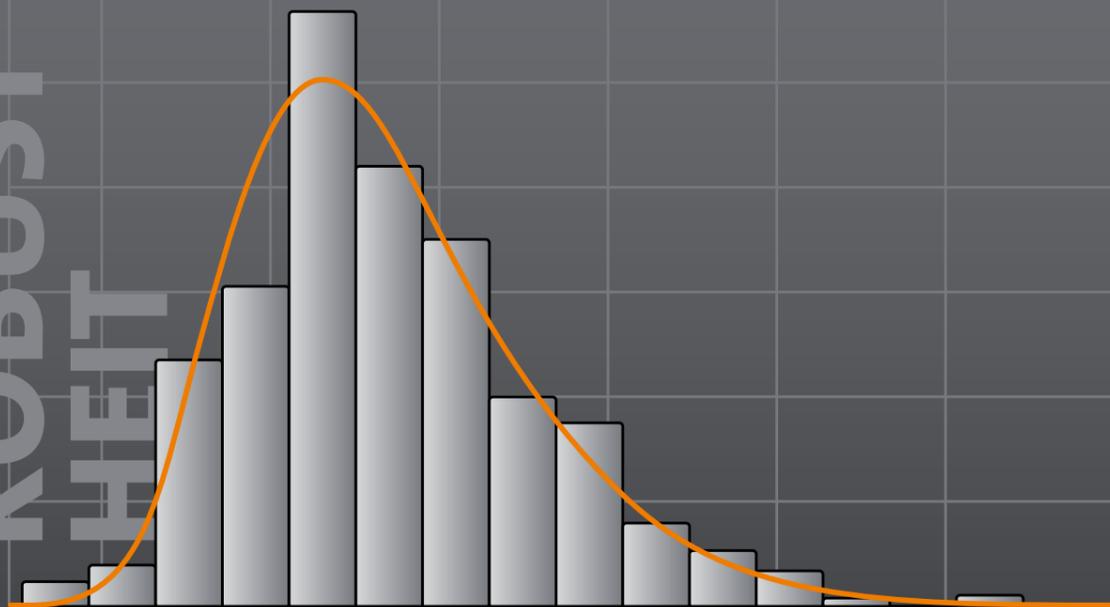
Ergebnisauswertung & Visualisierung

- Darstellung von statistischen Auswertungen
- Darstellung der Signalfunktionen und der jeweiligen Referenzgröße für jede Designauswertung
- Sensitivitäten und Näherungswerte von Signalfunktionen / Parametern
- Interaktive Auswertung von Kurvenanpassungen und entsprechenden Designdarstellungen
- Parallel Coordinates Plot und Clusteranalyse zur Eindeutigkeitsbewertung



Parameteridentifikation eines Federstahlmodells basierend auf einem Zugstabversuch: Die Lastverschiebungskurven von Experiment und entsprechender Simulation werden in der Signalverarbeitung verglichen und die minimalste Abweichung wird mit der Minimierung der Fehlerquadrate gefunden.

ROBUSTHEIT



ROBUSTHEITSBEWERTUNG

optiSlang quantifiziert die Robustheit von Designs durch die Generierung eines Sets möglicher Design-Realisierungen auf der Grundlage streuender Eingangsvariablen. Die Zuverlässigkeit der Variations- und Korrelationsmaße wird mit einem Minimum an Designberechnungen erreicht und durch optimierte Latin Hypercube Samplings und die Quantifizierung der Vorhersagefähigkeit der Ergebnisvariation durch den CoP abgesichert.

Praktische Anwendung

Optimierte Designs werden oft an ihre Leistungsgrenzen gebracht, z. B. bei der Materialstärke. Es ist daher notwendig, die Auswirkung von streuenden Eingangsvariablen, z. B. Geometrie, Materialparameter, Randbedingungen oder Lasten, auf die Robustheit der optimierten Designs zu untersuchen. Stochastische Analysen basierend auf bestmöglichen Annahmen zu den Eingangsunsicherheiten sind das geeignete Mittel für Robustheitsbewertungen. Unsere Erfahrungen zeigen, dass neben der Standardvariation oder den Sigma Levels auch Variationskoeffizienten ein geeignetes Robustheitsmaß sind, um die relativen Variationen der kritischen Modellantworten mit der relativen Variation der Inputvariablen zu vergleichen.

Best Practice

- Berücksichtigung aller einflussnehmenden Unsicherheiten als wichtigster Input einer Robustheitsbewertung
- Vordefinierte Verteilungsfunktionen und eine Eingangskorrelationsmatrix unterstützen die Definition der streuenden Eingangsvariablen
- Automatische Generierung optimierter Latin Hypercube Samplings für den Scan des Robustheitsraumes mit minimalem Eingangskorrelationsfehler
- Quantifizierung der wichtigsten Eingangsstreuungen und deren Einfluss pro Ergebnisgröße mittels CoP

