

Untersuchung künstlicher Intelligenz im Bereich der Konstruktion mit Generativer Design Software

Prof. Dr.-Ing. Norbert Babel *); Maximilian Metzger

Beide Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut, Fakultät Maschinenbau,
Am Lurzenhof 1, 84036 Landshut

*) Corresponding author, E-Mail: norbert.babel@haw-landshut.de

Schlüsselwörter:

Generative Design, künstliche Intelligenz, CAD, Topologieoptimierung, Fusion360; Computational Design

Zusammenfassung

Der folgende Artikel, befasst sich mit der Untersuchung der automatisierten, softwaregesteuerten Bauteilgenerierung, dem sogenannten computational oder generativen Design und den Möglichkeiten, die diese Software-Programme heute schon bieten. Außerdem werden an einem Beispiel die Leistungsfähigkeit dieser Technologie aufgezeigt, wozu das Programm Fusion 360 von Autodesk verwendet wird.

Insgesamt betrachtet befindet sich die Software für das generative Design noch in der Entwicklungsphase, besitzt aber das Potential den Entwurfsprozess von Produkten maßgeblich zu beeinflussen und in der Zukunft zu einem mächtigen Entwicklerwerkzeug für konstruktive Fragestellungen zu werden.

1. Einleitung

Dadurch, dass in der Industrie die Entwicklungszeiten immer weiter verkürzt werden sollen, steigt der Druck, unter dem Entwickler arbeiten, immer weiter an. Durch die immer kürzer werdenden Entwicklungszyklen sind Ingenieure oftmals dazu gezwungen, die erst beste Idee auszuarbeiten, selbst wenn durch weitere Iterationsschritte wahrscheinlich ein besseres Ergebnis hätte erzielt werden können. Einen Zusatz zu den herkömmlichen Konstruktionswerkzeugen, wie das Computer-Aided-Design (CAD) mit seinen inzwischen zahlreichen Simulationstools, liefert die neue Technologie des Generative Design. Diese Software-Programme können anhand vom Anwender bestimmter Parameter eine Vielzahl von Designvorschlägen erzeugen. Dies ist durch die Einbindung von sogenannter „künstlicher Intelligenz“ (KI) möglich, die durch die Kombination verschiedener Algorithmen zu Beginn des Designentstehungsprozesses eingesetzt wird, um schon im Entwurfsstadium die Entwicklung, entsprechend vorgegebener Randbedingungen, beeinflussen zu können [1].

2. Material und Methoden

2.1 Grundlagen

Oftmals wird der Begriff der Topologieoptimierung fälschlicherweise als Synonym für das generative Design verwendet. Diese ist aber nur eine von drei technologische Verfahren auf die sich das Generative Design stützt: Nämlich der Strukturoptimierung, der Bionik und der Topologieoptimierung, welche basierend auf künstlicher Intelligenz durch Algorithmen verbunden sind.

Topologieoptimierung

Vereinfacht gesagt ist es die Aufgabe einer Topologieoptimierungssoftware, „zu entscheiden“ in welchen Bereichen innerhalb eines vorgegebenen Designraums aufgrund des Kraftflusses, Material vorhanden sein muss und wo nicht, bzw. weniger Material für die statische Bauteilfestigkeit ausreichend ist (Abb. 1). Um dieses Strukturoptimierungsverfahren durchzuführen, ist zunächst eine Berechnung der auftretenden Lastverteilung mittels der Finite-Elemente-Methode, erforderlich [1; 2; 3].

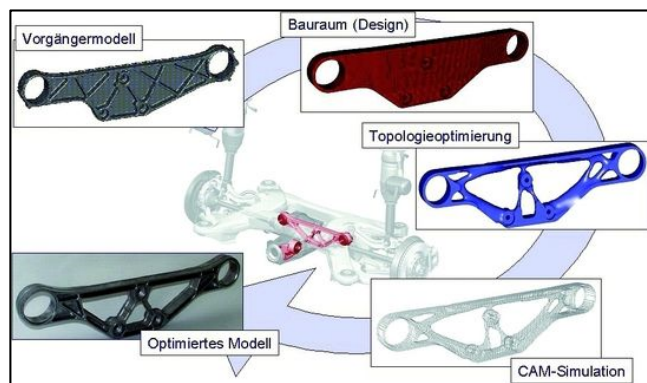


Abbildung 1: Topologieoptimierungsvorgang anhand eines Gussträgers für ein Achsgetriebe [3]

Bionik

Der Begriff der Bionik ist wie folgt definiert: Die Bionik verbindet in interdisziplinärer Zusammenarbeit die Biologie und Technik mit dem Ziel, durch Abstraktion, Übertragung und Anwendung von Erkenntnissen, die an biologischen Vorbildern gewonnen werden, technische Fragestellungen zu lösen (VDI 6220).

