

PRODUKTENTSTEHUNG IM AUTOMOTIVE BEREICH – WORKFLOWUNTERSTÜTZUNG IN DER VIRTUELLEN PROZESSKETTE

Jochen Zapf, Alexander Troll, Andreas Dörnhöfer, Frank Rieg

Zusammenfassung

Die Integration innovativer, computergestützter Verfahren in der Produktentwicklung kann durch Automatisierung aufwändiger Abläufe und geschickte Verknüpfung von Einzelprozessschritten verbessert werden. Im folgenden Beitrag werden Methoden zur Benutzerunterstützung bei der Anwendung dieser Verfahren am Beispiel der Topologieoptimierung erläutert.

1 Einleitung

Der Einsatz computergestützter Methoden ist im Produktentstehungsprozess von wachsender Bedeutung. Insbesondere im Automobilsektor wird die Produktentwicklung mit virtuellen Verfahren stark vorangetrieben, wobei hier Leichtbaukonzepte immer weiter in den Vordergrund rücken. Ein wichtiges softwaregestütztes Werkzeug des Leichtbaus ist die Topologieoptimierung, das heißt, die Ermittlung der bestmöglichen Bauteilform in Abhängigkeit bestimmter Randbedingungen, wie Belastungsarten und Optimierungsparameter. Der Konstrukteur ist hierbei vor die Aufgabe gestellt, die optimierte und anschließend geglättete Geometrie anhand einer Finite-Elemente-Analyse zu validieren, und anschließend wobei die Rückführung der geglätteten Optimierungsmodelle in eine Validierungsrechnung einen hohen personellen Zeitaufwand nach sich zieht [1].

Derartige Arbeitsabläufe, sowie fehlende Simulationsstrategien verhindern eine genaue Definition von Ablauf und Dauer der Arbeitspakete und verzögern damit den Entwicklungsprozess. Somit ist keine Erstellung eines generischen Workflows möglich, welcher die Grundlage für die effektive Einbindung der Simulationsmethode in das Projektmanagement darstellt. Aus diesen Gründen finden zeit- und arbeitsintensive aber dennoch sehr wirkungsvolle Verfahren, wie die Topologieoptimierung bisher keine breite Anwendung in der Produktentwicklung.

2 Computergestützte Produktentwicklung

2.1 Problemstellung

Durch den verstärkten Einsatz computergestützter Verfahren in der Produktentwicklung sowie den gestiegenen Anspruch des Marktes an die Produkte, werden Prozessketten immer komplexer. Für Zertifizierungen oder nach Vorgaben der Qualitätssicherung müssen neben der eigentlichen Konstruktion des Produktes ebenfalls vermehrt Analyseschritte zur Bauteilabsicherung durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass meist mehrere CAx-Programme in Kombination eingesetzt werden. Durch die Bandbreite der auf dem Markt verfügbaren Programme ist es sehr aufwendig, die geeigneten Werkzeuge zweckgerichtet miteinander zu verknüpfen. Die Folgen sind ungenaue Ergebnisse, erhöhter personeller Zeitaufwand und letztendlich die Unwirtschaftlichkeit der Verfahren.

Daher müssen geeignete Vorgehensmodelle zur Verwendung der Software aufgezeigt werden, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Durch das Herausstellen notwendiger Schritte und dafür benötigte Randbedingungen können ineffiziente Prozessabläufe vermindert oder ganz vermieden werden [2].

2.2 Entwicklung- und Simulationsstrategien – Einflüsse in der Produktentwicklung

Die Möglichkeiten der computergestützten Produktentwicklung können nur dann vollständig genutzt werden, wenn grundlegende Einflüsse im Entwicklungsprozess ausreichend erfasst, einbezogen und, soweit möglich, integriert werden. Die Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, sind einerseits Anforderungen an das zu entwerfende Produkt, also die eingeschlagene Entwicklungsstrategie, und andererseits das Umfeld in dem die Entwicklung stattfindet.

Entwicklungsstrategien setzen sich aus funktionalen und allgemeinen Anforderungen an das Produkt zusammen. Aus dem Anforderungsprofil, das aus Lasten- bzw. Pflichtenheften abgeleitet werden kann lassen sich Entwicklungsschwerpunkte ableiten, welche sich in Form von Gerechtheiten konsequent umsetzen und auch nachweisen lassen. Beispiele für diese Strategien können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Entwicklungsstrategien [1,3,4]