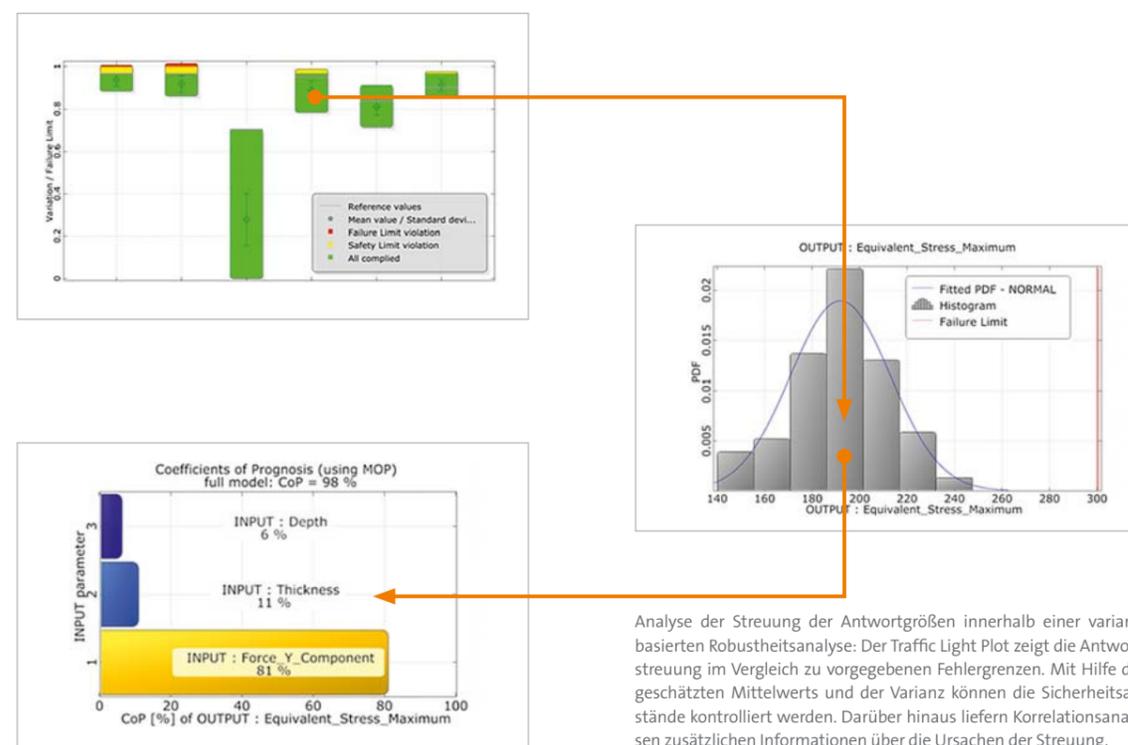
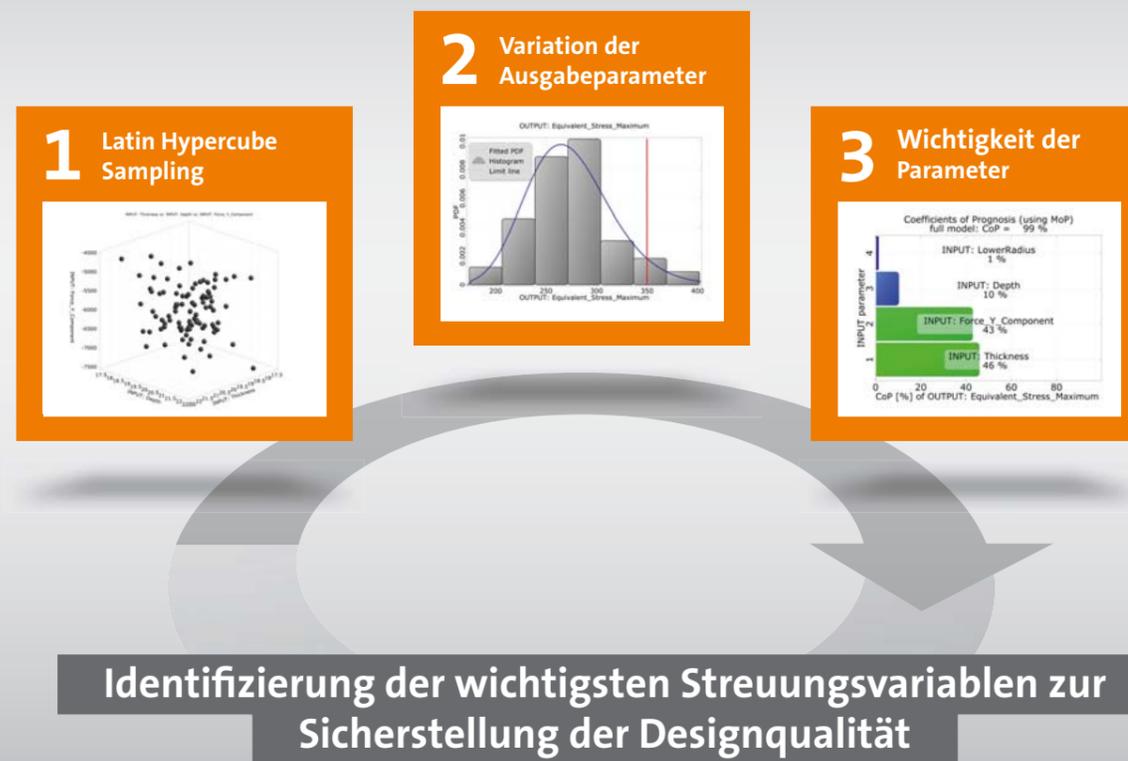
- Quantifizierung der Robustheit im Histogramm der Ergebnisgrößen inklusive der Schätzung von Überschreitungswahrscheinlichkeiten (Auszählen und mittels gefitteter Verteilungsfunktionen)

Methoden

- Streuende Eingangsvariablen mit Verteilungstypen und Eingangskorrelationen
- Optimiertes Latin Hypercube Sampling
- Fitting von Verteilungsfunktionen im Histogramm der Ergebnisgrößen
- Schätzung von Sigma Abständen
- Schätzung von Überschreitungswahrscheinlichkeiten

Ergebnisauswertung & Visualisierung

- Histogramme zur Darstellung der Ergebnisstreuung
- Lineare und nichtlineare Korrelationsmatrizen, Quantifizierung der Parametereinflüsse
- Fitting von Verteilungsfunktionen pro Ergebnisgröße, Sigma Werte, Überschreitungswahrscheinlichkeiten
- Traffic Light Plot zur Überprüfung der Überschreitung von Grenzwerten kritischer Antwortgrößen



Analyse der Streuung der Antwortgrößen innerhalb einer varianzbasierten Robustheitsanalyse: Der Traffic Light Plot zeigt die Antwortstreuung im Vergleich zu vorgegebenen Fehlergrenzen. Mit Hilfe des geschätzten Mittelwerts und der Varianz können die Sicherheitsabstände kontrolliert werden. Darüber hinaus liefern Korrelationsanalysen zusätzlichen Informationen über die Ursachen der Streuung.



ZUVERLÄSSIGKEITSANALYSE

Die Zuverlässigkeitsanalyse in optiSlang stellt leistungsfähige numerische Algorithmen für die Bestimmung kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeiten zur Verfügung. Für eine Robustheitsbewertung oder Robust Design Optimization kann somit der finale Nachweis von kleinen Ausfallwahrscheinlichkeiten erfolgen.

Praktische Anwendung

Wenn Designs hohe Sicherheits- oder Qualitätsanforderungen mit niedrigen Ausfallwahrscheinlichkeiten von weniger als 1 von 1000 erfüllen müssen, sollten diese kleinen Wahrscheinlichkeiten mit einer Zuverlässigkeitsanalyse abgesichert werden. Eine solche Analyse berechnet die Wahrscheinlichkeit von Grenzwertüberschreitungen durch Verwendung von geeigneten Algorithmen. Häufig wird dabei von einer Robustheitsbewertung zur Schätzung von kleinen Ausfallwahrscheinlichkeiten unter Verwendung von Standardabweichungen oder gefitteten Verteilungen im Histogramm ausgegangen. Somit können seltene Grenzüberschreitungen besser quantifiziert und der finale Nachweis kleiner Wahrscheinlichkeiten abgesichert werden.