In den wenigsten Fällen ist es jedoch zielführend die Natur direkt zu kopieren. Sinnvoller ist es, die zugrundeliegenden Prinzipien zu verstehen, für die konkret vorliegende Aufgabenstellung entsprechend abzuleiten und anschließend technisch umzusetzen bzw. in spezifischen Softwareprogrammen (Topologieoptimern) zu implementieren. Dabei entstehen oft neue und unkonventionelle Lösungsansätze, welche bereits bekannten technischen Lösungen überlegen sein können [1, 4].

Künstliche Intelligenz

Der Begriff der Künstlichen Intelligenz (artificial intelligence) ist schon 1955 von dem US-amerikanischen Informatiker John McCarthy geprägt worden, von dem inzwischen zahlreiche Definitionen existieren. Dabei handelt es sich vor allem um ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem maschinellen Lernen befasst. Meist

bezeichnet künstliche Intelligenz den Versuch, bestimmte Entscheidungsstrukturen des Menschen nachzubilden, indem z. B. ein Computer so programmiert wird, dass er relativ eigenständig Probleme bearbeiten kann [5].

2.2 Generatives Design

Generatives Design, oder generative Gestaltung bezeichnet eine Entwurfsmethode in den verschiedenen Bereichen, wie der Kunst, der Architektur, der Kommunikation oder in den Ingenieursdisziplinen [5]. Dabei übernimmt und unterstützt ein Softwareprogramm einige der Kernaufgaben des Anwenders. Es „verarbeitet“ und „bewertet“ die eingegebenen Vorgaben, wie Werkstoff, Größe, Gewicht, Belastungen, Fertigungsverfahren oder Kostenziele [7] und „generiert“ daraus, anhand der implementierten Algorithmen, Designvorschläge welche durch die Visualisierung der errechneten Modelle kommuniziert werden [8].

Die Theorie des computational oder generativen Designs ist keinesfalls neu, da schon seit Mitte des 19-ten Jahrhunderts daran gearbeitet wird [9] und das ursprünglich auf den Architekturbereich zurückgeht, wobei einige Autoren die ersten Ansätze sogar in der Bauhausphase (1920 Jahre) verortet sehen [10]. „Allerdings bleibt die neue Methode zunächst jenen Fachleuten vorbehalten, die eine Programmiersprache beherrschen, ... was sich aber mit der Einführung der Software Grasshopper® 3d ab 2007 ändert“ [10].

Die Aufgabe des Konstrukteurs beim Einsatz einer solchen Software ist es, eine Geometrie und einen Designraum vorzugeben, sowie anhand der oben beschriebenen Parameter die Anforderungen an das Endprodukt für den Start des Algorithmus zu beschreiben, wobei auch verschiedene alternative Werkstoffe und Fertigungsmethoden für die Auslegung in Betracht gezogen werden können. Die Software liefert anhand dieser Vorgaben eine Vielzahl an Designvorschlägen, die anschließend von der Software validiert werden, das heißt, dass diese z. B. prozentuale Angaben macht, in wie weit ein angestrebtes Optimum, aufgrund der gestellten Anforderung, erreicht wurde.

Diese Menge an möglichen Ergebnissen führt dazu, dass der Konstrukteur Lösungsansätze vorgeschlagen bekommt, auf welche er nicht zwangsläufig gekommen wäre, oder deutlich mehr Zeit benötigt hätte. Da die Software durch die Generierung von zahlreichen Entwurfsalternativen einen wesentlichen Teil der Arbeit des Ingenieurs übernimmt, entsteht eine enorme Zeitersparnis in der anderen, hochqualifizierten Entwicklertätigkeiten nachgegangen werden kann, wodurch die konstruktive Effizienz erheblich gesteigert wird [6].

Die Vorteile des generativen Designs lassen sich in etwa wie folgt zusammenfassen [14]:

- Verkürzung der Entwicklungszeit für neue Bauteile und Produkte
- Überprüfung und Vergleich zahlreicher, vorgegebener Rahmenbedingungen
- Entlastung von hochbezahlten Entwicklern von Routinetätigkeiten und Schaffung von Freiräumen für weitere Innovationen und Lösung übergeordneter Probleme

2.2.1 Generative Design Software verschiedener Hersteller und deren Funktionen

Die Optimierungsmöglichkeiten beim Einsatz einer Generative-Design-Software erregt immer mehr Aufmerksamkeit und der Markt für diese Software beginnt zu wachsen, weshalb nachfolgend einige Softwareprodukte näher betrachtet werden [11].

