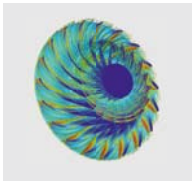


# ROBUSTHEITSBEWERTUNG UND ROBUST DESIGN OPTIMIERUNG VON TURBOMASCHINEN

Effizienzsteigerung durch Sensitivitätsanalyse und Optimierung mit optiSLang® und ANSYS®.



## Optimierungsaufgabe

Der weltweit ständig steigende Energiebedarf und die gleichzeitig rapide abnehmenden Ressourcen haben das Thema Energieeffizienz – und damit die Optimierung – zu

einer der wichtigsten Fragestellungen der Gegenwart gemacht. Bei der Energiewandlung gehören in nahezu jedem Anwendungsfall die Turbomaschinen zu den wichtigsten Teilen der Prozesskette und bieten somit Ansatzpunkte für Optimierungen. Werden diese mit modernen automatisierten Methoden durchgeführt, lässt sich mit vergleichsweise kleinem Aufwand eine große Effizienzsteigerung erreichen.

Eine multidisziplinäre Optimierung, die sowohl FEM- als auch CFD-Simulationen umfasst, ist mit erheblichem numerischem Aufwand verbunden. Bei der Auslegung und beim geometrischen Design gilt es daher, sowohl ein in Hinblick auf die Strömungsmechanik effizientes Design zu finden als auch die durch die Strukturmechanik vorgegebenen Festigkeitsgrenzen einzuhalten. Zur Reduzierung des notwendigen Berechnungsaufwandes ist eine der Optimierung vorgeschaltete Sensitivitätsanalyse empfehlenswert. Diese dient der Identifizierung der einflussreichsten Eingangsgrößen und ermöglicht somit eine Filterung und Reduktion der Parameter in der Optimierung.

## Lösungsmethoden

Der Einsatz stochastischer Sampling-Methoden in Verbindung mit hochwertigen Metamodellen ermöglicht es, den zu untersuchenden Parameterraum zu erfassen, die wichtigsten Einflussgrößen sicher zu identifizieren und mit einem Minimum an notwendigen Solver-Aufrufen das gesuchte Optimum zu finden. Die hierfür notwendigen Algorithmen stellt die von der Dynardo GmbH entwickelte Software optiSLang in einem vollautomatischen Workflow zur Verfügung.

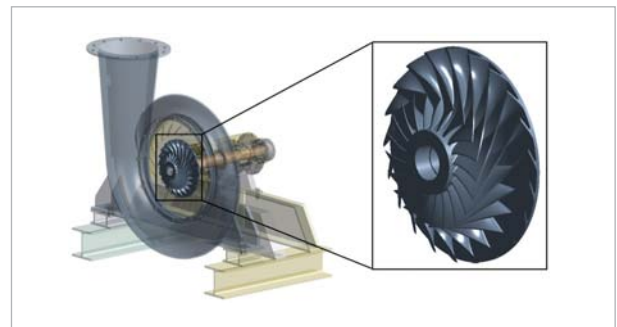
Mit der Ausführung einer Sensitivitätsanalyse identifiziert optiSLang die relevanten Input- und Output-Parameter, quantifiziert die Prognose-Qualität mit Hilfe des **Coefficient of Prognosis (CoP)** und wählt die besten **Metamodels of Optimal Prognosis (MOP)**. Auf der Grundlage dieser Ermittlung wird die Anzahl der Design-Variablen entscheidend

reduziert und eine effiziente Optimierung mit Robustheitsbewertung ermöglicht. Die vorhersagbare Prognosequalität der Parameteridentifikation mit Hilfe von optiSLang's Coefficient of Prognosis (CoP) ist dabei der Schlüssel zu mehr Effizienz. So kann eine „no run too much“ Philosophie umgesetzt werden die Solveraufrufe minimiert. Ausgehend von der zuvor auf den globalen Metamodellen ermittelten Designverbesserungen können dann weitere Optimierungsschritte durchgeführt werden. Hierfür steht eine Vielzahl von Algorithmen zur Verfügung. Diese umfassen unter anderem die klassischen gradienten-basierten Algorithmen, adaptive Antwortflächenverfahren oder die von der Natur inspirierten Optimierungsmethoden wie evolutionäre Strategien oder genetische Algorithmen.

## Anwendungsbeispiel

Die Optimierung eines hochbelasteten Radialkompressorlauffrades wird exemplarisch im Folgenden beschrieben.

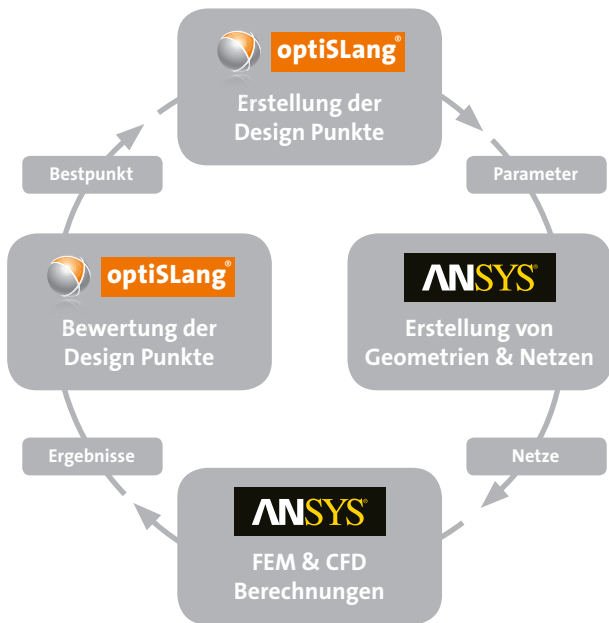
**Projektziel:** Es soll eine Geometrieoptimierung des Lauf-



Einstufiger Turbokompressor

rades in Hinblick auf die strömungsmechanische Effizienz unter Einhaltung der festigkeitsmechanischen Grenzen durchgeführt werden.