Best Practice

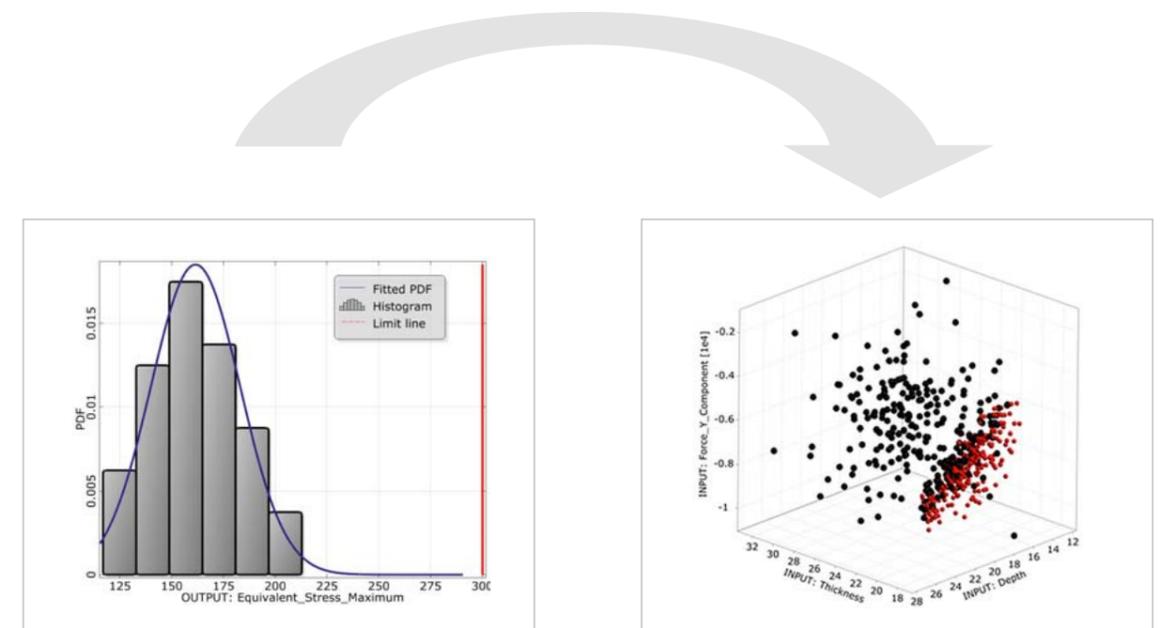
- Robustheitsbewertung zur Schätzung von Überschreitungswahrscheinlichkeiten und zur Identifikation der wichtigen Zufallsvariablen als Grundlage zur Auswahl geeigneter Verfahren der Zuverlässigkeitsanalyse
- Definition einer oder mehrerer Versagensmechanismen mittels Grenzzustandsfunktionen
- Empfehlung der Absicherung kleiner Wahrscheinlichkeiten mit zwei alternativen Algorithmen der Zuverlässigkeitsanalyse

Methoden

- First Order Reliability Method (FORM) und Importance Sampling (ISPUD) bei kontinuierlich differenzierbaren Grenzzustandsfunktionen
- Directional Sampling und Adaptive Sampling (AS) bei wenigen Zufallsvariablen, multiplen Versagensmechanismen und kleiner Ausfallwahrscheinlichkeit
- Adaptive Response Surface Methoden (ARSM) als effizienteste Strategie für weniger als 15 wichtige Zufallsvariablen

Ergebnisauswertung & Visualisierung

- Histogramme
- 2D/3D Anthill Plots
- History Plots
- Überschreitungswahrscheinlichkeiten



Die Zuverlässigkeitsanalyse als finaler Nachweis der Ergebnisse einer varianz-basierten Robustheitsbewertung: Die Identifikation und genauere Integration der Überschreitung von Grenzzuständen durch Directional Sampling ermöglicht eine qualifizierte Zuverlässigkeitsbewertung, die unabhängig von der Verteilungsart der Eingabe- und Ausgabegrößen ist.



ROBUST DESIGN OPTIMIERUNG (RDO)

RDO kombiniert Methoden der Designoptimierung mit einer Robustheitsbewertung. Es ermöglicht eine Produktverbesserung mit der entsprechenden Quantifizierung und Absicherung von Qualitätsmerkmalen. optiSlang bietet Techniken für varianz- und zuverlässigkeitsbasierte RDO in Übereinstimmung mit der Taguchi-Methode oder dem Design For Six Sigma (DFSS).

Praktische Anwendung

Durch Qualitätskontrollen werden Kosten für Nacharbeit, Ausschuss, Rückrufaktion oder Rechtsverfahren vermieden und die Zufriedenheit der Kunden sichergestellt. RDO-Methoden in der virtuellen Produktentwicklung verwenden Ergebnisse von stochastischen Analysen als Randbedingungen und Zielfunktionen für eine Optimierung der Produktperformance und Robustheitsbewertung.

Best Practice

Praktische Erfahrungen zeigen, dass eine iterative Methode als Start für eine RDO am besten geeignet ist. Bei diesem Verfahren werden Sicherheitsfaktoren im Optimierungsprozess berücksichtigt, die ausreichende Abstände zu kritischen Ergebnissen gewährleisten. In Iteration mit der Optimierung und einer anschließenden Robustheits- oder Zuverlässigkeitsanalyse werden diese Sicherheitsfaktoren bis zum endgültigen Nachweis der Zuverlässigkeit mit folgender Methodik angepasst:

- Definition des Designraumes der Optimierungsvariablen und des Robustheitsraumes aller streuenden Variablen
- Initiale Sensitivitätsanalyse im Designraum und initiale Robustheitsbewertung im Raum streuender Variablen zur Bestimmung von wichtigen Variablen, Optimierungspotentialen, anfänglichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten und Sicherheitsabständen

- Empfehlung von abschließendem Zuverlässigkeitsnachweis für Aufgaben ab Sigma Level 4

Wenn die Sicherheitsabstände im Designraum stark variieren, sollte das Verfahren der simultanen RDO angewendet werden. Hier ermöglichen die Funktionen zum Erstellen von Workflows das Verschachteln einer Robustheits- oder Zuverlässigkeitsanalyse innerhalb eines Optimierungsalgorithmus.

Methoden

Iterative und simultane Vorgehensweisen für:

- Varianzbasierte RDO - Aufgaben mit niedrigem Sigma Level ($\leq 2-3\sigma$)
- Zuverlässigkeitsbasiertes RDO - Aufgaben mit hohem Sigma Level ($\geq 3\sigma$)