Entwicklungsaufgabe	Anforderungen (Auswahl)	DfX-Kriterien	Entwicklungsstrategie
Drehelastische Kupplung als Wellenverbindung (z.B. Kunststoffkupplung)	Günstiger als Vorgängermodell	kostengerecht	DfCost
	Funktionserfüllung	belastungsgerecht	
	Großserie	fertigungsgerecht	
Sportwagenhersteller (z.B. Radträger)	Fahrdynamik, Performance	Gewichtsreduktion	Leichtbau
	Sicherheitsrelevantes Funktionsbauteil	Strukturperformanz	
	Wirtschaftliche Fertigung	Kostenreduktion	
WEEE-konformes Elektrogerät (z.B. PC)	Lösbare Verbindungen	demontagegerecht	Umweltgerecht
	Sortenrein trennbar	recyclinggerecht	
	Bleifrei gelötet	normgerecht	

Die Überprüfung und der Nachweis der Gerechtheiten kann mit entsprechenden Mitteln der computerunterstützten Entwicklung vorgenommen werden. Das prinzipielle Hindernis, das einer optimale Anwendung der CAx-Werkzeuge entgegensteht ist die Formulierung einer passenden Simulationsstrategie, welche die Quereinflüsse der einzelnen Simulationen aufeinander abbildet und diese somit in eine geeignete Reihenfolge bringt, welche unnötige Iterationen vermeidet und Rücksprungpunkte für notwendige Korrekturen bereitstellt. Für erprobte Simulationen, etwa Frässimulationen und andere CAx-Verfahren [5] haben sich beste verfügbare Techniken herausgebildet, welche die Anwendung dieser Programme einem weiten Kreis von Entwicklern zugänglich machen [6]. Innovative Methoden hingegen

benötigen auch innovative Simulationsstrategien sowie unterstützende Werkzeuge diese aber fehlen meist noch.

Die richtige Reihenfolge von Simulationsschritten führt zum Erfolg, wenn unternehmens-, software- und workflowspezifische Gegebenheiten in den Gesamtablauf des Entwicklungsprozesses einbezogen werden. Hierzu müssen mehrere Kriterien untersucht und die Ergebnisse berücksichtigt werden:

- **Vorhandene Programme und deren Eigenheiten:**
Die im Unternehmen vorhandenen Programme, insbesondere Simulationswerkzeuge, und deren Eigenheiten, Funktionen und Grenzen müssen bekannt sein und die Mitarbeiter müssen in deren Anwendung und auch mit den in den Programmen zur Anwendung kommenden Prinzipien vertraut sein.
- **Datenaustausch und Datenmanagement:**
Die notwendigen Ein- und Ausgangsdaten für die einzelnen Entwicklungsschritte müssen bekannt sein und situationsgerecht und verwendbar den Anwendern der Spezialsysteme zur Verfügung gestellt werden. Idealerweise kann unternehmensweit von allen Systemen aus auf die benötigten Informationen zugegriffen werden.
- **Kompetenzen und Wissen der Mitarbeiter:**
Die Interpretation und Bewertung von Simulationsergebnissen erfordert, ebenso wie die Anwendung von Spezialprogrammen, geschulte Mitarbeiter. Es muss aber dafür gesorgt werden, dass alle Anwender grundlegende Kenntnisse über die Spezialprogramme erhalten um Akzeptanz zu schaffen und Resultate vorteilhaft zu kommunizieren.
- **Einbindung von Einzelprozessen in den Entwicklungsprozess des Unternehmens:**
Es muss dafür gesorgt werden, dass einzelne Entwicklungsschritte effektiv in den Gesamtprozess eingebunden werden. Durch die Verwendung innovativer Methoden darf kein schwer zu kalkulierender Zeitverlust entstehen. Hierbei ist eine teil- oder vollautomatisierte Überleitung zwischen einzelnen Programmen der Schlüssel für deutliche Effektivitätssteigerung. Dies gilt für Schritte die keine Ergebnisbeurteilungen beinhalten.

Im Folgenden soll am Beispiel des Leichtbaus, hier mit dem Fokus auf die Topologieoptimierung, eine praktikable Lösung für eine effektive Einbindung innovativer Methoden aufgezeigt werden.

2.3 Topologieoptimierung als Werkzeug des Leichtbaus

Die Auslegung mechanischer Strukturen mit gleich guten oder besseren Eigenschaften bei reduziertem Gewicht stellt eine Aufgabe des Leichtbaus dar. Im Gegensatz zum Stoffleichtbau, bei dem bei identischer Bauteilgeometrie ein Werkstoff mit geringerer Dichte zum Einsatz kommt, findet beim Formleichtbau eine konstruktive Veränderung oder Neugestaltung des Bauteils statt [7]. Numerische Methoden, wie z.B. die Finite-Elemente-Analyse (FEA), erlauben die Bewertung und Strukturanalyse bestehender Geometrien. Soll eine neue Geometrie des Bauteils untersucht werden, lassen sich durch Anwendung von CAx-Werkzeugen im Vergleich zu aufwändigen Realversuchen zum einen Entwicklungszeit und -kosten einsparen, zum anderen aber auch das strukturelle Verständnis der Struktur

verbessern. Die eigentliche Formgebung und damit Optimierung des Teils erfolgt jedoch auch bei Einbindung der FEA in den Produktentwicklungsprozess per Hand durch den Konstrukteur in zahlreichen, langwierigen Iterationen.

