

Multidisziplinäre Optimierung mit OPTIMUS unter Berücksichtigung von Crash, NVH und Lebensdauer

LS Dyna Konferenz, Bamberg

20.-21. Oktober 2005

FE-DESIGN GmbH



© Copyright by FE-DESIGN

Agenda

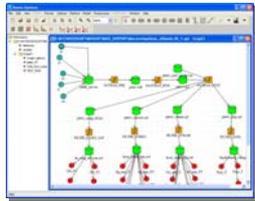
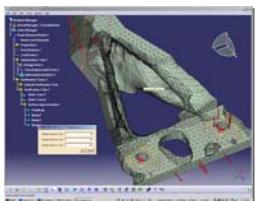
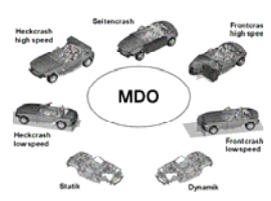
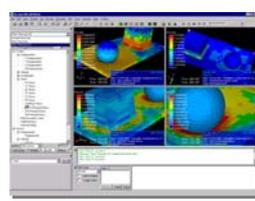
- Die Firma FE-DESIGN
- Multidisziplinäre Optimierung eines Längsträgers
 - ▶ Parametrisierung des Modells
 - ▶ Design Variablen, Nebenbedingungen und Zielfunktion
 - ▶ Auswahl des Optimierungsverfahrens
 - ▶ Ergebnisse und Diskussion
- Das AUDI A6 Karosserie MDO Projekt
- Zusammenfassung



© Copyright by FE-DESIGN

FE-DESIGN

the optimization company

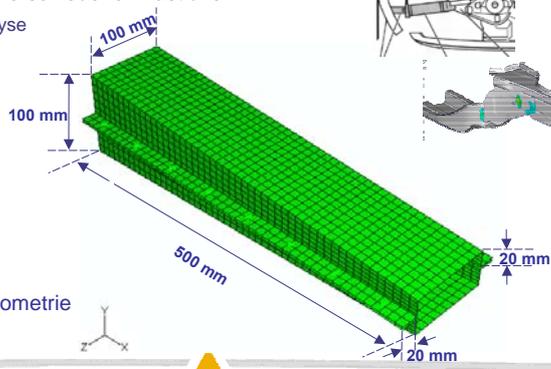
<p>TOSCA</p> 	<p>OPTIMUS</p> 	<p>Engineering</p> 
 <p>CATOPO</p>	 <p>NuTech ES</p>	 <p>GLview Inova/API</p>



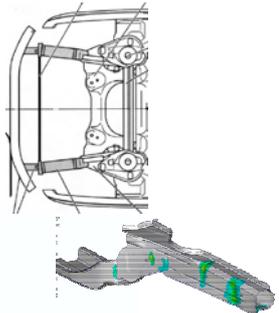
© Copyright by FE-DESIGN

Multidisziplinäre Optimierung eines Längsträgers

- Vereinfachtes Modell eines Fahrzeug-Längsträgers
- Verwendung des gleichen Netzes für alle Lastfälle. Bei realen Projekten werden unterschiedliche Netze verwendet.
- Untersuchungen von verschiedenen Lastfällen:
 - ▶ Statische Analyse
 - ▶ Crash Analyse
 - ▶ NVH