ELISE

Das deutsche Unternehmen ELISE [12] und deren gleichnamige Software verfolgen das Ziel des Generative Design mit einem neuen Ansatz, dem visuellen Programmieren. Das bedeutet, der Benutzer erzeugt eigene Algorithmen, indem er unterschiedliche Komponenten aneinander verknüpft (Abb. 2). Die Komponenten können unterschiedliche Arten von Operationen enthalten, wie z.B. den Import externer Dateien, oder einfache geometrische Befehle. Es wird Schritt für Schritt eine Kette an Komponenten erzeugt, die später von links nach rechts durchlaufen werden. ELISE verfolgt die Strategie einer offenen objektorientierten Programmplattform, die vielfältige Einsatzmöglichkeiten bietet [13].

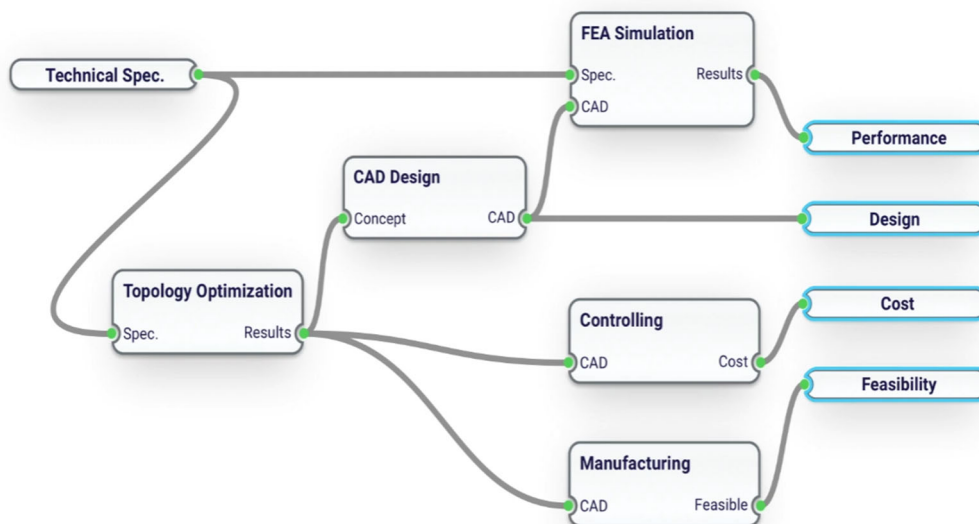


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer technischen DNA in ELISE [13]

MSC Apex Generative Design

Das Programm wurde von der MSC Software Corporation entwickelt und Teil von Hexagon, einem amerikanischen Softwareunternehmen. Die Lösungen von Hexagon integrieren Sensoren, Software, Domänenwissen und Kundenworkflows in intelligente Informationsökosysteme, die umsetzbare Informationen liefern. Das wohl am bekanntesten Produkt der Firma ist das Programm FEM-Programm MSC Nastran [15]. MSC Apex Generative Design verspricht eine Komplettlösung zur schnelleren Entwicklung von hochpräzisen Metallkomponenten wobei die, für das anfängliche Design und die Einrichtung benötigte Zeit um bis zu 80 Prozent reduziert werden kann. Die vereint die Software auf einfache Weise automatisiertes Design, Importieren, Validierung und direkte Ausgabe in einem Vorgang [14]. So konnte eine komplexe Fräskonstruktion für einen Formula Student Radträger, mit einem Gewicht von 515 g, das ursprünglich das aus einem 16 kg schweren Rohteil hergestellt wurde auf 266 g verringert werden, und durch den Einsatz der additiven Fertigung eine enorme Material- und Energieeinsparung schon beim Fertigungsprozess erreicht werden (Abb. 3).