Neue Ansätze des Formleichtbaus gehen von numerischen Strukturoptimierungsverfahren aus, die auf der FEA basieren. Ziel dabei ist die Findung einer optimalen Geometrie unter vorgegebenen Belastungen des Bauteils, d.h. es findet nicht nur eine Analyse, sondern eine Synthese der Struktur statt. Eine gerade in frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses verwendete Art der Strukturoptimierung ist die Topologieoptimierung [8]. Ausgehend von einem Bauraum wird dabei ohne Ausgangsentwurf eine optimale Bauteilstruktur generiert. Als Designvariablen während der Optimierung dienen die Volumenelemente eines FE-Netzes, die zur Erfüllung des gewünschten Optimierungsziels selektiv entfernt werden können. Optimierungsziele bei Topologieoptimierungen können beispielsweise die Maximierung der Bauteilsteifigkeit oder der Eigenfrequenz sein [9].

3 Workflow-Unterstützung

Um den Produktentstehungsprozess zu beschleunigen, kommen bei der Entwicklung neuer Produkte immer häufiger computergestützte Werkzeuge zum Einsatz. Entsprechend auf das Produkt zugeschnittene Prozessketten erfordern hierbei eine Kombination von Synthese- und Analysewerkzeugen. Die Verknüpfung dieser Programme ist hierbei einer der Haupteinflussfaktoren auf die Entwicklungszeit, da hierbei durch eine geschickte Vorgehensweise unnötige Iterationen umgangen und Nacharbeit vermieden werden kann. Das breite Spektrum der auf dem Markt verfügbaren bzw. der in den Firmen eingesetzten Programme machen umfangreiche Untersuchungen notwendig, um eine in der Praxis anwendbare CAx-Werkzeugkette erstellen zu können. Hierbei kann der Anwender unter anderem durch Automatisierung aufwändiger Prozessschritte unterstützt werden.

3.1 Die ICROS-Methode

In der Produktentwicklung ist die Auswahl adäquater Prozessketten von entscheidender Bedeutung. Abhängig von Art und Umfang der Entwicklungsaufgabe können Wechselwirkungen der Programme untereinander Probleme bei der Durchführung verursachen. Um den Entwickler bei seiner Arbeit zu unterstützen, wird die ICROS-Methode (Intelligent Cross-linked Simulations) eingesetzt, die einen effizienten Einsatz softwaregestützter Werkzeuge ermöglichen soll [10].

Bei diesem Ansatz werden die gegenseitigen Beeinflussungen einzelner Prozessschritte untereinander analysiert, beurteilt und zu Prozessketten verknüpft. Es wird dabei die Herangehensweise aus [11] verfolgt, die besagt, dass die nur Merkmale eines Produktes in der Konstruktionsphase festgelegt werden können, um die gewünschten Eigenschaften herbeizuführen. Merkmale eines Bauteils können also nur durch Synthesewerkzeuge festgelegt werden; durch nachgeschaltete Analysewerkzeuge müssen diese dann auf ihre Eigenschaften hin überprüft werden. Ferner sind gezielte Iterationen vorgesehen, falls das erstellte Bauteil die geforderten Eigenschaften nicht erfüllt. Dann kann zu einem entsprechenden Syntheseschritt zurückgesprungen werden ohne den gesamten Entwicklungsprozess erneut durchlaufen zu müssen.

Neben der Zeit- und Arbeitersparnis, kann durch dieses Vorgehen ein standardisierter Prozess erstellt werden, was Entwicklungsbrüchen vorbeugt und Fehler vermeiden hilft. Durch den einmal aufgestellten Prozess, werden Wiederverwendungspotentiale für Folgeprojekte erschlossen. Durch diese intelligente Verknüpfung verschiedener CAx-Werkzeuge untereinander, können also Verzögerungen im Produktentwicklungsprozess vermieden und somit Entwicklungszeit, sowie personeller Zeitaufwand und damit auch Kosten eingespart werden.

3.2 Prozesskette Topologieoptimierung

Im Falle einer Topologieoptimierung gestaltet sich die zugehörige Prozesskette, wie in Abbildung 1 beschrieben [1, 12, 13].