**Parametrisierung und Sensitivitätsanalyse:** Abhängig von der Anzahl der Eingangsparameter wird in optiSLang ein „Design of Experiments“ (DOE) mithilfe stochastischer Sampling-Methoden über den gesamten Parameterraum erstellt. Im nächsten Schritt wird für jeden Design-Punkt ein Geometriemodell und daraus je ein FEM- und ein CFD-Netz generiert. Um einen stabilen und voll parametrisierten Prozessablauf sicherzustellen, findet dieser Schritt komplett



Optimierungs-Workflow optiSLang-ANSYS Workbench

in der ANSYS Workbench statt. Durch die Verwendung von stark miteinander verzahnten Software-Komponenten wird eine konsistente Parametrisierung und somit ein reibungsloser Ablauf der Optimierung sichergestellt. Aufbauend auf der im DesignModeler/BladeEditor erstellten Geometrie erfolgt der Netzaufbau für den CFD-Teil in Turbogrid während das FEM-Netz im Vernetzungswerkzeug der Workbench generiert wird. Liegen die Ergebnisse aller Design-Punkte vor, folgt die Bewertung in optiSLang. Mit Hilfe des Coefficient of Prognosis (CoP) und dem Metamodel of Optimal Prognosis (MOP) lassen sich dann mit einer Sensitivitätsanalyse die einflussreichsten Eingangsparameter identifizieren und für eine effiziente Optimierung nutzen.

**Optimierung:** Ausgangspunkt der Optimierung ist ein mit einer konventionellen Auslegungs-Software berechnetes Laufrad, welches bereits gute strömungsmechanische Eigenschaften aufweist. Aufgrund der rein strömungsmechanischen Auslegung liegen die Spannungen im Laufrad allerdings weit außerhalb der vorgegebenen Festigkeitsgrenzen. Ziel der Optimierung ist es daher, die Spannungen auf ein sicheres Niveau abzusenken. Dabei muss gleichzeitig sichergestellt werden, dass die guten strömungsmechanischen Eigenschaften erhalten bleiben. Bevor das zuvor reduzierte Parameterset zur Optimierung eingesetzt wird, bietet optiSLang die Möglichkeit, die bereits für die Sensitivitätsanalyse gerechneten Design-Punkte für einen ersten Optimierungsschritt zu nutzen. Dies geschieht mithilfe des „Metamodel of Optimal Prognosis“ (MOP). Dabei ermittelt optiSLang aus einer Vielzahl von geeigneten Metamodellen und in möglichen Unterräumen wichtiger Parameter das Metamodell, welches die höchste Prognosegenauigkeit, indiziert durch den Coefficient of Prognosis (CoP), der

Variation der Ergebnisgrößen hat. Basierend auf diesem Metamodell lässt sich nun eine erste globale Optimierung durchführen, ohne weitere Solver-Aufrufe zu initiieren. Lediglich das auf dem Metamodel identifizierte Optimum muss anhand einer weiteren numerischen Berechnung validiert werden. Ausgehend von der zuvor auf den globalen Metamodellen ermittelten Designverbesserung können dann weitere Optimierungsschritte durchgeführt werden. Im Rahmen der hier durchgeführten Optimierung kommt ein adaptives Antwortflächenverfahren zum Einsatz. Dabei wird in mehreren Schritten der Parameterraum um das zuvor gefundene erste Optimum adaptiert. In diesen Parameterräumen werden wiederum Design-Punkte berechnet und mithilfe eines Metamodells das neue Optimum bestimmt.

## Kundennutzen

Das Ergebnis der Optimierung zeigt die gewünschten Eigenschaften. Sowohl die dreidimensionalen Plots als auch die Auswertung der strömungs- und festigkeitsmechanischen Kenngrößen belegen deutlich, dass die gesetzten Ziele sehr gut erreicht werden. Durch den Einsatz moderner automatisierter Optimierungsmethoden ist eine Spannungsreduktion bei gleichzeitigem Erhalt der guten strömungsmechanischen Eigenschaften möglich. Hierbei hat sich die Kombination der Stochastik- und Optimierungstools von optiSLang mit den Parametrisierungs- und Preprocessing-Möglichkeiten der ANSYS Workbench als ein mächtiges Werkzeug erwiesen. Die enge Verzahnung der einzelnen Softwarekomponenten miteinander ermöglicht ein hohes Maß an Automation und damit einen zeit- und ressourcensparenden Optimierungsprozess. Mit einem Minimum an benötigten Solver-Aufrufen lässt sich ein komplexes, hochdimensionales Optimierungsproblem effizient lösen.