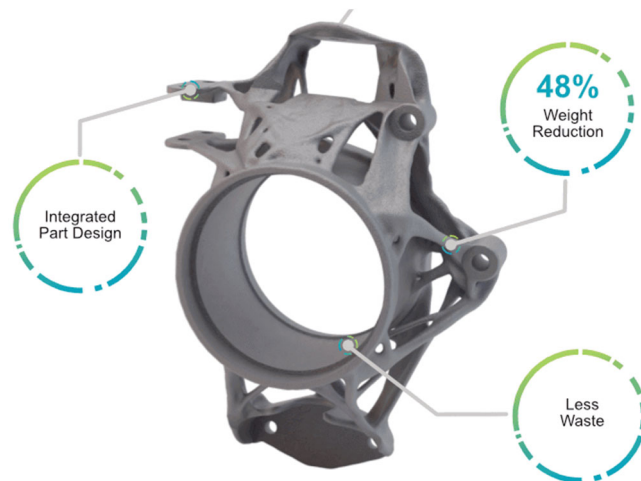


Abbildung 3: Mit MSC Apex Generative Design optimierter Radträger für ein Formula Student Fahrzeug von 2018 [15]

Generatives Design Softwareapplikationen eingebunden in CAD-Systeme

Neben den oben genannten Programmen ist die Funktionalität des generativen Designs inzwischen in allen namhaften CAD-Systemen, wie z. B. CATIA von Dassault Systèmes®, CREO von PTC oder den Autodeskprodukten [16], wie Fusion 360 [17], in Form von integrierten Applikationen realisiert, die meist cloudbasiert arbeiten.

2.3 Durchführung einer Generative Design Studie

Im Folgenden soll der Ablauf des generativen Designprozesses am Beispiel eines Umlenkhebels für eine Motorrad-Hinterachsdämpfung mit Hilfe des Programms Fusion 360 von der Firma Autodesk [17] exemplarisch dargestellt werden. Hierbei sollen die Masse des Bauteils reduziert werden und die Stückkosten für die Herstellung eines Hebels möglichst gering sein.

2.3.1 Vorbereitung

Zunächst wird die ursprüngliche Umlenkung analysiert und die Geometriebereiche nachgebildet, die für die Funktion des Hebels beibehalten werden müssen. Innerhalb von Fusion 360 sind diese Geometriebereiche zu kennzeichnen die beibehalten werden sollen (grün). Als nächstes werden die Bereiche modelliert, die unverändert beibehalten werden sollen, die sogenannte Hindernisgeometrie (rot). Zuletzt werden die Randbedingungen festgelegt. Darunter zählen die Größe und Richtungen der Belastungen (blaue Pfeile). Im Falle der Umlenkung sind zwei Kräfte eingetragen mit $F_1 = 15 \text{ kN}$ und $F_2 = 9,6 \text{ kN}$. (Abbildung 4).

Ziele:

- Masse minimieren bei einem Sicherheitsfaktor von 2,0
- Fertigungskosten bei 2000 Teilen pro Jahr kalkulieren

Weitere Randbedingungen:

Zu betrachtende Fertigungsverfahren:

- Additive Fertigung
- 3-Achsen Fräsen
- 5-Achsen Fräsen
- Druckgießen

Werkstoffe:

- Aluminium AlSi10Mg
- Titan 6Al-4V
- Stahl
- Inconel 718
- Aluminium 6061 (AlMg1SiCu)

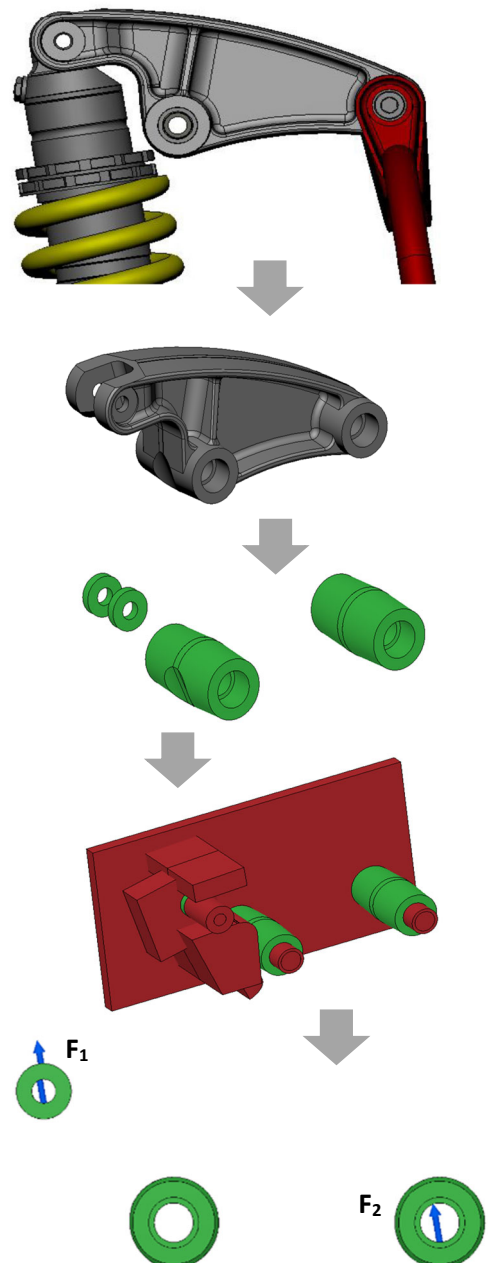


Abbildung 4: Vorbereitung einer Generative Design Studie am Beispiel Umlenkhebel für eine Motorrad-Hinterachsdämpfung [18]

