

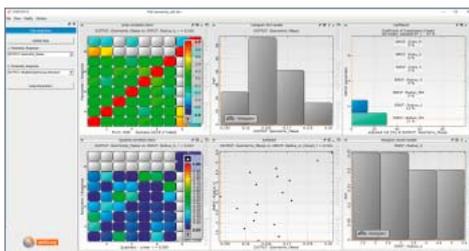


## Fahrzeugbau

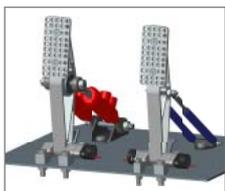
# PARAMETEROPTIMIERUNG DER GEOMETRIE EINES BREMSPEDALS



Ausgangssituation vor der Optimierung und Simulationsaufbau in Ansys Workbench



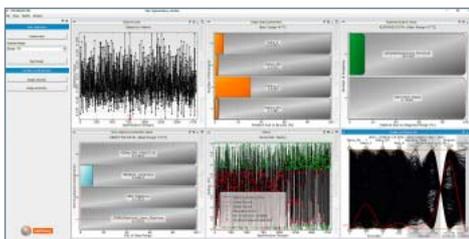
Bestimmung der relevanten Parameter mit DoE



Pedalerie von „Daisy“ (eR15/16)



Bremspedal nach der Optimierung



Optimierung - Bestes Design #773

### Ziel der Optimierung

Da wir in der letzten Saison bei der Formula Student Electric in Hockenheim ein Problem mit dem Bremspedal hatten, musste wir kurzerhand ein Provisorium bauen. Um dieses Problem zukünftig auszuschließen, wurde ein neues Pedal konstruiert. Um die Kosten klein zu halten, achteten wir explizit auf die Fertigung mit einer 3-Achs-Fräse. Die Ausgangsgeometrie war bereits sehr gut, bot sich hier aber ideal für eine Parameteroptimierung an. Als Zielsetzung stand natürlich die Gewichtsreduktion im Vordergrund, aber auch die Spannung sollte unterhalb von 150 MPa liegen.

### Parameteridentifikation

Die Sensitivitätsanalyse bzw. das DoE zeigten schnell, dass viele Parameter keinen oder nur einen sehr kleinen Einfluss hatten. Diese wurden in der weiteren Optimierung durch die Standardstellungen vernachlässigt.

### Best Design

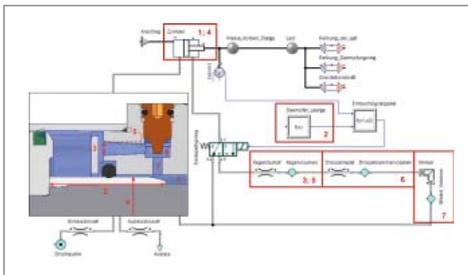
Über 1750 Designs wurden gerechnet, um das Bestmögliche zu finden. Das Design #773 war hierbei jenes mit der geringsten Masse. Zugleich lag die zu erwartende Vergleichsspannung (von Mises) bei ca. 135 MPa. Die Parameter des Designs #773 wurden in der Geometrie übernommen und gerundet, um die Fertigungskosten nicht weiter in die Höhe zu treiben. Das finale Design haben wir im Anschluss nochmals simuliert, um die Ergebnisse der Optimierung zu validieren.

### Ergebnis

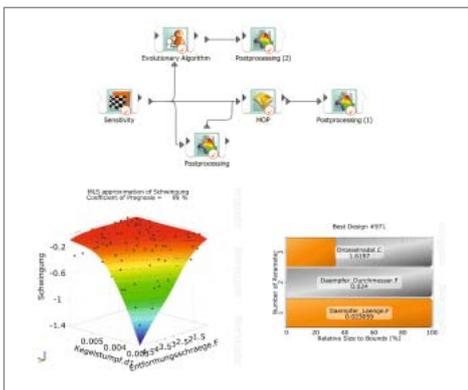
	Ausgangsmodell	Optimiertes Modell
Masse	0,205 kg	0,153 kg
Vergleichsspannung (von Mises)	196,94 MPa	138,4 MPa