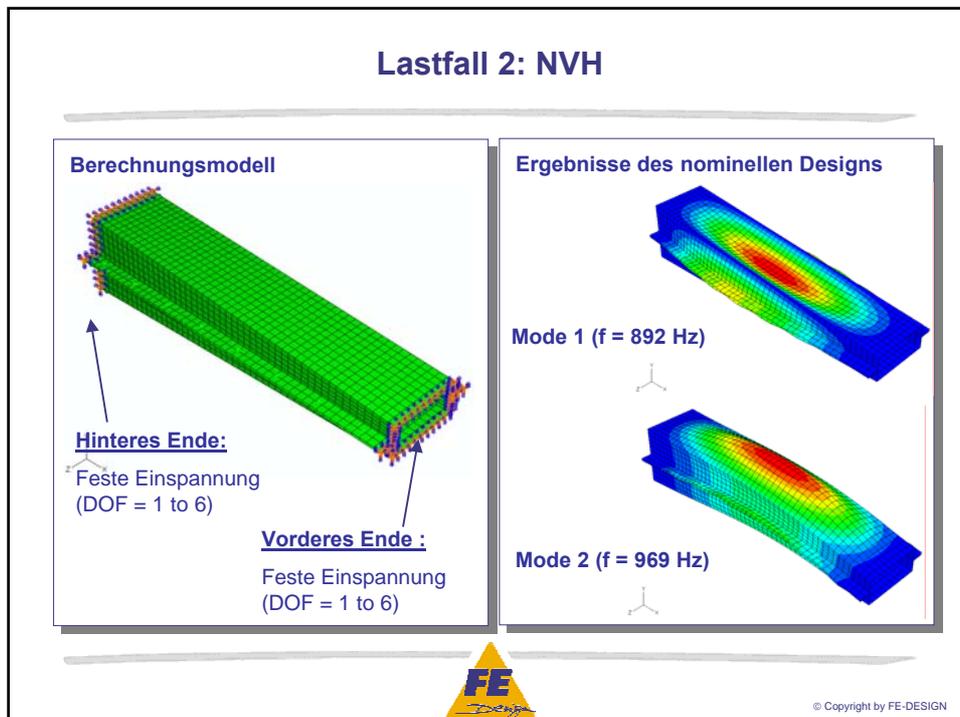
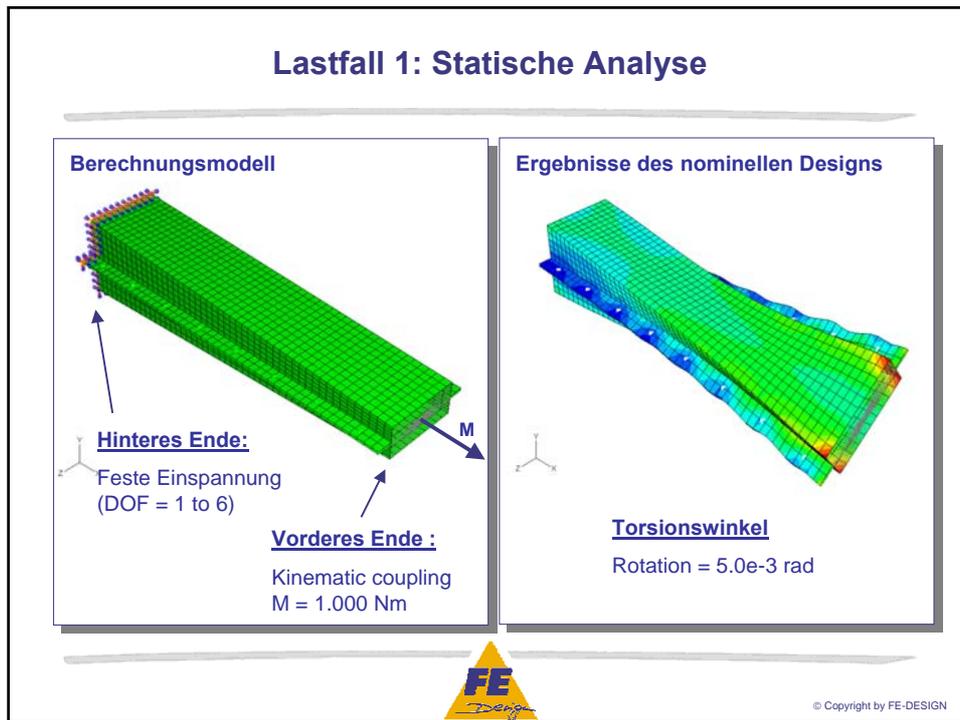