Ergebnisauswertung & Visualisierung

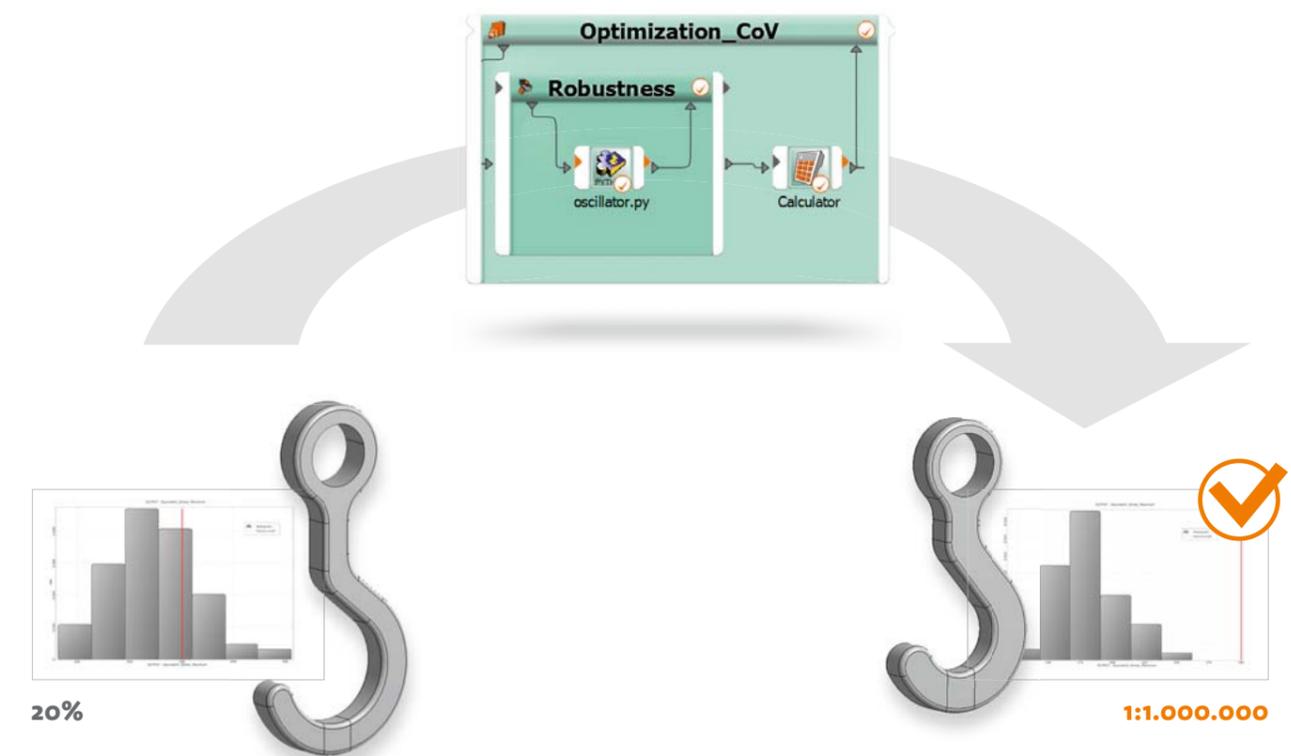
- Interaktives Postprocessing angepasst an den Optimierungsalgorithmus
- Schnelle Auswertung der Optimierungsergebnisse
- Histogramme über die Streuung von Ergebniswerten
- Verteilungsanpassung, Sigma Werte, Ausfallwahrscheinlichkeit
- Traffic Light Plot zur Überprüfung der Grenzwertverletzung kritischer Antwortgrößen

1 Optimierung

- ✓ NLPQL
- ✓ ARSM
- ✓ Simplex
- ✓ EA
- ✓ PSO

2 Robustheitsbewertung

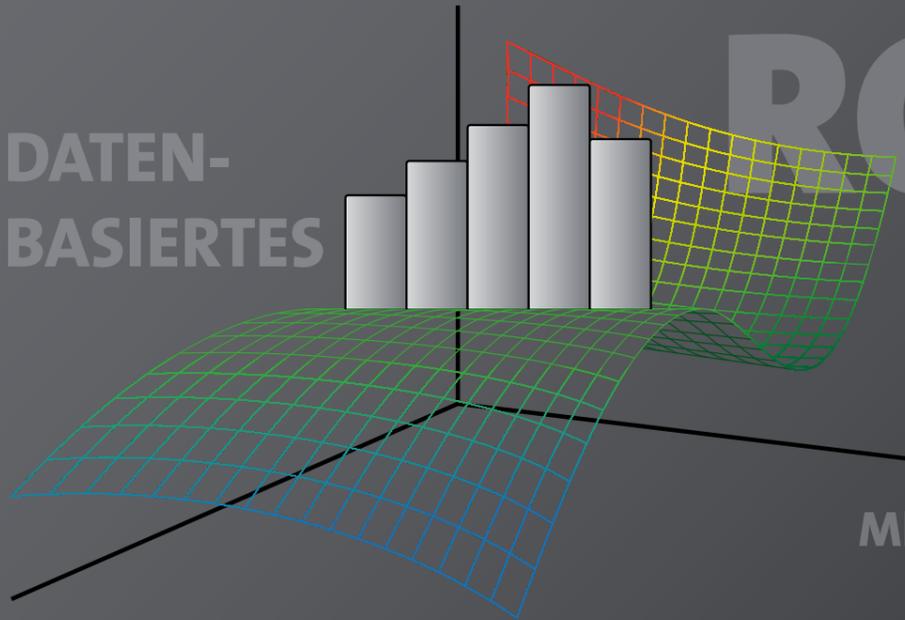
Kombination von leistungsstarken Algorithmen zur Optimierung und Robustheit für effizientes RDO



Simultane Robust Design Optimierung eines Stahlhakens: Die Fehlerrate wurde von 22% auf weniger als 1: 1.000.000 minimiert.

DATEN-BASIERTES

ROM



MIT MOP & FMOP

ERWEITERTE METAMODELLIERUNG - VON SCALAREN WERTEN ZU FELDMODELLEN IN ZEIT UND RAUM

Mit optiSlang wird der Einfluss skalarer Eingangsvariationen auf die Ausgangsvariation untersucht. Für die Analyse von Feldeingangs- und Ausgangsvariationen wurde Statistics on Structures (SoS) entwickelt.

Durch die Verwendung von Metamodellierung für eine robuste Designoptimierung in der Systemsimulation oder als Softwarelösung mit dem Ziel, Produkte optimal zu betreiben und zu warten, bedarf es einer erweiterten Analyse von Antwortgrößen in Zeit oder Raum. Mehrere skalare Metamodelle für diskrete Zeit- und Raumpunkte sind jedoch oft nicht erfolgreich anwendbar, da bestehende Korrelationen zwischen einzelnen Zeit- und Raumpunkten nicht berücksichtigt werden. Um die Korrelationsanalyse auf Feldvariablen zu erweitern, entwickelte Dynardo die Software Statistics on Structures (SoS). SoS stellt Modelle zur automatischen Identifizierung von Beziehungen in Zeit oder Raum zur Verfügung.

SoS ist speziell für die automatische Identifikation und Analyse von Datenbeziehungen zwischen einzelnen Zeitpunkten und Räumen konzipiert. Die Kopplung von optiSlang und SoS erweitert die Möglichkeiten der Korrelationsanalyse und Metamodellierung von skalaren Werten zu Eingangs- und Ausgabevariablen in Zeit und Raum.

Dekomposition und Analyse von Variationsmustern mit SoS

SoS analysiert Abweichungen von einem bestimmten DoE oder von Messungen und identifiziert automatisch die dominanten Variationsmuster einschließlich ihrer „Streuungs-

formen“ und Amplituden. Somit werden die Variationen in Zeit oder Raum aufgeschlüsselt und ihre Korrelation mit anderen Skalar- oder Feldvariablen erklärbar. Eine erfolgreiche Analyse beinhaltet die Dekomposition von in Zeit oder Frequenz verteilten Antwortgrößen (1D-Signale, z. B. Last-Verschiebungskurven) sowie Antwortgrößen auf 2D-Gittern (z. B. Oberflächenspannung) oder im 3D-Raum (z. B. 3D-Temperaturverteilung). Ähnlich wie Modalformen werden dabei die Variationsmuster nach ihrer Wichtigkeit eingestuft.