2.3.2 Auswertung der Ergebnisse

Wie in Abbildung 5 dargestellt, liefert das Programm eine Vielzahl von Entwurfsvarianten.

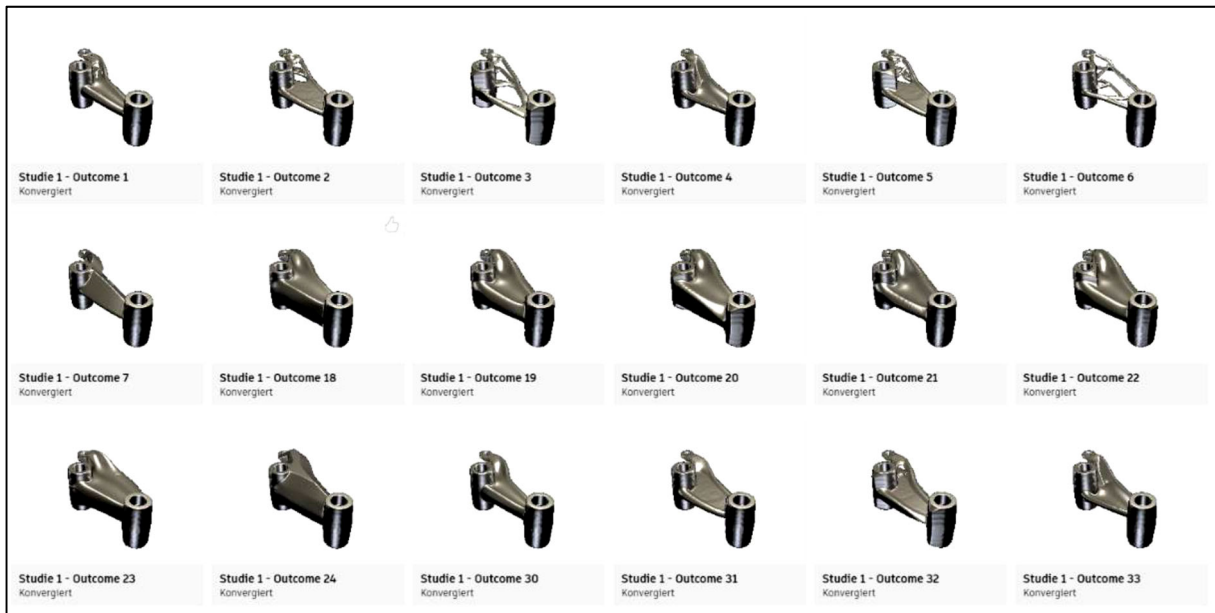


Abbildung 5: Eine Auswahl der vom Programm erzeugten Entwurfsvarianten für den Umlenkhebel [18]

Um eine entsprechende Entscheidung treffen zu können, welche Variante den gestellten Anforderungen am besten entspricht, bietet das Programm verschiedene Möglichkeiten der Ergebnisaufbereitung. Eine davon ist die Darstellung von jeweils zwei Forderungen mit Hilfe eines Streudiagramms. In Abbildung 6 wurde die maximale von Mises-Vergleichsspannung in Abhängigkeit der Bauteilmasse gewählt (mehrere Punkte in der gleichen Farbe kennzeichnen verschiedene Fertigungsvarianten des Bauteils aus dem gleichen Werkstoff). Es zeigt sich, dass in diesem Beispiel die Varianten aus Aluminium, unter Betrachtung der Vergleichsspan-