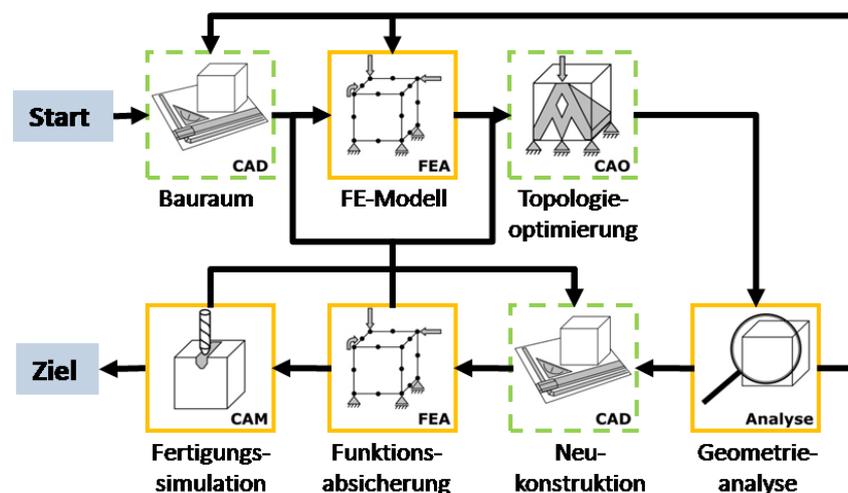


Abbildung 1: Topologieoptimierung

Zunächst wird in einem Syntheseschritt von dem zu optimierenden Bauteil ein Bauraummodell erstellt, welches in ein FE-Programm (Analysetool) eingelesen wird, um es mit den erforderlichen Randbedingungen, wie Fixierungen oder Lasten zu beaufschlagen. Die nun folgende Optimierung wird mit einer Synthesesoftware durchgeführt, die im Wechselspiel mit einem FE-Solver in mehreren Iterationsschritten, die unter den gegebenen Randbedingungen bestmögliche Lösung für das Bauteil ermittelt. Im Normalfall wird dann auf Basis des Optimierungsergebnisses in einer CAD-Software das neue Bauteil erstellt. Dieses wird dann erneut berechnet, um die neuen Steifigkeits- und Festigkeitswerte, etc. und somit das tatsächliche Verbesserungspotential der Neukonstruktion bewerten zu können. Erfüllt es die erforderlichen Bedingungen nicht muss zu einem vorhergehenden Syntheseschritt zurückgesprungen werden. Die Problematik dieses Vorgehens erschließt sich aus der oben stehenden Abbildung. Genügt das Bauteil nicht der abschließenden Funktionsabsicherung, so muss entweder zum vorigen Syntheseschritt der Neukonstruktion oder zum Optimierungsschritt, oder zum anfänglichen FE-Modell zurückgesprungen werden, da das Optimierungsergebnis nicht abgesichert wurde, und daher auch nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob die Optimierung erfolgreich war.

Daher ist es erforderlich, einen Zwischenschritt vor die Geometrieanalyse und die Neukonstruktion zu setzen, als eine Art Meilenstein, der das Optimierungsergebnis

absichert, womit die Rücksprungpunkte an den Anfang der Prozesskette ab einem gewissen Prozessfortschritt wegfallen (Abbildung 2).

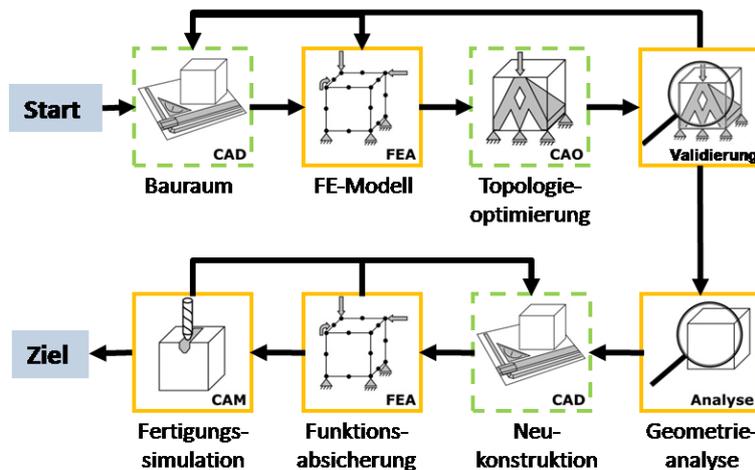


Abbildung 2: Prozesskette einer Topologieoptimierung mit integriertem Validierungsschritt

Durch diese Vorabsicherung der Ergebnisse der Optimierungsstudien, können zeitraubende Iterationen reduziert oder ganz vermieden werden, da im Prozess mit bereits vorabgesicherten Werten weitergearbeitet werden kann.

Jedoch ist der Arbeitsschritt der Validierung von Ergebnissen der Topologieoptimierung verhältnismäßig zeitaufwendig. Durch die Ausblendung von Elementen des FE-Netzes entstehen gerade bei Verwendung von Tetraedern im Bauraum sehr unregelmäßige Oberflächen. Die Ergebnisse müssen daher zur Weiterverarbeitung und besseren optischen Beurteilung geglättet werden. Dies erfolgt üblicherweise durch geeignete Softwaretools, die ein geglättetes Oberflächennetz erzeugen (Abbildung 3).