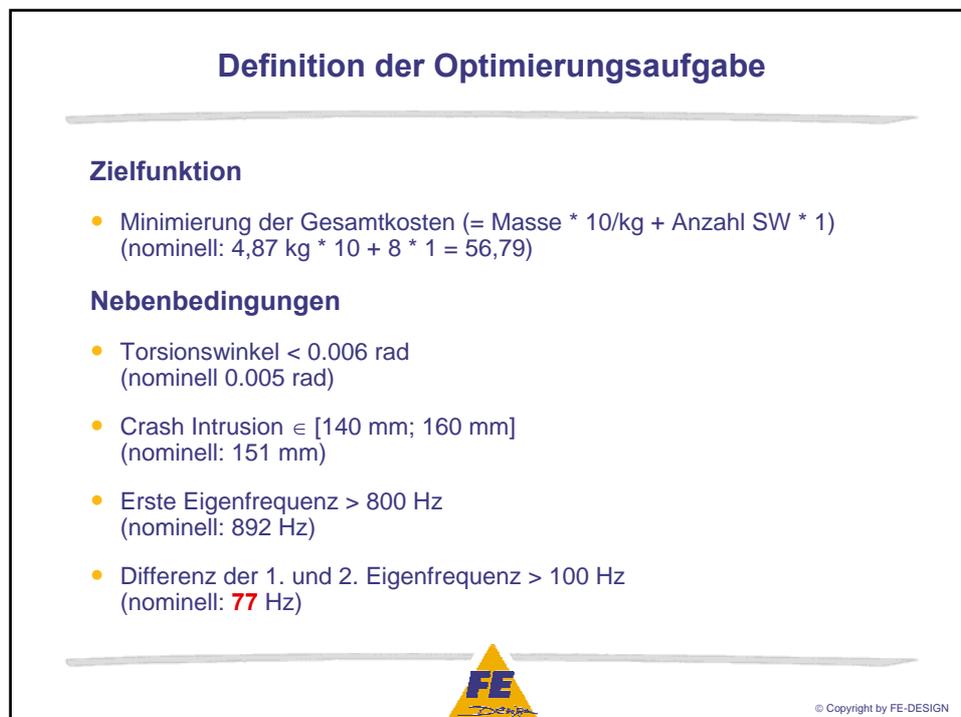
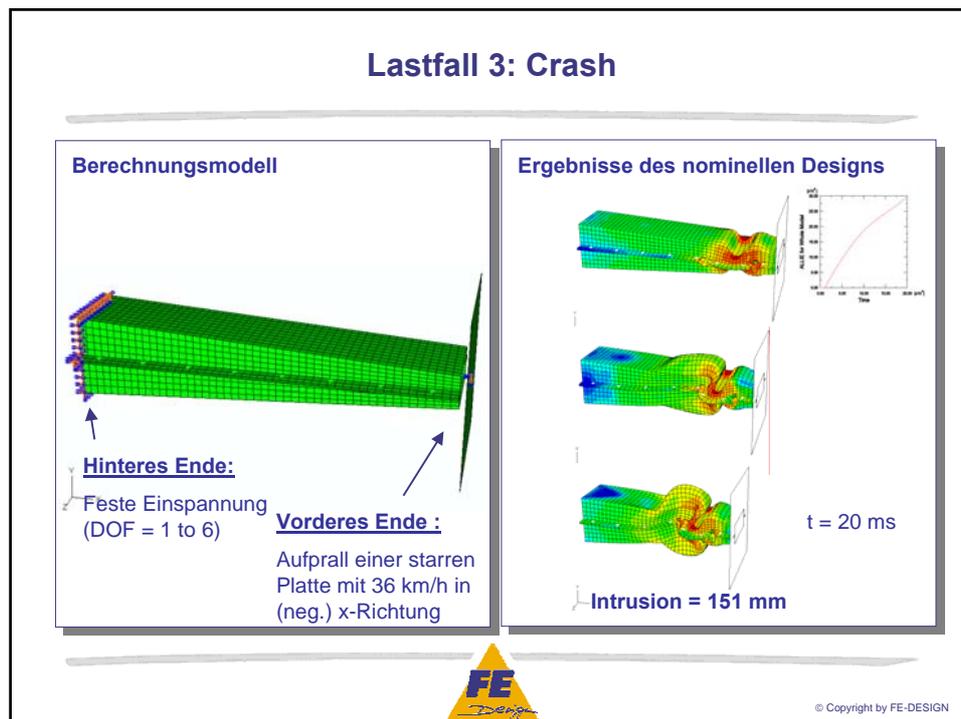
Nominelle Geometrie