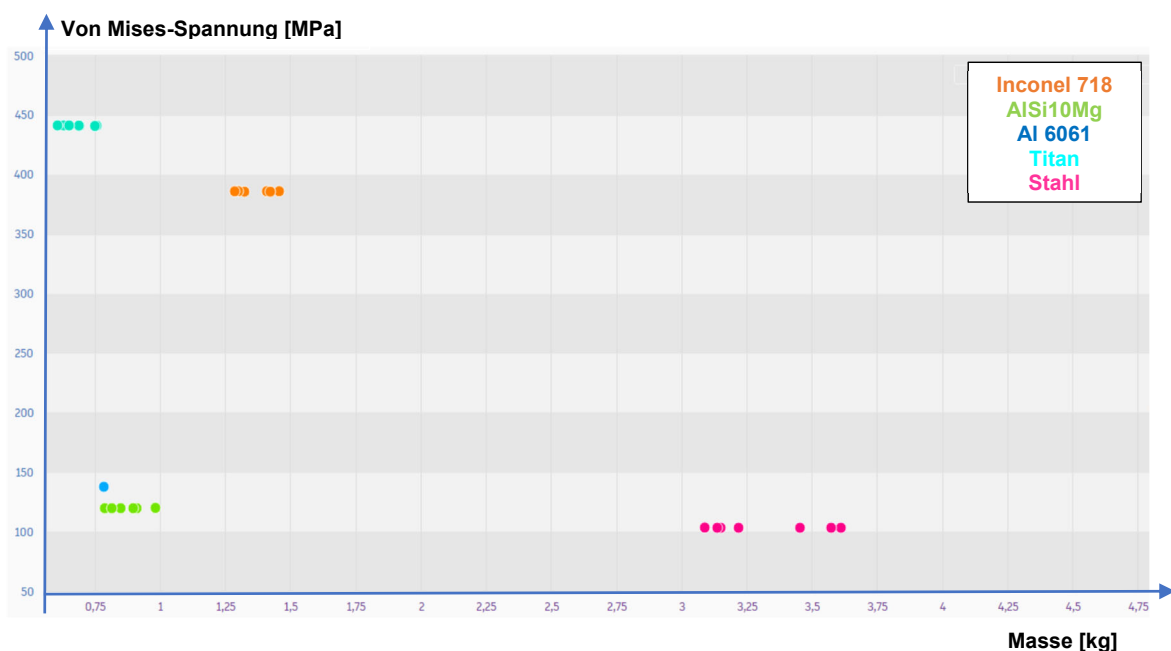


Abbildung 6: Maximale von Mises-Spannung in Abhängigkeit der Masse des Umlenkhebels [18]

nung und dem Bauteilgewicht, die beste Alternative darstellen. Ein weiterer, hier nicht dargestellter Vergleich, zwischen Masse und zu erwartenden Bauteilkosten zeigt, dass bei einem Fertigungsvolumen von 2000 Stück pro Jahr, die Fertigung aus Aluminium 6061 die kostengünstigste Alternative darstellt.

Auf diese Weise kann sukzessive die beste Lösung, in Bezug auf die gestellten Anforderungen, gefunden werden. Hilfreich ist auch die folgende Tabellenansicht (Abb. 7) die einen Gesamtüberblick zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bietet.

Name ↓	Tech-Preview	Empfehlung	Verarbeitungsstatus	Material	Fertigungsverfahren
Structural Study 1 - Outcome 2		0 %	Abgeschlossen	Titan 6Al-4V	Additiv
Structural Study 1 - Outcome 3		0 %	In Verarbeitung	Titan 6Al-4V	Additiv
Structural Study 1 - Outcome 4		77 %	Konvergiert	Titan 6Al-4V	3-Achsen-Fräsen
Structural Study 1 - Outcome 5		85 %	In Verarbeitung	Titan 6Al-4V	5-Achsen-Fräsen
Structural Study 1 - Outcome 6	⚠	2 %	Abgeschlossen	Titan 6Al-4V	Druckgießen
Structural Study 1 - Outcome 7		95 %	Konvergiert	Aluminium 6061	3-Achsen-Fräsen
Structural Study 1 - Outcome 8		94 %	In Verarbeitung	Aluminium 6061	5-Achsen-Fräsen
Structural Study 1 - Outcome 9	⚠	26 %	Abgeschlossen	Aluminium A356 T6	Druckgießen
Structural Study 1 - Outcome 10		26 %	Abgeschlossen	Aluminium AlSi10Mg	Unbegrenzt
Structural Study 1 - Outcome 11		80 %	Konvergiert	Aluminium AlSi10Mg	Additiv

Abbildung 7: Gesamtübersicht in tabellarischer Form zur Unterstützung der Entscheidungsfindung

Des Weiteren existiert die Möglichkeit eines direkten Vergleichs von ausgewählten Varianten mittels graphischer Farbverlaufsdarstellung der auftretenden Spannungen und Verformungen.