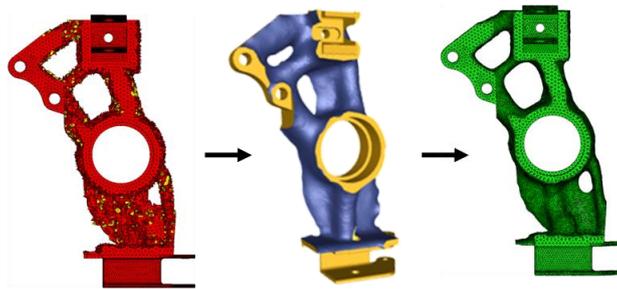


Abbildung 3: Optimierungsmodell: Links: ungeglättet, Mitte: geglättet, Rechts: vernetzt

Um dieses Optimierungsergebnis in erneuter FEA zu validieren und dem weiteren Prozess zur Verfügung zu stellen, ist eine Aufbereitung der Daten inklusive Volumenvernetzung notwendig. Die manuelle Durchführung dieser Arbeitsschritte ist möglich, jedoch sehr zeitaufwändig und daher personalkostenintensiv. Um Entwicklungszeit und -kosten zu sparen und um eine bessere Beurteilung der Optimierungslösung auf Basis einer größeren Anzahl von Validierungsrechnungen zu ermöglichen, ist eine zumindest teilautomatisierte Datenaufbereitung in der Prozesskette unverzichtbar.

3.3 Prozessoptimierung mit speziellen Softwareapplets

Das am Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD der Universität Bayreuth entwickelte Softwareapplet TOPO unterstützt den Benutzer bei der Aufbereitung der geglätteten Topologieoptimierungsergebnisse. Da derartige Oberflächennetze häufig über Netzfehler verfügen, ist eine erste Aufgabe des Softwareapplets die Bereitstellung von Assistenz- und Checkfunktionen zur teilautomatisierten Netzbereinigung. Das Hauptaugenmerk bei der Programmierung des Tools und dessen Integration in die Gesamtprozesskette lag jedoch auf der effizienten Weiterverwendung des ursprünglichen Optimierungsmodells. Dies ist gerade bei großen Baugruppen wichtig, da der Einbau neuer Strukturen in derartige Inputdecks bisher sehr zeitaufwändig per Hand erfolgen musste. TOPO ersetzt den Bauraum der Optimierung durch das geglättete Optimierungsergebnis, welches zuvor noch eine Volumenvernetzung durchläuft. Die automatische Übernahme und Adaption aller Randbedingungen in das Berechnungsmodell erleichtert die Durchführung der Validierung. Ferner werden durch eine intelligente Verknüpfung von CAx-Werkzeugen untereinander der manuelle Nachbearbeitungsaufwand deutlich verringert sowie unnötige Iterationen vermieden.

Zu Testzwecken wurde das Softwareapplet TOPO, das modular aufgebaut und in der Programmiersprache C geschrieben ist, für eine Prozesskette mit den kommerziellen FE- und Optimierungslösungen Abaqus und TOSCA entwickelt. Der Datenaustausch zwischen den einzelnen Programmen sowie der Workflow sind in Abbildung 4 dargestellt.

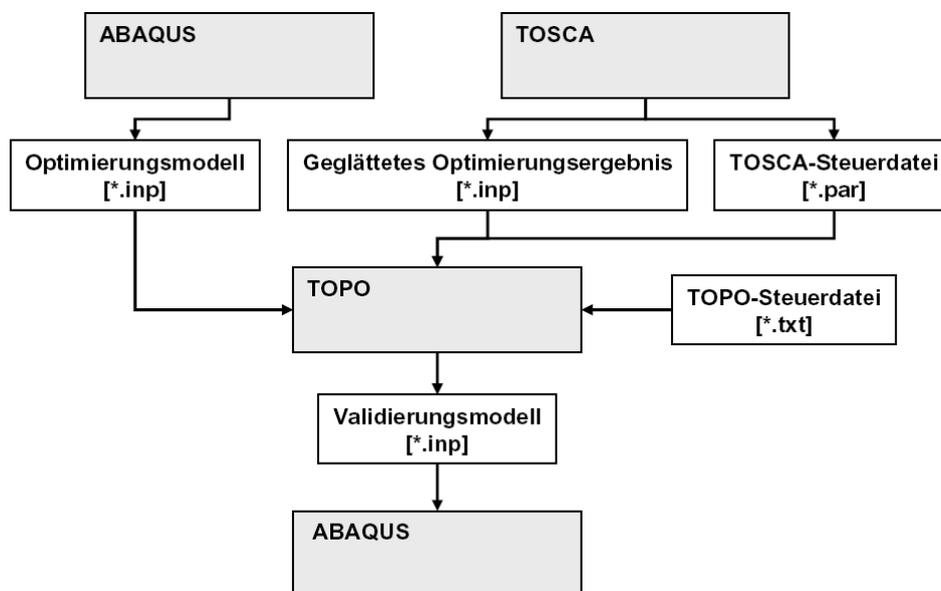


Abbildung 4: Ein- und Ausgangsdaten des Softwareapplets TOPO in Verbindung mit FE- und Topologieoptimierungsprogramm