**Gewichtsreduktion ca. 25% | Spannungsreduzierung ca. 30%**

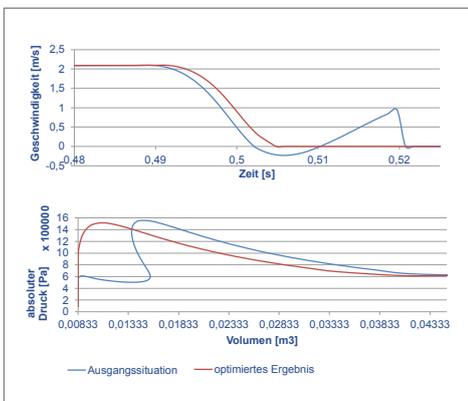
# OPTIMIERUNG DER PNEUMATISCHEN ENDLAGEN- DÄMPFUNG DRUCKLUFTBETRIEBENER ZYLINDER



Simulation der pneumatischen Endlagendämpfung:  
Abbildbare Parameter der Dämpfung



Workflow mit optiSLang / Coefficient of Prognosis (CoP)  
und Metamodel of Optimal Prognosis (MOP) zur  
Analyse und Identifikation der wichtigsten Parameter



Dämpfungsverhalten der optimierten Drossel:  
oben: Geschwindigkeitssignale / unten: p-V-Signale

## Aufgabenstellung

- Unerwünschtes Schwingungsverhalten bei geringen Massen während der pneumatischen Dämpfung soll minimiert werden

## Kalibrierung der Simulation mit optiSLang

- ALHS-Sampling mit 120 Designs
- Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse und des CoP/MOP werden die Verhaltensunterschiede zwischen Realität und Simulation identifiziert und minimiert
- Die Kalibrierung erfolgt anhand von sechs gemessenen Lastfällen (Weg-, Geschwindigkeits- und Drucksignale)
- Das Optimierungskriterium der Kalibrierung ist die Minimierung des euklidischen Abstandes

## Optimierung der Endlagendämpfung mit optiSLang

- Folgenden Qualitätsmerkmale müssen für eine optimale Dämpfung eingehalten werden:
  - Schwingungen
  - Maximale Druckspitze
  - Aufprallenergie
- Durchführung eines ALHS-Sampling mit 120 Designs
- Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse und des CoP/MOP werden die relevanten Parameter identifiziert und ein evolutionärer Algorithmus für die Optimierung gewählt

## Ergebnis der Optimierung

- Eine zu kleine Zugangsbohrung zur Drosselnadel ist die Ursache der Schwingungen während der Dämpfung
- Der Kegelstumpf ist so groß wie möglich zu wählen, damit keine Schwingungen verursacht werden
- Das Totvolumen wurde nicht verändert, da es keinen Einfluss auf das Dämpfungsverhalten hat

# OPTIMIERUNG EINER FÜGESTELLENGESTALTUNG ZUR REDUZIERUNG DER FUGENBEANSPRUCHUNG



Abb 1: Adhäsives Fügen von Schneidsegmenten auf Werkzeuggrundkörper  
(Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Rainer Bez)



Abb 2: Erweiterung der Schneidstoffvielfalt  
(Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Rainer Bez)

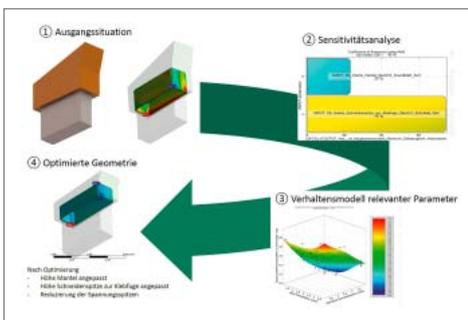


Abb 3: Vorgehensweise zur Optimierung der Fügestelle  
(Quelle: Fraunhofer IPA)

## Ziel

Das Ziel des Projektes ist die Substitution des bisherigen Lötverfahrens durch die Klebetechnologie zur Aufbringung von Schneidsegmenten auf einen Werkzeuggrundkörper (siehe Abb. 1). Durch die Schwächung der Verbindung aufgrund der Substitution des metallischen Lotes durch einen Kunststoff ist die Beanspruchung in der Fügestelle zu reduzieren. Spannungsspitzen oberhalb der Belastbarkeit des Klebstoffes, Schäl- oder Biegebelastungen sind zu vermeiden. Somit müssen neue Geometrien der Fügestelle entwickelt werden.