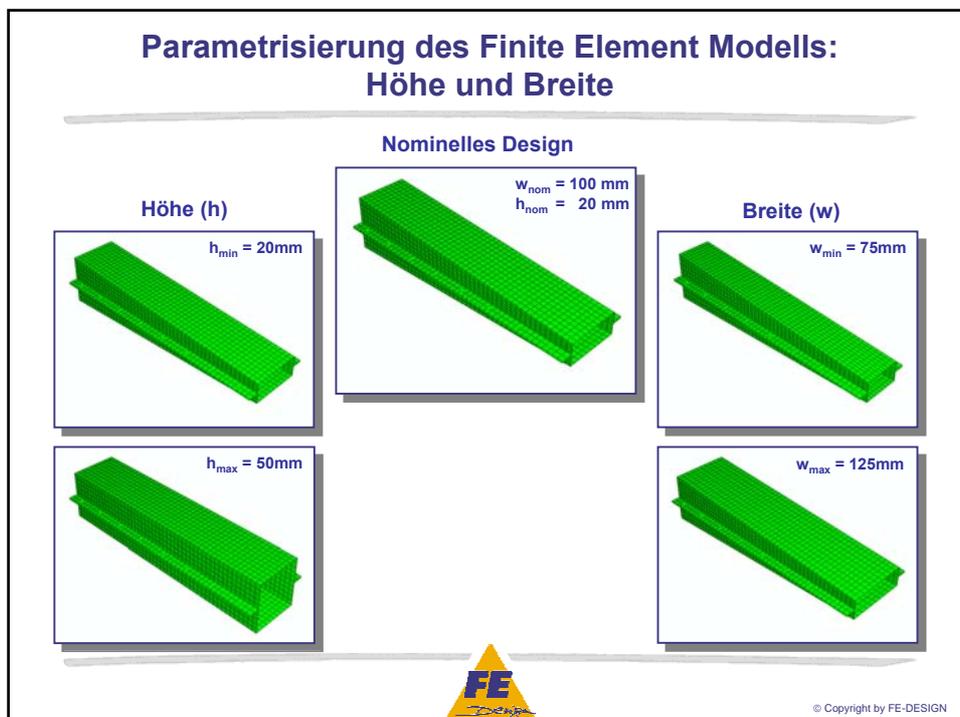
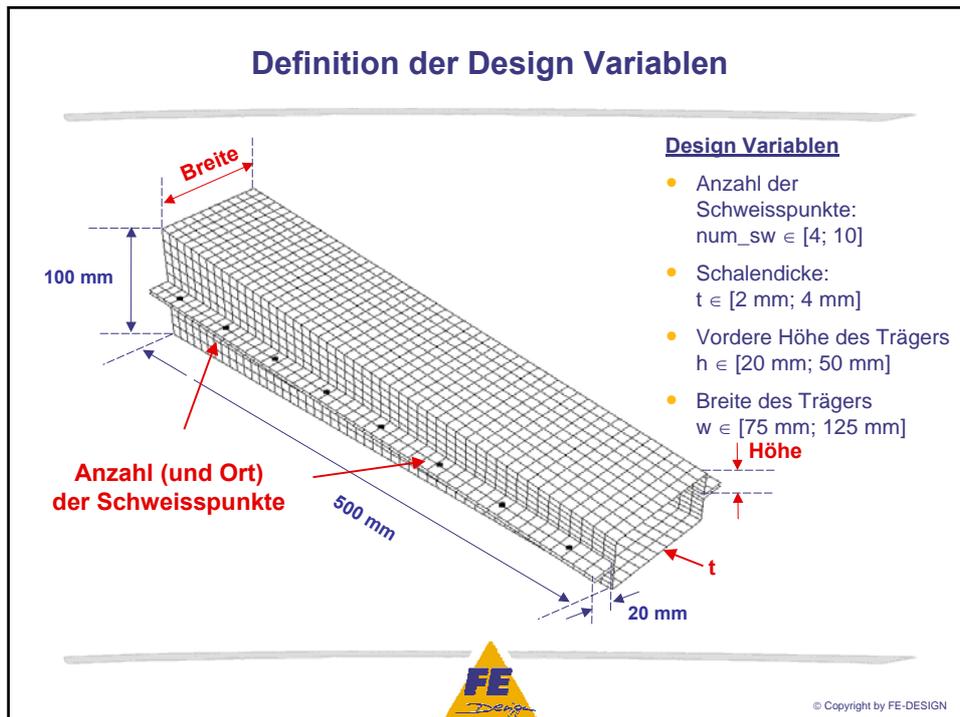