Um den verbesserten Prozessablauf anhand eines Praxisbeispiels aus der Kraftfahrzeugtechnik zu testen und zu beurteilen, wurde der Radträger eines Formula Student-Rennwagens als geeignetes Bauteil ausgewählt. Sowohl die verbesserte Integration der Validierung in den Gesamtprozess lässt sich dadurch praxisnah demonstrieren als auch der Einfluss von Optimierungsparametern wie Zielvolumen und Glättungsparameter auf das Validierungsergebnis aufzeigen.

4 Anwendungsbeispiel

4.1 Anforderungsprofil eines Formula Student Radträgers

Die bisher beschriebene Vorgehensweise soll nun anhand eines konkreten Fallbeispiels, einem Radträger aus einem Formula Student Fahrzeug, belegt werden. Die Formula Student ist eine internationale Rennserie, die von Studenten verschiedener Hochschulen regelmäßig ausgetragen wird. Neben der Konstruktion und Berechnung des Fahrzeugs geht es auch um konkrete Erfolge bei Vergleichsrennen. Das praktische Beispiel, an welchem die beschriebene Vorgehensweise erläutert werden soll, ist ein Radträger eines solchen Fahrzeugs. Neben der Absicherung auf Festigkeit unter Einsatzbedingungen als sicherheitsrelevantes Funktionsbauteil, kommt es auch auf ein möglichst geringes Bauteilgewicht als Leichtbauteil an. Daher bietet sich die Topologieoptimierung als ein Werkzeug des Leichtbaus für die Synthese des Bauteils an. Die Randbedingungen sind hierbei die Festigkeitsberechnung für Kurvendurchfahrten, Bremslasten und Schlaglöcher oder Curbs („Randsteine“ der Rennstrecke), sowie die Anbringung von Bremszange, Radlager und oberem/unterem Dreiecksquerlenker (Abbildung 5).

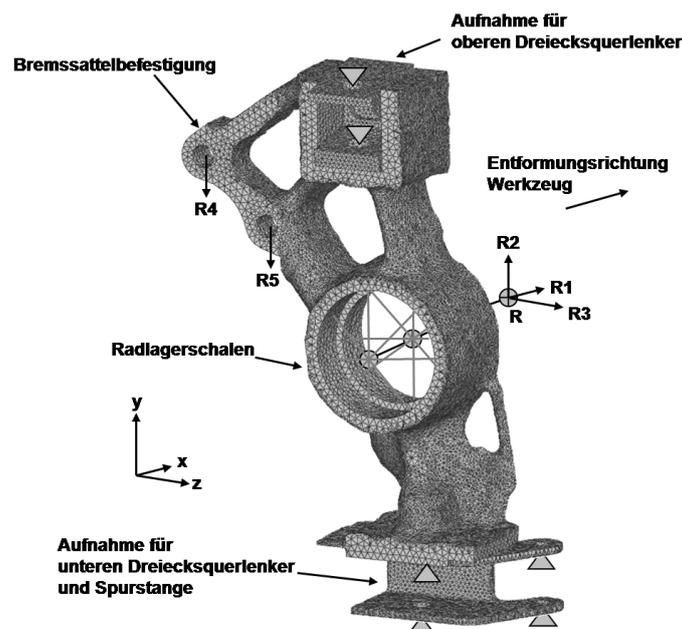


Abbildung 5: Geglättetes Optimierungsergebnis mit Randbedingungen

4.2 CAx-Werkzeugkette

In Anlehnung an die in Kapitel 3.2 beschriebene Prozesskette wurde die entsprechende CAx-Werkzeugkette für den Radträger erstellt. Durch das Wechselspiel von Synthesewerkzeugen zur Festlegung der Bauteilmerkmale einerseits und Analysewerkzeugen zur Absicherung der Eigenschaften andererseits, kann eine durchgängige Prozesskette geschaffen werden (Abbildung 6).