## Nutzen

Durch die Klebetechnologie erweitert sich die fügbare Schneidstoffvielfalt (siehe Abb. 2) und die Wärmeeinbringung wird reduziert und erfordert so einen geringeren Nachbearbeitungsaufwand. Um die Vorteile gezielt ausnutzen zu können, gelten für die Gestaltung der Fügestelle beim Kleben jedoch andere Grundsätze als beim herkömmlich eingesetzten Stumpfstoß beim Löten.

## Optimierung

Auf Basis parametrisierter Modelle unterschiedlicher Fügestellen-geometrien und eines aufgebrachtten mehrachsigen Belastungsprofils werden relevante Parameter bestimmt und in vorgegebenen Grenzen variiert. Somit ergeben sich neuartige optimierte Geometrien, welche bei gleicher Belastung eine geringere Beanspruchung aufweisen und so den Einsatz von Klebstoffen ermöglichen (siehe Abb. 3). Spannungsspitzen werden reduziert und Biege- und Schälbelastungen weitestgehend verhindert.

# EINFLUSS VON FERTIGUNGSABWEICHUNGEN AUF DIE BETRIEBSFESTIGKEIT

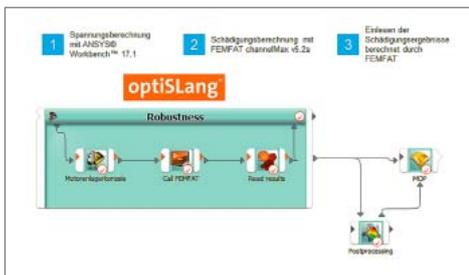


Abb. 1: Prozessaufbau einer Robustheitsbewertung organisiert durch optiSLang®

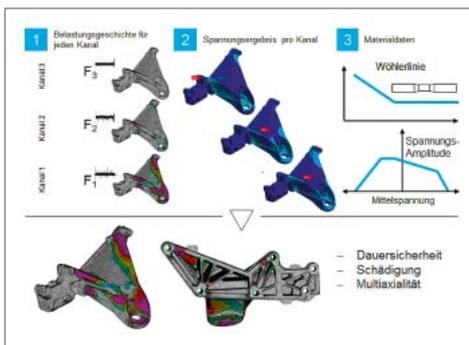


Abb. 2: Eingabeparameter für die Lebensdauerberechnung in FEMFAT® channelMax

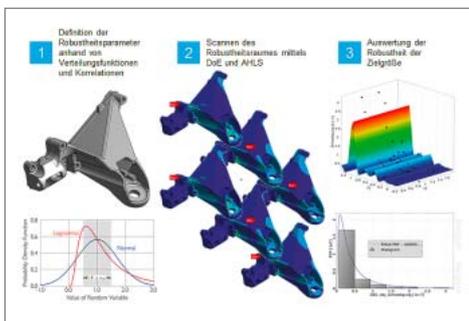


Abb. 3: Ablauf der Robustheitsbewertung mit optiSLang® und Bewertung

## Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Analyse fertigungsbedingter Streuungen auf das Betriebsfestigkeitsergebnis gewinnt in frühen Phasen der Produktentwicklung zunehmend an Bedeutung. Toleranzen können mittels hochauflöser Laserscans erfasst und virtuell über ein statistisch bestimmtes Zufallsfeld modelliert werden. Dies setzt einen von der Geometrie-Parametrisierung über die Spannungsberechnung bis zur Betriebsfestigkeitsanalyse durchgängigen Workflow voraus, wobei die Automatisierung der Programmabläufe und die Software-Schnittstellen für eine korrekte Datenübergabe von entscheidender Wichtigkeit sind. Mit optiSLang® konnte ein Proof of Concept eines FE Berechnungs-Workflows (s. Abb.1) um die Betriebsfestigkeitssoftware FEMFAT® erarbeitet und um die stochastische Auswertung bezüglich der Betriebsfestigkeitsergebnisse erweitert werden.