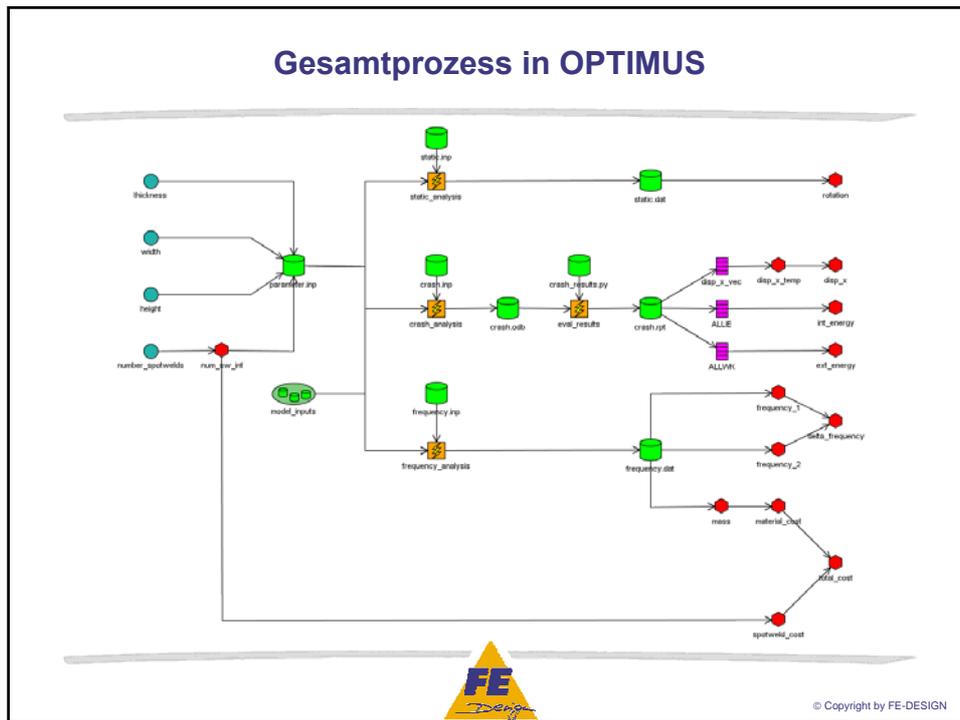


© Copyright by FE-DESIGN









Auswahl des richtigen Optimierungsalgorithmus

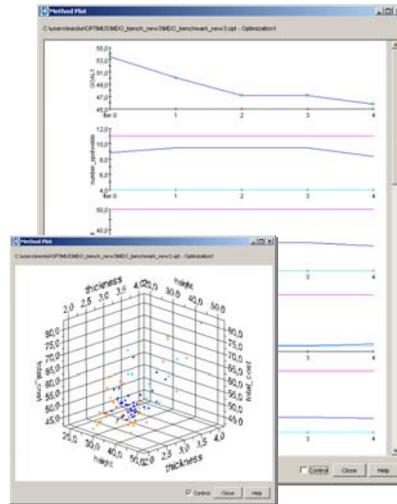
- Gradientenbasierte Optimierung auf der Analyse-Sequenz
 - ▶ Hohes Risiko des Erreichens eines lokalen Minimums
 - ▶ Lösung hängt vom Startwert ab
- Design of Experiments (DOE), RSM + lokale Optimierung auf der RSM
 - ▶ Gute Approximation notwendig
 - ▶ Hohe Anzahl an Funktionsauswertungen (n^2 , n^3) für das Aufgaben der Antwortfläche notwendig.
 - ▶ Risiko des Erreichens eines lokalen Minimums
 - ▶ Sehr schnell, wenn RSM bereits verfügbar
- Globale Optimierungsalgorithmen (Genetische oder Evolutionäre Algorithmen)
 - ▶ Untersuchung des vollständigen Entwurfsraumes
 - ▶ Hohe Wahrscheinlichkeit, das globale Optimum zu finden
 - ▶ Eine große Anzahl an Design Variablen kann verwendet werden.
 - Populationsfaktor 5 bei kleiner Anzahl an Design Variablen
 - Populationsfaktor 1-2 bei großer Anzahl an Design Variablen



© Copyright by FE-DESIGN

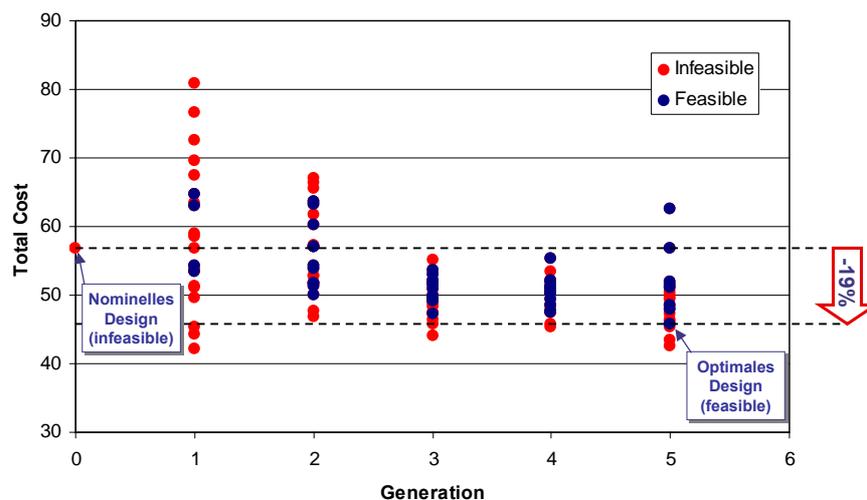
Schritt 1: Globale Optimierung mit selbst-adaptivem evolutionären Algorithmus

- Selbst-adaptiver evolutionärer Algorithmus mit 5 Generationen
- $4 * 5 = 20$ Individuen pro Generation (Populationsfaktor 5), d.h. 20 Funktionsauswertungen pro Generation
- Berechnung von 5 Generationen ergeben insgesamt 100 Funktionsauswertungen.
- Gute Abdeckung des Entwurfsraumes der Design Variablen
- Bei einer größeren Anzahl an Design Variablen ist ein Populationsfaktor von 1-2 ausreichend
- Bereits signifikante Massen- und Kostenreduktion erreicht (-19%).



© Copyright by FE-DESIGN

Verlauf der evolutionären Optimierung



© Copyright by FE-DESIGN

Ergebnisse der globalen Optimierung

	Untere Grenze	Obere Grenze	Nominales Design	Globale Optimierung
Höhe	20.0 mm	50.0 mm	20.0 mm	31.9 mm
Breite	75.0 mm	125.0 mm	100.0 mm	77.0 mm
Dicke	2.0 mm	4.0 mm	3.0 mm	2.44 mm
Anzahl SW	4	10	8	8
Torsionswinkel		6.0E-3	5.08E-3	5.94E-3
Intrusion	140 mm	160 mm	151.32 mm	158.63 mm
Frequenz 1	800 Hz		892 Hz	840 Hz
Frequenz 2			970 Hz	1022 Hz
Delta Frequenz	100 Hz		78 Hz	182 Hz
Gewicht			4.88 kg	3.78 kg
Gesamtkosten			56.79	45.78



© Copyright by FE-DESIGN

Hybride Optimierungsstrategie

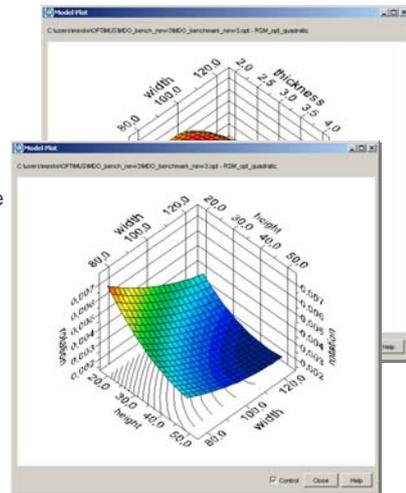
- Beginn der Optimierung mit einem evolutionären Algorithmus
 - ▶ Funktionsauswertungen decken den gesamten Entwurfsraum ab
 - ▶ Signifikanter Fortschritt des Algorithmus in Richtung des globalen Optimums
 - ▶ Terminierung der Optimierung nach einer vertretbaren Anzahl an Generationen
- Verwenden des Wissens aus der Optimierung zur Erstellung eines Approximationsmodells
 - ▶ Erzeugen der Response-Surface aus den Funktionsauswertungen der globalen Optimierung
- Gradienten-basierte Optimierung auf der Response-Surface
 - ▶ Start der Optimierung mit dem Optimum des evolutionären Algorithmus
 - ▶ Schnelle Berechnung auf der Response-Surface – keine weiteren Funktionsauswertungen notwendig
 - ▶ Berücksichtigung von diskreten Werten für Blechdicken möglich
- Verifikation des endgültigen Optimums auf der Analyse Sequenz