2.3.3 Ausgewählte Designvariante

Innerhalb der betrachteten Designvorschläge ist in Abbildung 8 die Variante mit dem geringsten Stückpreis und einer Herstellung mittels additiver Fertigung dargestellt, die in Bezug auf alle gestellten Anforderungen die beste Lösung darstellt. Das zweite Optimierungsziel, nämlich eine möglichst geringe Masse, bei einem Sicherheitsfaktor von 2 in Bezug auf die eingeleiteten, statisch wirkenden Kräfte, stellt eine Reduzierung gegenüber der Ausgangsgeometrie um 1620 g dar, was einer Gewichts- und Materialeinsparung von ca. 68 % entspricht.

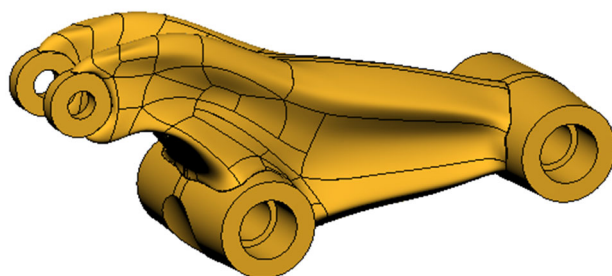


Abbildung 8: Endergebnis des Generative Design Prozesses für den Umlenkhebel [18]

3. Diskussion der Ergebnisse

Durch die umfangreichen Möglichkeiten der Ergebnisbetrachtung, ist eine eingehende Interpretation der Lösungsvorschläge sehr wichtig und, wie beschrieben, aufgrund der vielfältigen graphischen Darstellungsmöglichkeiten, zur Unterstützung der Entscheidungsfindung sehr gut möglich, was als eines der größten Vorteile beim Einsatz einer solchen Software ist.

Neben dem gezeigten Beispiel kann es jedoch sein, dass deren Einsatz, bzw. die daraus resultierenden Designvorschläge, nicht immer zielführend sind. Das heißt z.B., dass auch bei einer mehrstündigen Generierung, der Algorithmus Designvarianten ausgibt, die in der Praxis nicht umsetzbar sind.

Sobald eine gewisse Erfahrung im Umgang mit einer solchen Software vorhanden ist, so entstehen meist verwendbare Designvorschläge, welche die Anforderungen meist erfüllen, wenn nicht sogar übertreffen. So war mit dem Programm Fusion 360 sogar die Erstellung einer Studie für ein so komplexes Modell, wie ein Motorradrahmen möglich (Abb. 9), bei dem nicht, wie bei den Topologieoptimierungsprogrammen Material nur entfernt wird, sondern bei den zu schwach ausgeführten Bereichen auch hinzugefügt wurde. Als Casus knaxus gilt aber auch hier, wie bei allen Simulationsprogrammen, eine korrekte Eingabe der Randbedingungen.

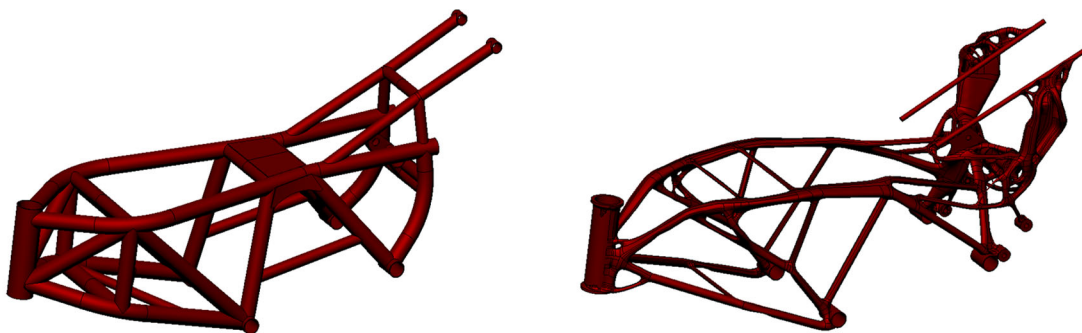


Abbildung 9: Optimierungsergebnis eines Motorradrahmens durchgeführt mit Fusion 360 [18]