Neben der Anwendung für Korrelationsanalysen, stellen die automatisch identifizierten Variationsmuster Parametrisierungen nahezu beliebiger Eingangsdaten dar und



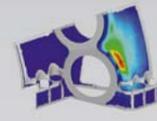
Standardabweichung der Antwortvariation von Dicken nach der Umformsimulation (links) und der erste Streumodus, der bereits 84% der Gesamtvariation repräsentiert (rechts)



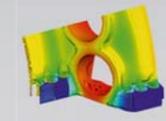
„Sensor“ scans als information über die Eingangsvariation.



Eingangsfeld-Variation



Ausgangsfeld-Variation

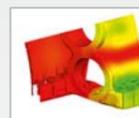
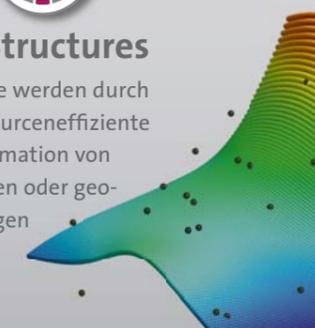


◀ FMOP ▶



Statistics on Structures

Komplexe CAE-Modelle werden durch hochgenaue und ressourceneffiziente FMOPs für die Approximation von Signalen, FEM-Lösungen oder geometrische Abweichungen in Echtzeit ersetzt.



CAE Simulation als Information über die Ausgangsvariation

Workflow für die Generierung eines Field Metamodels of Optimal Prognosis (FMOP) von Eingabe- und Antwortfeldvariation zur Integration in digitale Zwillinge

können zur Erzeugung von streuenden Designvariationen verwendet werden. Zum Beispiel kann basierend auf einigen wenigen realen Messungen automatisch ein statistisches Modell erstellt werden, das Hunderte neuer virtueller Zufallswerte erzeugt, basierend auf den Statistiken der gemessenen Daten. Dies ist besonders hilfreich, wenn durch Laserscans erzeugte geometrische Imperfektionen ausgeglichen werden müssen. Mit SoS können Sie diese Scans direkt auf dem FEM-Netz statistisch analysieren. Dabei wird auch die Parametrisierung der Geometrieabweichungen generiert. Durch das Erzeugen und Simulieren einer Menge möglicher Geometrien wird der Variationenseffekt auf die strukturelle Designperformance quantifiziert.

Datenbasiertes Reduced Order Model (ROM)

ROMs sind für die Systemsimulation von großer Bedeutung und werden auch beim digitalen Zwilling zu einer Schlüsseltechnologie. Um die Wartung und den Betrieb eines Systems optimieren zu können, muss für die genaue Prognose der Kennwerte (z. B. die Lebensdauer von Turbinenschaufeln) eine detaillierte Produktsimulation mit Sensordaten verknüpft werden. Die Anforderungen an die Reaktionszeit von digitalen Zwillingen können nur erfüllt werden, wenn die detaillierten Simulationsmodelle vereinfacht werden. Der klassische „physikbasierte“ Ansatz von ROMs verwendet eine Matrixkonden-

sation, deren Formel noch die physikalischen Einflüsse der Eingangsvariation auf die Antwortgrößen enthält. Diese Art der Reduktion eignet sich jedoch oft nur für lineare Systeme. Ein datenbasiertes ROM ist für die Simulation nichtlinearer Systeme die bessere Alternative. Die Methode verwendet Funktionsmodelle für die Approximation der Antwortflächen, wobei der Einfluss von Eingangsvariationen auf die Antwortvariation in Abhängigkeit zum gegebenen Parametersatz berücksichtigt wird. Für die Felddaten der Eingabe- oder Antwortgrößen verwendet SoS das Field-Metamodel of Optimal Prognosis (FMOP), um Signale, FEM-Lösungen oder geometrische Abweichungen zu approximieren.

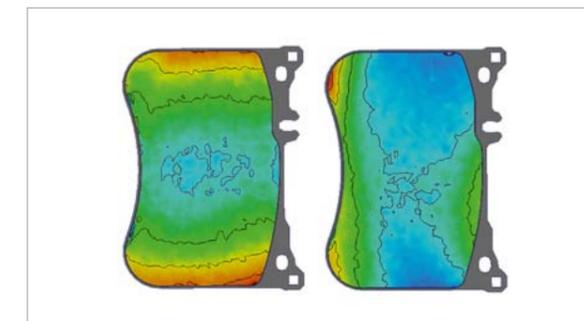
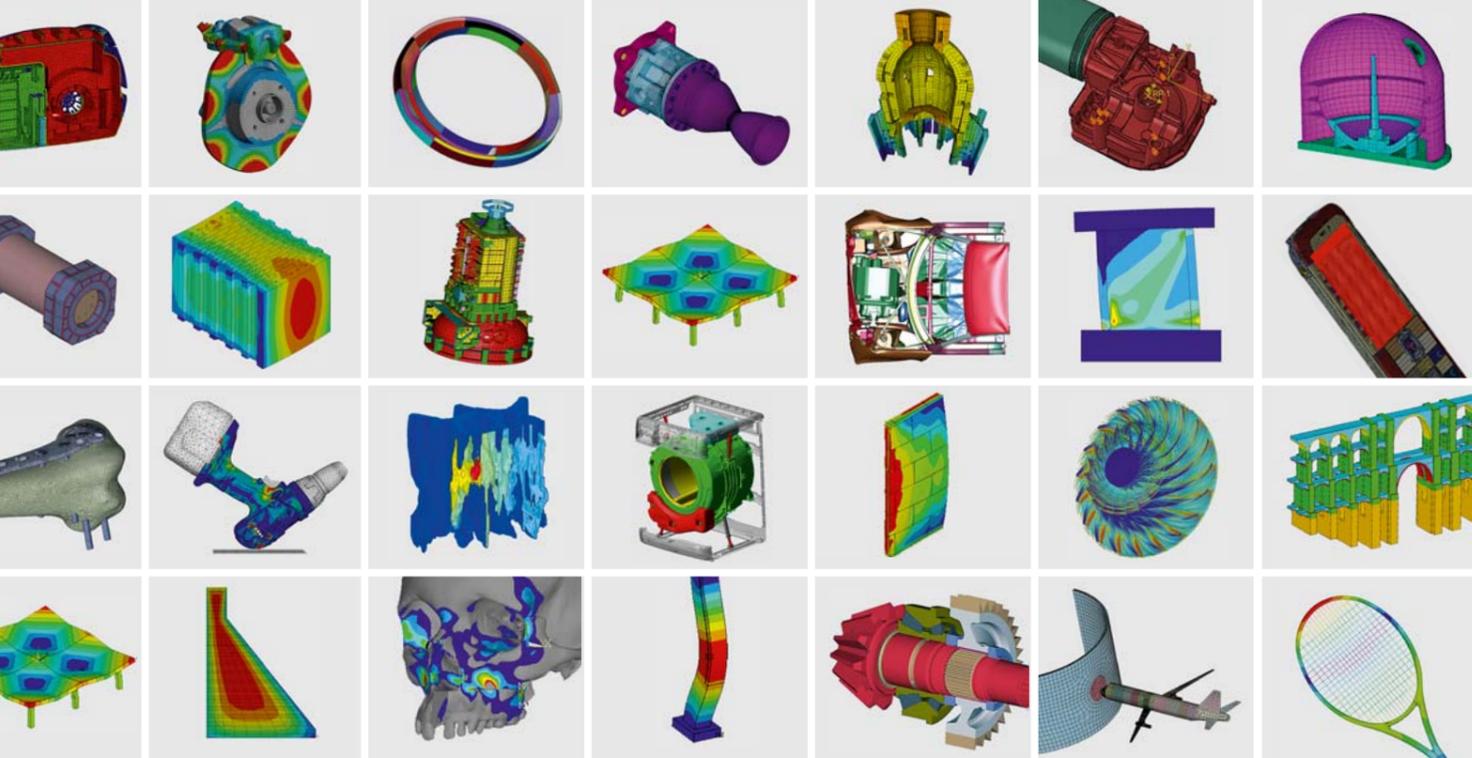