© Copyright by FE-DESIGN

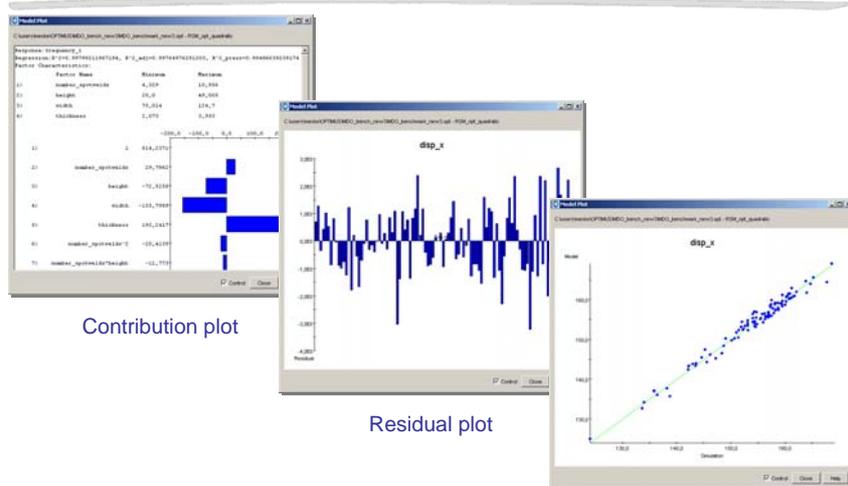
Schritt 2: Approximation der Ergebnisse der globalen Optimierung

- Die durch die globale Optimierung generierten Daten (100 Funktionsauswertungen) decken den Entwurfsraum hinreichend gut ab.
- Eine zusätzliche Verfeinerung in der Nähe des globalen Optimums ergibt sich automatisch aus der Optimierungsstrategie
- Aus den Daten kann eine kontinuierliche Response-Surface mit unterschiedlichen Polynomgraden gebildet werden
- Das Approximationsmodell enthält genügend Informationen, um das lokale Verhalten von Zielfunktion und Nebenbedingung abzubilden.



© Copyright by FE-DESIGN

Überprüfen der Qualität des Approximationsmodells



Contribution plot

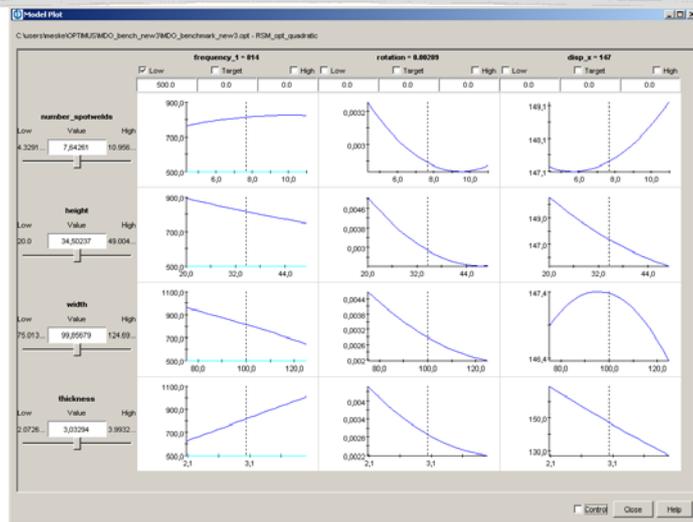
Residual plot

Scatter plot



© Copyright by FE-DESIGN

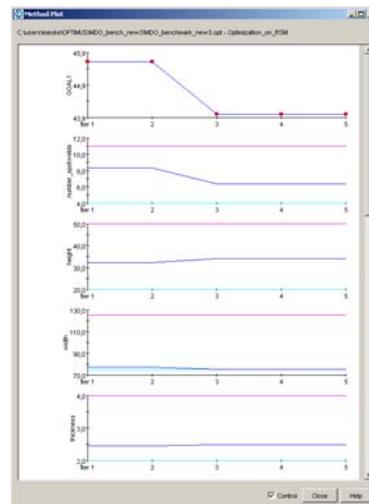
Parameterstudien mit dem interaktiven section plot auf der Response-Surface



© Copyright by FE-DESIGN

Schritt 3: Gradienten-basierte Optimierung auf der Response-Surface

- Verwenden des Approximationsmodells für eine lokale Optimierung.
- Verwenden von etwas engeren Grenzen, um Modellfehlern vorzubeugen
- Schnelle Optimierung möglich ohne dass eine FE-Analyse durchgeführt werden muss
- Optimum der globalen Optimierung kann als Startwert verwendet werden
- Optimierungen mit verschiedenen Startwerten können schnell berechnet werden.