4. Fazit und Ausblick

Um eine erfolgreiche Umsetzung eines Generative Design Prozesses zu erreichen, bedarf eines umfangreichen Vorwissens über mögliche Probleme bei der Generierung. Eine wirkliche Zeitersparnis kann nur dann erreicht werden, wenn die Bauteilgenerierung durch die Software zielführende, das heißt umsetzbare Entwurfsvorschläge generiert, was wiederum von sinnvollen Eingabeparametern, also von der Person und deren Fähigkeiten, die vor dem Computer sitzt maßgeblich abhängt, ebenso die Beurteilung und Auswahl der generierten Entwurfsvorschläge. Sind die genannten Voraussetzungen jedoch gegeben, kann diese Form der Computerunterstützung ein hervorragendes Werkzeug sein, welches vor allem in einer frühen Konstruktionsphase erfolgreich eingesetzt werden kann. Generative Design Software befindet sich im Augenblick noch in der Entwicklung, besitzt aber das Potential den Entwurfsprozess in Zukunft maßgeblich zu beeinflussen. In Kombination mit den Möglichkeiten der additiven Fertigungsverfahren und durch entsprechend Weiterentwicklungen, ist es vorstellbar, dass diese Technologie in Zukunft zu einem mächtigen Entwicklerwerkzeug für konstruktive Fragestellungen werden kann.

Interessenskonflikte

Es besteht kein Interessenskonflikt, in Form von Abhängigkeiten oder Unterstützungen durch Firmen oder etwaige Geldgeber.

Literaturnachweis

- [1] Jackson, C.: Empowering engineers with generative design and facet modeling. LC-Insight LLC (2017)
- [2] La Rocca G, H.: Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design, 2012
- [3] Josef-Martin Kraus, Gewichtseinsparung bei Gussteilen ohne Steifigkeitsverlust MM MaschinenMarkt 27.11.2007
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/gewichtseinsparung-bei-gussteilen-ohne-steifigkeitsverlust-a-99382/>; Abrufdatum 22.09.2021
- [4] Simon, W.: Künstliche Intelligenz; Blick in die digitale Zukunft. Was man über künstliche Intelligenz, Algorithmen, Roboter und die Folgen wissen muss. Norderstedt: Books on Demand 2019
- [5] Wikipedia; Begriff „Künstliche Intelligenz“
https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz; Abrufdatum 22.09.2021
- [6] Sunnersjö, S.: Intelligent Computer Systems in Engineering Design. Principles and Applications. Studies in Systems, Decision and Control, Bd. 51. Cham: Springer International Publishing; Springer 2018
- [7] Zwettler, M: [*Was ist eigentlich Generatives Design?*](#)
In: *Konstruktionspraxis*. Vogel Communications Group, 19.Mai 2020; Abrufdatum 22.09.2021
- [8] Schröter, W.: Autonomie des Menschen – Autonomie der Systeme. Humanisierungspotenziale und Grenzen moderner Technologien. Sammlung kritisches Wissen. Mössingen-Talheim: Talheimer 2017
- [9] Generative Design; Designing Buildings Wiki 22 Jun 2021
https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Generative_design; Abrufdatum 22.09.2021
- [10] Leopold, C.; Herausgeber; Über Form und Struktur–Geometrie in Gestaltungsprozessen“; Springer-Vieweg; Springer Fachmedien Wiesbaden; 1. Auflage 2014
- [11] Steck, R.; Michel, S.: Zukunft der Konstruktion, MM Maschinenmarkt 05.07.2018
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/die-zukunft-der-konstruktion-a-731066/>;
Abrufdatum 22.09.2021
- [12] ELISE GmbH: Gaining insight into the latest knowledge.
Konsul-Smidt-Str. 8u, 28217 Bremen, Germany
ULR: <https://www.elise.de/resources/webinars/>; Abrufdatum 22.09.2021
- [13] ELISE: Visual Programming with Generative Engineering. URL:
<https://www.youtube.com/watch?v=DMZLanh3Vwk&t=47s>; Abrufdatum 22.09.2021
<https://www.youtube.com/watch?v=dedm4m8343g>; Abrufdatum 22.09.2021
- [14] Eine Einführung zum generativen Design,
<https://formlabs.com/de/blog/generatives-design/>; Abrufdatum 25.09.2021
- [15] MSC Software, 5161 California Ave. Suite 200, Irvine, CA 9261; USA
<https://www.mssoftware.com/About-MS-Software>; Abrufdatum 25.09.2021
- [16] Autodesk; US-amerikanisches Software-Unternehmen
<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features> ; Abrufdatum 25.09.2021
- [17] Cloudbasiertes CAD-Entwicklungsprogramm Fusion 360
<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features> ; Abrufdatum 25.09.2021
- [18] Metzger, M.; Untersuchung künstlicher Intelligenz im Bereich der Konstruktion mit Generativer Design Software; Bachelorarbeit Hochschule Landshut, Wintersemester 2020/21