Abbildung des parametrischen Modells der Streuung von gemessenen Bremsbelagoberflächen



ANWENDUNGSBEREICHE UND KUNDENREFERENZEN

Als universelle Softwareplattform für Variantenanalysen basierend auf Designvariationen, Mess- oder Beobachtungspunkten, ist optiSLang vielseitig in verschiedenen Industriefeldern einsetzbar.

Robust Design Optimierung

optiSLang wurde erstmals 2002 in der Automobilindustrie eingesetzt und wird seitdem in zahlreichen Industriefeldern zur Designoptimierung, Robustheitsbewertung auf Basis von CAE-Modellen, Zuverlässigkeitsanalysen sowie zur parametrischen CAD-Modellierung oder Systemsimulation genutzt.

Parameter- und Systemidentifikation

optiSLang ermöglicht die automatische Erkennung sensibler Parameter und quantifiziert die Prognosequalität von Variablenvariationen.

Datamining

optiSLangs Technologie zur Verarbeitung großer Parametermengen und zur Generierung präziser Metamodelle lässt sich auch für Datamining oder maschinelles Lernen als Schlüsseltechnologie einsetzen. Die Methoden können sowohl auf virtuelle Designpunkte als auch auf experimentelle Daten- oder Beobachtungspunkte angewendet werden. Das eröffnet neue Anwendungsfelder, wie z.B. die Generierung von Metamodellen auf Basis von Felddaten für Optimierungen in der Öl- und Gasproduktion.

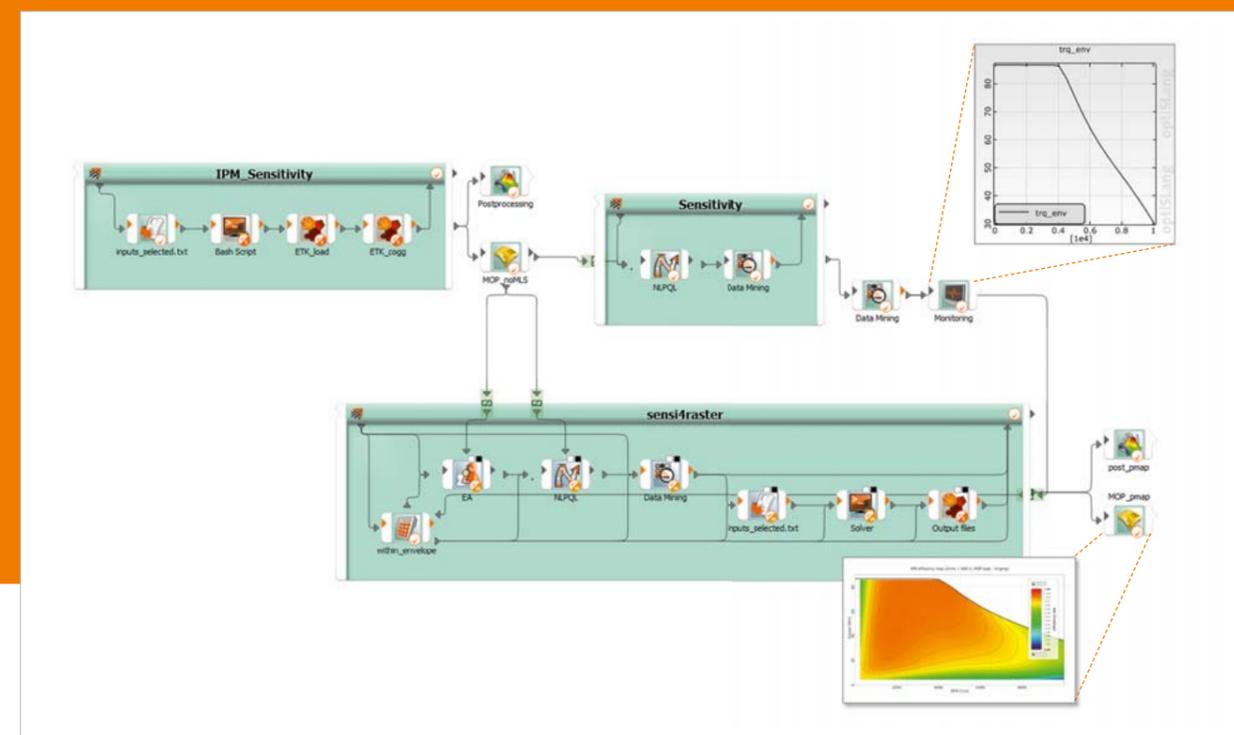
Product Lifecycle Management (PLM)

optiSLang wird aufgrund der flexiblen Möglichkeiten für die CAE-Prozessintegration und -automatisierung sowie für den Workflowaufbau bei der Integration und Standardisierung von RDO in PLM-Systemen eingesetzt.

Metamodellierung

Die Metamodellierungsfunktionalität von optiSLang ermöglicht es Ihnen, nicht nur die optimale Designkonfiguration zu identifizieren, sondern auch das optimale Design innerhalb eines Metamodells zu implementieren. Das schließt auch die Voruntersuchung des zu erwartenden Variationsfensters des Produkts ein, um das Designverhalten unter definierten Bedingungen zu verstehen. So können kundenspezifische Produktoptimierungen hinsichtlich Leistung, Konfiguration oder Wartung durchgeführt werden.

Detaillierte Informationen finden Sie in der Bibliothek auf unserer Website www.dynardo.de. Dort stehen auch praktische Anwendungsbeispiele, chronologisch nach Methodik und industrieller Anwendung geordnet, zum Download zur Verfügung.