## FE Analyse und Lebensdaueranalyse

Für die FE Berechnung dient ein aus Aluminium gefertigtes Motorenlager, welches mit ANSYS® Workbench™ 17.1 berechnet wurde. Die einzelnen Lastfälle dienen als Grundlage für die Betriebsfestigkeitsanalyse, welche mit FEMFAT® channelMax, v5.2a (s. Abb.2) durchgeführt wurde. Die maximal auftretende Schädigung im Bauteil war die Zielgröße dieser Bewertung.

## Bewertung mit optiSLang

optiSLang® bietet einen geeigneten Rahmen, um diesen Workflow zu organisieren sowie die notwendigen stochastischen Algorithmen, um die Robustheit dieser Motorenkonsole in Bezug auf dessen Schädigung zu bewerten. (s. Abb.3). Dafür wurde die Geometrie mittels DoE und geeigneter Samplingmethode (ALHS) variiert und die Robustheit auf Basis der Variationen bestimmt.

**FEMFAT** software  
FINITE ELEMENT METHOD PATRIQUE

FEMFAT ist ein umfangreiches Softwaretool, welches schnelle und verlässliche Antworten über die Lebensdauer dynamischer und statisch belasteter Komponenten gibt.

# OPTIMIERUNG DES CFK-QUERLENKERS EINES FORUMLA STUDENT RENNWAGENS



Quelle: Scuderia Mensa HSRM Racing e.V.



Abb 1: Modell eines Querlenkers

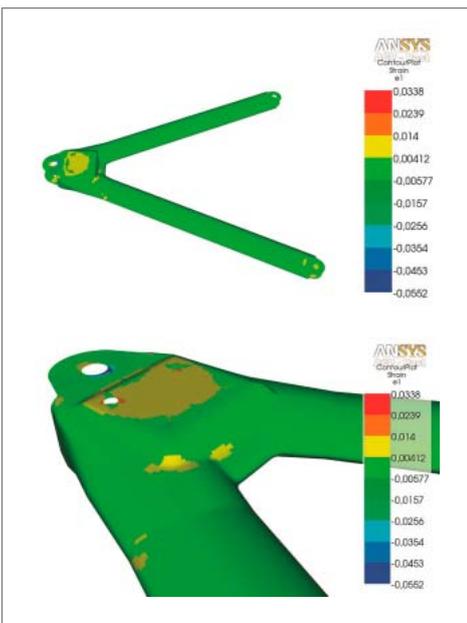


Abb 2: Simulation eines Querlenkers mit ANSYS

## Motivation

Die Formula Student ist ein studentischer Ingenieurswettbewerb, bei dem innerhalb eines Jahres ein Rennwagen konstruiert, gebaut und getestet werden muss. Im Sommer messen sich die Studenten mit ihren Fahrzeugen bei den Events in ganz Europa.

Bei der Konstruktion der Fahrzeuge sind kompromissloser Leichtbau sowie eine lange Testphase wichtige Faktoren. Die Minimierung der Zeit in der Konstruktions- und Auslegungsphase bei gleichzeitiger Annäherung an die optimale, leichteste Lösung ist dabei der Schlüssel zum Erfolg.

## Optimierung am Beispiel der CFK-Querlenker

Um die Querlenker weiter optimieren zu können, soll eine Umstellung von einer Stahl-Schweißkonstruktion auf ein CFK-Schalenmodell erfolgen. Zur Optimierung des Lagenaufbaus wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt und ein Optimierer verwendet. Die Lagenanzahl sowie die Lagenausrichtung je Schicht sind dabei die simulierten Parameter.

Als Auslegungskriterien wird die Steifigkeit und die Dauerfestigkeit nach Dharan definiert. Als Optimierungskriterium dient die Masse der Querlenker, die im direkten Zusammenhang mit der Anzahl der Lagen steht und minimiert werden soll.

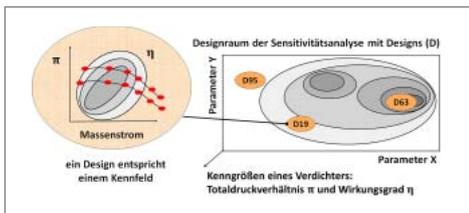
## Ausblick

Bisher wurden Lagenanzahl und Lagenausrichtung vom Optimierer zufällig verändert. Jedoch kann die Anzahl der Solveraufrufe noch verringert werden, indem die Versagensart, z.B. Faserbruch oder Zwischenfaserbruch, ausgewertet wird und die Parameter entsprechend verändert werden.