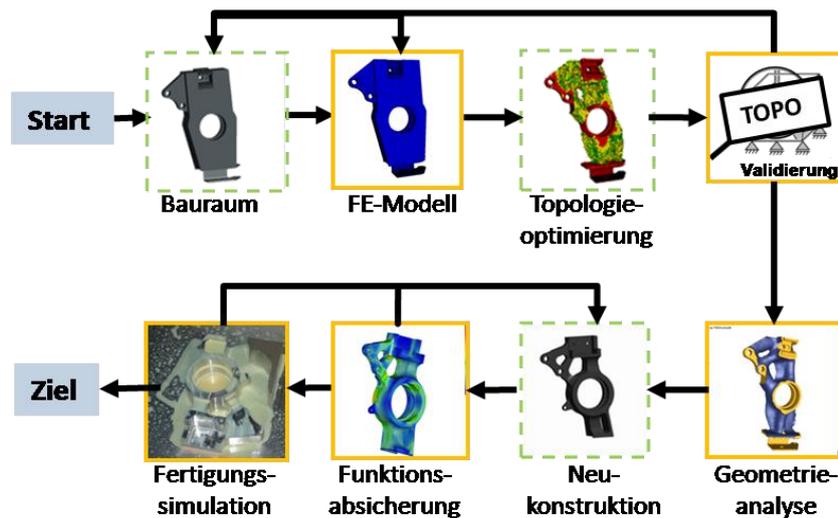


Abbildung 6: Optimierung des Radträgers

Nach der Bauraumdefinition in einer CAD-Software, muss das FE-Modell mit den in Kapitel 4.1 beschriebenen Randbedingungen erstellt werden. Dieses Modell wird in eine Topologieoptimierungssoftware übergeben, welche nach mehreren Iterationen einen Designvorschlag liefert. Dieser wird durch das Softwareapplet TOPO in ein FE-Modell zur Validierung zurückgeführt. Danach folgt die CAD-Neukonstruktion welche abschließend erneut durchgerechnet wird. Sind alle Festigkeitsanalysen durchlaufen bleibt die Fertigungssimulation, welche die Machbarkeit absichert. Anschließend kann das Bauteil gefertigt werden.

Durch die Optimierung konnte das Bauteilgewicht von 1050 g auf 687 g reduziert werden, was einer Ersparnis von etwa 35 % entspricht. Da dieses Verfahren sehr aufwendig und komplex in der Durchführung ist, bedarf es eines gewissen Fachwissens, um zum fertigen Bauteil zu gelangen. Im Folgenden wird beschrieben, welche Unterstützung der Entwickler dabei benötigt.

4.3 Workflow-Unterstützung

Um den Entwickler eines neuen Produktes bei seiner Arbeit aktiv unterstützen zu können ist es erforderlich ihm die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der Entwicklung zur Verfügung zu stellen und diese für etwaige Folgeprojekte wiederauffindbar abzulegen. Zu diesem Zweck wurde der Forschungsverbund FORFLOW ins Leben gerufen, dessen Aufgabe es ist dem Entwickler konstruktionsbegleitend durch den Entwicklungsprozess zu führen. Im Zuge dessen wurden auftretende Herausforderungen bei der Durchführung von Simulationen herausgestellt und analysiert [2].

Die Erstellung eines funktionierenden, möglichst realitätsnahen Simulationsmodells, sowie die richtige Interpretation der Berechnungsergebnisse sind, neben dem Datenaustausch zwischen den im Verlauf einer Prozesskette benötigten Werkzeugen, die vorrangigen Unwägbarkeiten, die bei Simulationen berücksichtigt werden müssen.

Eine gezielte Bereitstellung von Hilfestellungsdokumenten bei den jeweilig durchzuführenden Prozessschritten ist daher ein möglicher Lösungsansatz. Hierzu ist es denkbar eine Standardvorlage zu erstellen, die neben dem Zuständigkeitsbereich des Bearbeiters auch

bestimmte Schlüsselworte als Metatags enthalten, nach denen mit Hilfe einer Suchfunktionalität gesucht werden kann. Hierbei sichern gängige Formate, wie MS-Word, oder PDF-Dokumente eine leichte Anwendbarkeit und können somit zur Akzeptanzverbesserung bei den Mitarbeitern beitragen [14]. Für Sonderaufgaben, wie die in Kapitel 3.2 ff beschriebene Validierungsrechnung für Topologieoptimierungsergebnisse können speziell angepasste Softwaretools geschrieben werden. Da dies ein oft zeitaufwändiger Schritt ist, muss der Benefit eines solchen Softwareapplets für die Praxis jedoch genau untersucht werden. Bei einem derart zeitaufwändigen Prozess wie dem hier vorliegenden, der ein großes Maß an händischer Nacharbeit erfordert, lohnt sich der Aufwand durch eine deutliche Verringerung des personellen Zeitbedarfs, vor allem durch das gegebene Wiederverwendungspotential für Folgeprojekte.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch die intelligente Verknüpfung der CAx-Werkzeuge untereinander und der projektspezifischen Kopplung der entstehenden Werkzeugketten mit den entsprechenden Handlungsempfehlungen kann eine signifikante Effizienzsteigerung der Einzelverfahren erreicht werden. Die konsequente Anwendung dieses Vorgehens kann zur frühzeitigen Erkennung möglicher konstruktiver Fehler führen; dementsprechend früh im Konstruktionsprozess können geeignete Maßnahmen umgesetzt werden, um unnötige Iterationen zu vermeiden und der Entwicklungsprozess als solches beschleunigt werden.