Workflow einer Sensitivitätsanalyse mit MOP-Erstellung und Optimierung für einen Elektromotor

BOSCH

Bei der unkomplizierten und flexiblen Zusammenarbeit mit der Dynardo GmbH ist von großem Vorteil, dass die Firma nicht nur Softwareanbieter sondern auch ingenieurtechnischer Dienstleister ist. Die direkte Kommunikation mit den SW-Entwicklern und individuelle Lizenzvereinbarungen sorgen für eine schnelle Anpassung bzw. Erweiterung der Software optiSLang an die jeweiligen technischen Anforderungen der Robert Bosch GmbH.

Roland Schirmmacher | Robert Bosch GmbH

Corporate Sector Research and Advance Engineering
Future Mechanical and Fluid Components (CR/ARF1)

DAIMLER

Zu den Rahmenbedingungen des computergestützten Produkt-Entwicklungsprozesses bei der Daimler AG gehört es, dass parametrische CAE-Modelle für die Berechnung und Optimierung verschiedener funktioneller Anforderungen, wie beispielsweise Fahrkomfort oder Crashverhalten, verwendet werden. Robustheitsbewertungen sind nötig, um ein Fahrzeug zu entwerfen, das so robust wie möglich gegenüber vorhandenen Streuungen der Material- oder Produktionsbedingungen ist. Um die Robustheit innerhalb der virtuellen Modellentwicklung sicherzustellen, begann Daimler bereits 2002 mit

der Implementierung von optiSLang für NVH-Tests im Bereich Fahrkomfort. Seither wurden die Robustheits-Analysen auch auf Crashtests, auf Tests des Geräuscherhaltens von Bremsensystemen sowie auf die Umformsimulation ausgeweitet.



Seit 2010 existiert eine Kooperation zwischen Shell und Dynardo, um einen simulationsbasierten Workflow zur Optimierung der Öl- und Gasproduktion in unkonventionellen Lagerstätten zu entwickeln und erfolgreich umzusetzen. Schlüsselfaktoren für den Erfolg sind die exzellente und zuverlässige Beratung von Dynardo sowie die leistungsstarken Software-Tools des Unternehmens. Der FEM-basierte Simulationsrechner für die hydraulische Simulation sowie die Software optiSLang sind hochentwickelte Workflow-Plattformen, um Simulationsmodelle zu kalibrieren und Metamodelle für die Optimierung von hydraulisch-geomechanischen Stimulationen und den damit verbundenen Produktionskosten sowie dem Risikomanagement zu erstellen. Der Workflow wurde weltweit bei großen unkonventionellen Öl- und Gaslagerstätten von Shell effektiv angewendet.

Taixu Bai | Shell Exploration & Production Company USA
Completion & Technology Effectiveness Team



CONSULTING & SCHULUNGEN

Dynardo bietet Simulationsservice und kundenspezifische Lösungen für Ihre FE-Analyse und CAE-Optimierung in der virtuellen Produktentwicklung. Durch die Kombination von CAE-Beratungsunternehmen und Softwareentwickler ist Dynardo Ihr kompetenter und flexibler Partner für komplexe Aufgaben im CAE-Bereich.

Pilotprojekte

Als passenden Einstieg in die CAE-basierte Robust Design Optimierung für Produktentwicklungsprozesse ist ein Pilotprojekt geeignet, das auf dem Produktwissen des Kunden und der CAE-Erfahrung von Dynardo aufbaut. Dynardo verfügt über Know-how in verschiedenen Industriebereichen und hilft Ihnen bei der Durchführung einer realitätsnahen Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse. Wir unterstützen Sie auch bei der Bewertung von Materialverhalten, der Prognose von Versagenswahrscheinlichkeiten, der Designoptimierung oder der Simulation einer FEM-basierten Grenzlastanalyse.

Kundenspezifische Lösungen

Sie möchten Ihre virtuelle Produktentwicklung wirtschaftlicher gestalten? Dynardo bietet Ihnen maßgeschneiderte Lösungen basierend auf unserer Software optiSLang und Statistics on Structures (SoS). Wir integrieren Ihre interne Software in optiSLang oder implementieren optiSLang als Teil Ihrer SPDM-Lösung (Simulation Process & Data Management). Dabei können vollautomatisierte Workflows zur Optimierung Ihrer Produkte in Bezug auf spezifische Anforderungen umgesetzt werden. Wir helfen Ihnen weiterhin, im Unternehmen einen Standard-Workflow zu etablieren, um Ihre Produkte mit Hilfe von konsistenten und effizienten CAE-Prozessen zu optimieren.

RDO Consulting-Service

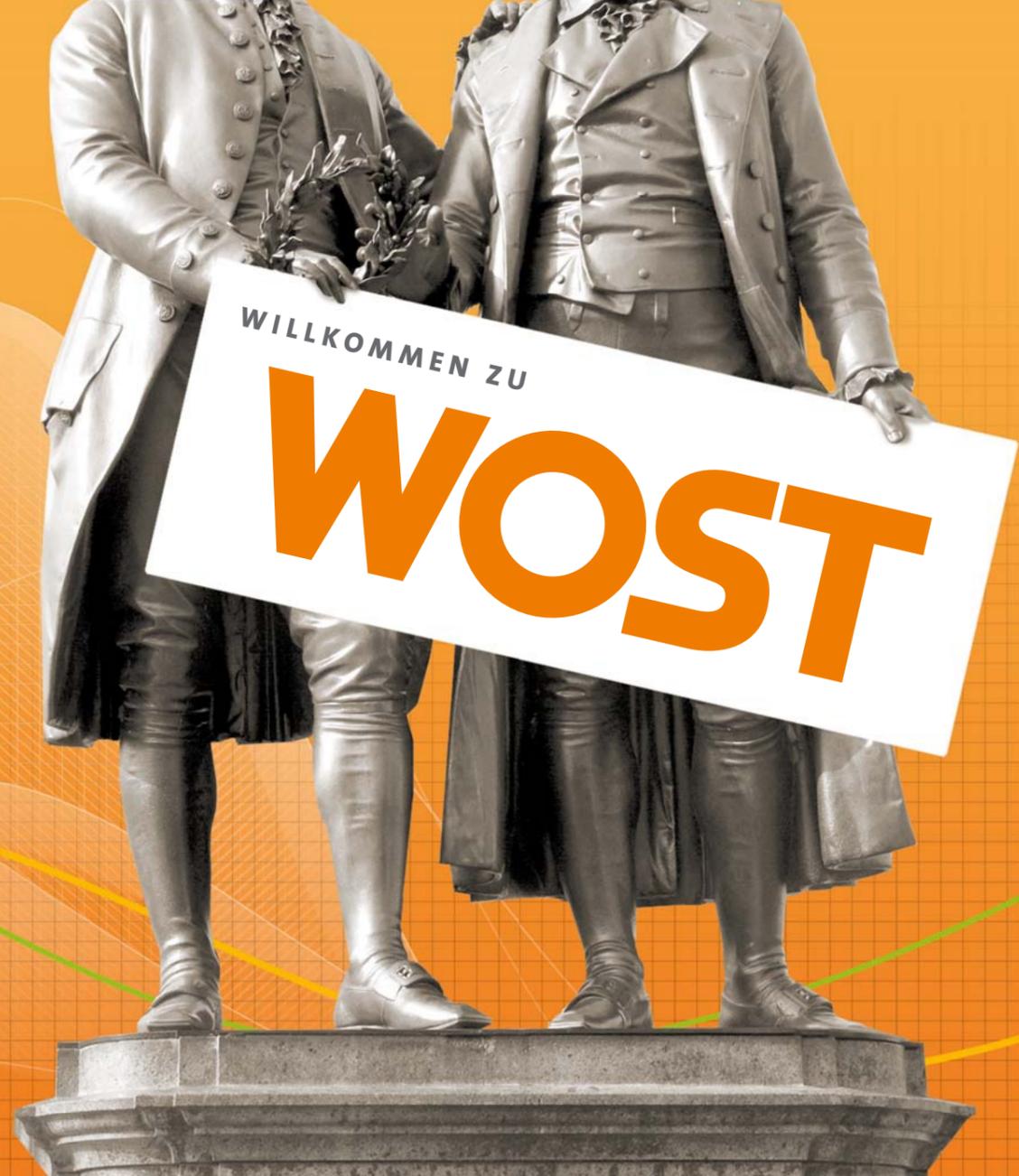
Wenn in Ihrer Firma noch kein CAE-basierter Entwicklungsprozess implementiert wurde, bieten wir die Generierung und Verifikation von virtuellen Produktmodellen sowie die Durchführung einer CAE-basierten Optimierung als Beratungsleistung an. Mit den Methoden der Metamodellierung zeigen wir Ihnen mögliche optimierte Produktkonfigurationen und erläutern, wie sich Eingangsvariationen auf die Designeigenschaften auswirken.