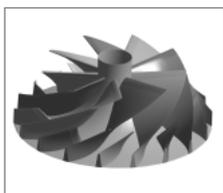
Nach den Querlenkern, sollen auch andere CFK-Bauteile wie das Monocoque optimiert werden. Da hier die Sandwichbauweise Anwendung findet, kommen weitere Parameter für das Kernmaterial hinzu.

**Turbomaschinenbau**

# EFFIZIENTE NUMERISCHE KENNFELDANALYSE AM BEISPIEL EINES TURBOVERDICHTERS



Ein Design beinhaltet eine Kennfeld (Vielzahl von Betriebspunkten)



Geometrievariante eines Verdichterrades



Methode der Kennfeldanalyse

## Herausforderung

Im Produktentwicklungsprozess existiert die Tendenz, über Einzelsimulationen von Geometrievarianten (Designs) hinauszugehen und mittels statistikbasierter Methoden Systeme optimal und robust auszuliegen. Bisher werden mit diesen Methoden bei Turboverdichtern wenige statische Betriebspunkte zur Bewertung von Designs genutzt, was den sich verändernden Kennfeldgrenzen nicht gerecht wird. Außerdem spielt die Frage nach der Berechnungszeit in der numerischen Strömungsmechanik (CFD) immer eine wichtige Rolle und wird bei Kennfeldstudien noch dringlicher.

Damit ergeben sich folgende Aufgabenstellungen:

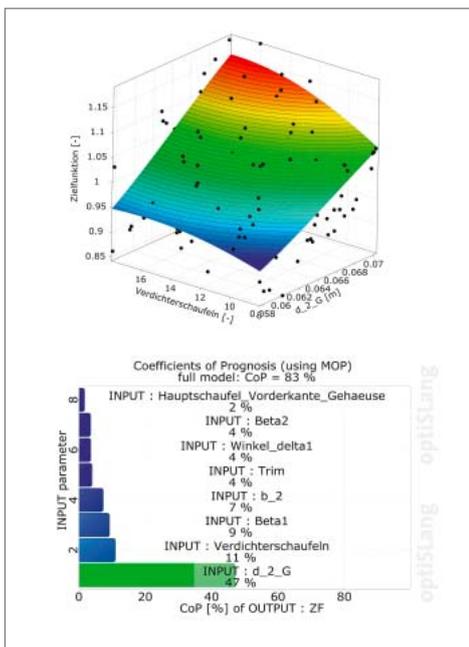
- Wie kann man das Kennfeld flexibel und automatisiert abbilden?
- Wie kann man die Rechenzeit methodisch verringern?

## Umsetzung

Die erarbeitete Methodik der Kennfeldanalyse ermöglicht die automatisierte und zugleich adaptive Untersuchung der relevanten Betriebspunkte im Kennfeld von Verdichtern. Um die Rechenzeit zu begrenzen, wird die Nutzung der Stromfadentheorie zur Vor-evaluierung von Designs untersucht. Beide Ansätze werden innerhalb einer Sensitivitätsanalyse angewendet. So lassen sich über varianz-basierte Verfahren Rückschlüsse auf die Bedeutung einzelner Parameter ziehen.

## Ergebnisse

Die Methode ist mehrfach mit etwa 90% erfolgreich berechneten Designs angewendet worden. Da am Betriebspunkt des höchsten Wirkungsgrades eine geringe quantitative Abweichung zwischen 1D- und 3D-Strömungsberechnungen festgestellt wurde, erlaubt die Stromfadentheorie eine Vorevaluierung von Designs. Im Anwendungsbeispiel ist damit eine Reduktion des numerischen Aufwandes um 48% möglich.



Oben: Antwortfläche der Zielfunktion in Abhängigkeit der Parameter | Unten: Einzelwichtigkeiten (Coefficient of Prognosis-CoP) der Parameter