Durch den vergrößerten Automatisierungsgrad in der Prozesskette wird eine signifikante Arbeitszeit- und somit Kostenersparnis und damit eine bessere Planbarkeit im Produktentwicklungsprozess erreicht. Der auf diese Weise ermöglichte effiziente Einsatz innovativer Verfahren kann maßgeblich zur Steigerung deren Akzeptanz und Verbreitung beitragen. Weitere Untersuchungen hierzu werden im Rahmen des Bayerischen Forschungsverbundes FORFLOW durchgeführt.

6 Literatur

- [1] Dörnhöfer, A.: Leichtbau mit partikelverstärkten Magnesiumlegierungen – Integration von virtueller Werkstoffentwicklung und Topologieoptimierung in den Produktentwicklungsprozess. Fortschritte in Konstruktion und Produktion, Band 11, Diss. Universität Bayreuth, 2008.
- [2] FORFLOW - Bayerischer Forschungsverbund für Prozess- und Workflowunterstützung zur Planung und Steuerung der Abläufe in der Produktentwicklung: 2. Ergebnisbericht. Hrsg: Meerkamm, H., Paetzold, K., DRUCKLADEN Erlangen, Erlangen, 2008.
- [3] Alber-Laukant, B.: Struktur- und Prozesssimulation zur Bauteildimensionierung mit thermoplastischen Kunststoffen: Validierung von Werkstoffbeschreibungen für den technischen Einsatz. Fortschritte in Konstruktion und Produktion, Band 10, Diss. Universität Bayreuth, 2008.
- [4] Steinhilper, R.; Hudelmaier, U.: Erfolgreiches Produktrecycling zur erneuten Verwertung oder Verwendung: Ein Leitfaden für Unternehmen. RKW, Eschenborn, 1993.
- [5] Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.: CAx für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung, 2. Auflage, Springer, Berlin, 2009.

-
- [6] Grimm, S.: Simulation und Visualisierung flexibler Bauteile unter Nutzung von Virtual Reality. in: Brökel, K (Hrsg.); Feldhusen, J.(Hrsg.); Grote, K. H.(Hrsg.); Stelzer, R.(Hrsg.); Rieg, F(Hrsg.): 5. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik.(Saxoprint), Dresden 2007.
 - [7] Haldenwanger, H.-G.: Zum Einsatz alternativer Werkstoffe und Verfahren im konzeptionellen Leichtbau von Pkw-Rohkarosserien. (Diss.) TU Dresden, 1997.
 - [8] Harzheim, L.: Strukturoptimierung – Grundlagen und Anwendungen. Frankfurt/Main: Harri Deutsch, 2008.
 - [9] Schumacher, A.: Optimierung mechanischer Strukturen, Grundlagen und industrielle Anwendungen, Springer Berlin Heidelberg, 2005.
 - [10] Hackenschmidt, R.; Troll, A.; Rieg, F.; Dolsak, B.: Optimizing the Use of Multiple Simulation Programs by Intelligent Cross-linked Simulations (ICROS). In: NAFEMS Seminar: „Simulation Data Management - Integration into the Product Development Process“, Wiesbaden, 2009.
 - [11] Weber, C.; Werner, H.: Schlussfolgerungen für „Design for X“ (DfX) aus der Sicht eines neuen Ansatzes zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Design for X – Beiträge zum 12. Symposium, Erlangen, o.V., 2001.
 - [12] Zapf, J.; Troll, A.; Rieg, F.: Integration der Topologieoptimierung in die virtuelle Prozesskette. In: 18. Industriearbeitskreis Strukturoptimierung, Bayreuth, 2009.
 - [13] Bechmann, F.; Kohnhäuser, M.: Partikelverstärkung von Magnesiumgussbauteilen. In: ATZ 10.2008.
 - [14] Rowell, A.: Aberdeen Report. Web: http://www.ptc.com/WCMS/files/86856/de/5349-SI-PLMTransSMB-AAR-02_2_DE_revised.pdf, Stand: 28.04.2009.

Dipl.-Ing. Jochen Zapf
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
FAN – Universität Bayreuth
Universitätsstr. 30, D-95447 Bayreuth
Tel: +49-921-55-7224
Fax: +49-921-55-7195
Email: jochen.zapf@uni-bayreuth.de
URL: <http://cad.uni-bayreuth.de>