Getting Started und Aufbauschulungen

Für eine kompetente und maßgeschneiderte Einführung in die Theorie und Anwendung einer Sensitivitätsanalyse, multidisziplinärer Optimierung und Robustheitsbewertung bietet Dynardo Einstiegs- oder Aufbauschulungen. Die Angebote eignen sich für alle am Entwicklungsprozess und Produktlebenszyklus beteiligten Ingenieure und Entscheider.

Darüber hinaus ist unsere Internet-Bibliothek die perfekte Quelle für Ihre Recherche zu CAE-Themen und Anwendungen der CAE-basierten RDO. Dort finden Sie praxisnahe Referenzen und aktuelle Fallstudien, geordnet nach den verschiedenen Methodenfeldern und industriellen Anwendungen..

Für detaillierte Informationen, besuchen Sie bitte unsere Website: www.dynardo.de.



WEIMARER OPTIMIERUNGS- UND STOCHASTIKTAGE

Ihre Konferenz für CAE-basierte parametrische Optimierung, stochastische Analyse und Robust Design Optimierung (RDO) in der virtuellen Produktentwicklung, im Bauwesen und in der Geomechanik.

Die jährlichen Weimarer Optimierungs- und Stochastiktag sind eine Informationsplattform für erfolgreiche Anwendungen von CAE-basierter Sensitivitätsanalyse, Optimierung und Robustheitsbewertung. Die Konferenz bietet ein zielgerichtetes Informations- und Fortbildungsangebot in praxisorientierten Seminaren und branchenübergreifenden Vorträgen. Nutzer berichten über ihre Erfahrungen bei der Anwendung parametrischer Optimierung, Dienstleister präsentieren ihre Neuentwicklungen und wissenschaftliche Forschungseinrich-

tungen informieren über den neuesten Stand in der RDO-Methodik. Nutzen Sie die Möglichkeit für einen Wissensaustausch mit anerkannten Experten aus Forschung und Industrie.

Detaillierte Informationen und aktuelle Termine finden Sie unter www.dynardo.de.

Wir würden uns freuen, Sie zu den nächsten Weimarer Optimierungs- und Stochastiktagen begrüßen zu dürfen.

Kontakt & Vertrieb

Deutschland & weltweit

Dynardo GmbH
Steubenstraße 25
99423 Weimar
Tel.: +49 (0)3643 9008-30
Fax.: +49 (0)3643 9008-39
www.dynardo.de
kontakt@dynardo.de

Dynardo Austria GmbH
Office Vienna
Wagenseilgasse 14
1120 Vienna
www.dynardo.at
kontakt@dynardo.at

Dynardo US, Inc.
315 Montgomery Street
9th and 10th Floor
San Francisco, CA 94104
USA
www.dynardo.com
ralf.lampert@dynardo.com

**Weltweiter Vertrieb von
ANSYS optiSLang**
ANSYS, Inc.
Canonsburg
www.ansys.com

**Weltweiter Vertrieb von
optiSLang**
LightTrans GmbH
Jena
www.lighttrans.de

Deutschland
CADFEM GmbH
Graßing b. München
www.cadfem.de

Österreich
CADFEM (Austria) GmbH
Vienna
www.cadfem.at

Schweiz
CADFEM (Suisse) AG
Aadorf
www.cadfem.ch

Tschechien, Slowakei, Ungarn
SVS FEM s.r.o.
Brno-Židenice
www.svsfem.cz

**Schweden, Dänemark, Finnland,
Norwegen**
EDR & Medeso AB
Västerås
www.edrmedeso.com

Großbritannien und Nordirland
CADFEM UK CAE Ltd
Croydon, Surrey
www.cadfemukandireland.com

Irland
CADFEM Ireland Ltd
Dublin
www.cadfemukandireland.com

Türkei
FIGES A.S.
Istanbul
www.figes.com.tr

Nord Afrika
CADFEM Afrique du Nord s.a.r.l.
Sousse
www.cadfem-an.com

Russland
CADFEM CIS
Moscow
www.cadfem-cis.ru

Indien
CADFEM Engineering Services India
Hyderabad
www.cadfem.in

USA
CADFEM Americas, Inc.
Farmington Hills, MI
www.cadfem-americas.com

Ozen Engineering Inc.
Sunnyvale, CA
www.ozeninc.com

USA/Kanada
SimuTech Group Inc.
Rochester, NY
www.simutechgroup.com

Japan
TECOSIM Japan Limited
Saitama
www.tecosim.co.jp

Korea
TaeSung S&E Inc.
Seoul
www.tsne.co.kr

China
PERA-CADFEM Consulting Inc.
Beijing
www.peraglobal.com

Impressum

Herausgeber
Dynardo GmbH
Steubenstraße 25
99423 Weimar
www.dynardo.de
contact@dynardo.de

Redaktion / Koordination
Henning Schwarz
henning.schwarz@dynardo.de

Handelsregister-Nummer
Handelsregister Jena: HRB 111784

Steuernummer
DE 214626029

Geltungsbereich
weltweit

© Bilder
SIEMENS AG; S. 22 (oben) | Christian Meyer, Constantin Beyer; S. 25
Fotolia, Jörg Vollmer (Turbine); S. 4/6/8

Copyright
© Dynardo GmbH. Alle Rechte vorbehalten.
Irrtümer und Änderungen vorbehalten.