© Copyright by FE-DESIGN

Schritt 4: Verifikation des Response-Surface Optimums auf der Analyse Sequenz

	Globale Optimierung	Lokale Optimierung	Verifikation
Höhe	31.9 mm	34.4 mm	34.4 mm
Breite	77.0 mm	75.0 mm	75.0 mm
Dicke	2.44 mm	2.49 mm	2.49 mm
Anzahl SW	8	6	6
Torsionswinkel < 5.9E-3	5.94E-3	5.99E-3	5.95E-3
Intrusion ∈ [142mm;158mm]	158.63 mm	157.67 mm	158.96 mm
Frequenz 1 > 820 Hz	840 Hz	820 Hz	818 Hz
Frequenz 2	1022 Hz	993 Hz	981 Hz
Delta Frequenz > 102.5 Hz	182 Hz	173 Hz	163 Hz
Gewicht	3.78 kg	3.85 kg	-22 % gesamt !
Gesamtkosten	45.78	- 4% → 44.31	44.46



© Copyright by FE-DESIGN

Zusammenfassung Hybride Optimierung des Längsträgers

- Die globale Optimierung hat eine gute Lösung in der Nähe des globalen Optimums gefunden
 - Die Anzahl an zulässigen Funktionsauswertungen hängt von der IT-Infrastruktur ab.
- Schnelle Erzeugung eines Approximationsmodells
 - Vorhandene Ergebnisse der globalen Optimierung werden zum Erstellen der Response-Surface ohne zusätzliche Kosten verwendet.
 - Die Qualität des Approximationsmodells muss überprüft werden.
- Schnelle lokale Optimierung auf der Response-Surface
 - Das Optimum der globalen Optimierung wird als Startwert verwendet.
- Das endgültige Optimum muss auf der Analyse-Sequenz verifiziert werden.
 - Überprüfung der Qualität der Approximation
- Signifikanter Performancegewinn im Vergleich zu einer auskonvergierten Optimierung
- In diesem Beispiel wurde eine Reduktion der Gesamtkosten um 22% erreicht.



© Copyright by FE-DESIGN

Das AUDI A6 Karosserie MDO Projekt



Virtual Product Creation 2005, 20.-21. Juni 2005, Stuttgart

Michael Kaufmann, Audi AG

Boris Lauber, FE-Design GmbH



© Copyright by FE-DESIGN

Untersuchte Disziplinen

Static
Torsional
Stiffness



Rear Crash
(FMVSS301)



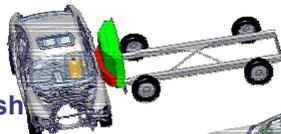
Insurance
Front Crash
(AZT)



Insurance Rear
Crash (AZT)



Side Crash
(IIHS)



Global
Dynamic
Stiffness



Front Crash
(Euro NCAP)



© Copyright by FE-DESIGN

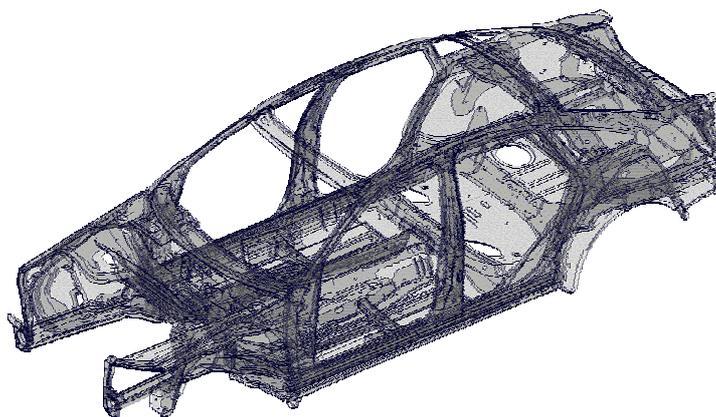
Projekt Definition

- Lastfälle: 5 Crash und 2 NVH
- Ziel: Gewichtsreduktion
- Designvariablen: 96 Blechdicken
- Nebenbedingungen: 28 vektorielle und skalare Größen
- Vorbereitungszeit: ca. 1 Woche
- Laufzeit: ca. 2 Wochen (ohne Interaktionsmöglichkeit)
- Ressourcen: ca. 800 CPU's



© Copyright by FE-DESIGN

Untersuchte Bauteile



96 Bleche: linke und rechte Seite werden gekoppelt betrachtet

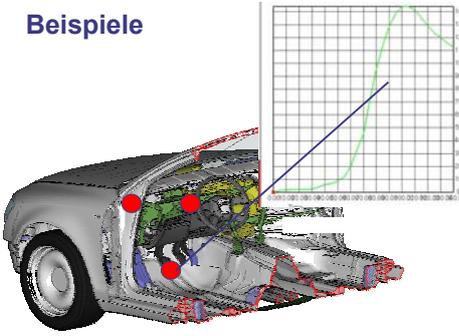


© Copyright by FE-DESIGN

Nebenbedingungen

28 skalare Größen werden für die Beurteilung der Designs ausgewertet

Beispiele



Max. Intrusion an 3 Positionen



Max. innere Energie bei bestimmten Bauteilen



Dynamische Torsionssteifigkeit inklusive Modetracking

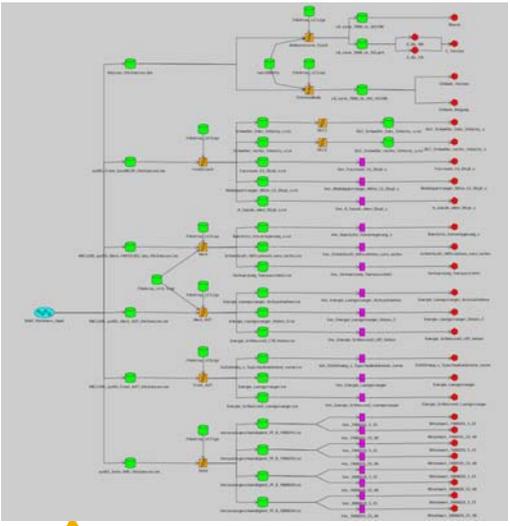
Diese 28 Nebenbedingungen repräsentieren nur eine Teilmenge der notwendigen Daten, um ein Design zu beurteilen!



© Copyright by FE-DESIGN

Optimierungsprozess

- Modellerstellung, Lösen und Aufbereitung der Simulationsergebnisse
- Selbst-adaptiver evolutionärer Algorithmus
- 5 Generationen, mit je 100 Individuen
- Insgesamt 3500 Simulationen
- Verteilte und parallele Berechnung auf 800 CPUs





© Copyright by FE-DESIGN

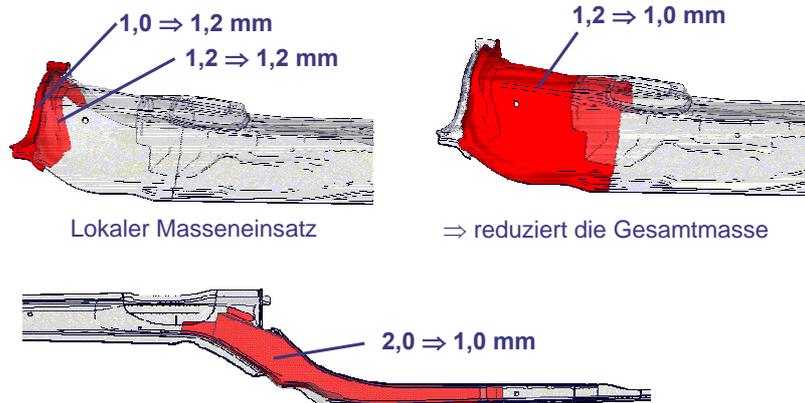
Ergebnisse

- Ein robuster und stabiler Prozess ohne Interaktionsmöglichkeit wurde sichergestellt.
- Eine nahezu perfekte Cluster Auslastung wurde erreicht.
- Die Ergebnisse konnten durch das Postprocessing einfach visualisiert werden.
- Alle 28 Nebenbedingungen wurden eingehalten.
- Aufbau eines Approximationsmodells aus den berechneten Daten ergab eine weitere Verbesserung des Optimums.
- Eine Gewichtsreduktion von ca. 13,5 kg konnte erreicht werden.
- Über das Approximationsmodells wurde ein besseres Design-Verständnis der komplexen Interaktionen erzielt.



© Copyright by FE-DESIGN

Beispiele



Der maßgebliche Lastfall für dieses Bauteil (durability) wurde nicht berücksichtigt!



© Copyright by FE-DESIGN

Zusammenfassung AUDI A6 Karosserie MDO Projekt



- **FE-DESIGN und NOESIS perform highly successful optimization at Audi**
 - ▶ Full Vehicle Multi-Disciplinary optimization (MDO)
 - ▶ Simultaneous static, NVH, and multiple crash cases
- **Powerful response to great challenges in delivering**
 - ▶ Complex process integrated in days
 - massive size of FE models
 - dozens of design parameters
 - ▶ Full parallelization of the optimization
 - ▶ Short throughput time to completion (<15 days)
- **Excellent results of the computation**
 - ▶ Hundreds of clustered processors
 - ▶ Hundreds of I/O files at each process step
 - ▶ With NO user interaction required & possible
 - ▶ Resulted in significant weight reduction

Presented at Virtual Product Creation 2005, 20.-21. Juni 2005, Stuttgart
Paper available for download at www.fe-design.de.



© Copyright by FE-DESIGN

FE-DESIGN
the optimization company



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



© Copyright by FE-DESIGN