Kurzbericht

KI4KMU

Vorhabenbezeichnung:	**Verbundprojekt KiTo: KI-gestützte automatisierte Topologieoptimierungs-Prozesskette**
Förderkennzeichen:	01IS21050 A-B
Förderung:	*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS21050 A-B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren*

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2021 bis 31.08.2023
Berichtszeitraum:	01.09.2021 bis 31.08.2023

Zuwendungsempfänger und Autoren

ProductionToGo GmbH Reutäckerstraße 7, 76307 Karlsbad	Maximilian Neck
Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT, Am Schleusengraben 14, 21029 Hamburg-Bergedorf	Yanik Senkel, Fabian Schöfer

1. Aufgabenstellung

Hauptziel des Projektes KiTo ist die Entwicklung einer prototypischen Softwarelösung zur Umsetzung einer automatisierten Topologieoptimierungs-Prozesskette unter Anwendung der Methoden der Künstlichen Intelligenz / des Maschinellen Lernens (ML). Um das obere Hauptziel zu erreichen, sollen folgende Teilziele in dem Projekt adressiert werden:

- Aufbau und Erweiterung einer Bauteildatenbank
- Entwicklung eines ML-Algorithmus zur automatisierten Erkennung der geometrischen Randbedingungen für eine automatisierte Topologieoptimierung
- Zusammenführung oberer Softwarekomponente mit einer bereits vorhandenen Lösung zur automatischen Abschätzung der mechanischen Randbedingungen und damit
- Schaffung einer Gesamtsoftwarelösung zur automatisierten Topologieoptimierung von Strukturbauteilen

Die automatisierte Prozesskette soll den Zeitaufwand für die Vorbereitung einer Optimierung von Bauteilen reduzieren. Durch die Verbindung des Leichtbaus und damit der Additiven Fertigung mit Methoden der KI sollen gezielt Potentiale dieser Technologien gehoben und die Erschließung der entsprechenden Märkte erleichtert werden.

2. Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn des Projektes

Bislang existieren in der Literatur lediglich vereinfachte Lösungen, um das Kosten- und Leichtbaupotential von Bauteilen abzuschätzen [Lin15] [Smi16] [Kra17] [Rud18] [Cha20] [Kad20] [Len20] [Yan20]; eine automatisierte Topologieoptimierung wird nicht durchgeführt. Hierbei sind insbesondere die Publikationen von Rudolph [Rud18] und Yang et al. [Yan20] hervorzuheben, die sich explizit mit der Automatisierung durch Software beschäftigen. Zur Identifizierung des Leichtbaupotentials werden z.B. die Leichtbaukennzahlen von Schmidt herangezogen [Smi16] oder das Punktesystem von Kranz verwendet [Kra17]. Die Kostenbewertung erfolgt typischerweise anhand von Kostenmodellen unterschiedlicher Komplexität [Gru15] [Smi16] [Ruf07]. Einen ersten Schritt in Richtung automatisierte Topologieoptimierung liefert die Software CogniCAD der Firma ParaMatters. Damit lassen sich die Belastungsfälle von Strukturbauteilen ohne zusätzlichen Input abschätzen. Die Definition von geometrischen Randbedingungen, die für eine Topologieoptimierung ebenfalls notwendig sind, erfolgt hierbei jedoch immer noch manuell in einer externen Software.

3. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt KiTo ist in vier Arbeitspakete aufgeteilt:

- AP 1: Anforderungsdefinition (**PTG**):

AP1 dient dazu den Grundstein für die weiteren Entwicklungen zu legen. Dazu wird zunächst durch ein Softwarebenchmark eine für das Vorhaben geeignete Software definiert. Anschließend werden notwendige Dateninhalte und Typen als Vorbereitung für AP2 festgelegt.

- AP 2: Erstellung und Analyse einer Bauteildatenbank (**PTG**):
  Ziel dieses Arbeitspaketes ist der Aufbau einer Bauteildaten aus bestehenden (PTG) und neuen Modellen (IAPT) entsprechend der in AP1 definierten Inhalten.

- AP 3: Entwicklung eines intelligenten Algorithmus (**IAPT**):
  Dieses Arbeitspaket dient der Untersuchung und Entwicklung von verschiedenen Algorithmen und Metriken zur semantischen Segmentierung der Bauteile aus AP2 durchgeführt vom IAPT.

- AP 4: Implementierung und Validierung (**PTG**):
  Das letzte AP dient der prototypischen Implementierung des trainierten Algorithmus (IAPT) um die vollständige Prozesskette abzubilden und diese mit dem manuellen Prozess vergleichen zu können (PTG).

4. Wesentliche Ergebnisse

- Umfangreiche Analyse der am Markt verfügbaren Optimierungslösungen mit anschließendem Benchmark und Verwertung in Form eines öffentlich zugänglichen Whitepapers.
- Aufbau einer umfangreichen Datenbank aus vorhandenen und neuen öffentlichen Geometrien und den dazugehörigen Lastfällen.
- Sieben verschiedene Konzepte zur semantischen Segmentierung bewertet und getestet.
- Weiterentwicklung der ausgewählten UV-Net Architektur zur Feinanpassung.
- Training eines Algorithmus mit unterschiedlichen Klassifizierungsansätzen. Dabei wurden je nach Ansatz und Menge der genutzten Daten Genauigkeiten zwischen 50 - 100% erreicht. Mit den im Projekt gesammelten Daten lässt sich eine hohe Prognosegenauigkeit bei einem zweiklassigen Ansatz zur Bestimmung von Design bzw. Non-Design Bereichen erzielen. Für diesen Einsatzzweck lässt sich eine Automatisierung der Zuweisung mithilfe des KI-Ansatzes umsetzen. Die Prognosegenauigkeit bei komplexeren Geometriemerkmalen erfordert mehrklassige Ansätze. Bis Projektende reichte die Datenbasis für diese Ansätze aber nicht aus.
- Aufbau einer prototypischen Prozesskette mit der Software CogniCAD.

Schlussbericht

KI4KMU

Vorhabenbezeichnung:	**KiTo: KI-gestützte automatisierte Topologieoptimierungs-Prozesskette**
Förderkennzeichen:	01IS21050 A-B
Förderung:	*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS21050A-B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.*

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2021 bis 31.08.2023
Berichtszeitraum:	01.09.2021 bis 31.08.2023

Zuwendungsempfänger und Autoren

ProductionToGo GmbH Reutäckerstraße 7, 76307 Karlsbad	Maximilian Neck
Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT, Am Schleusengraben 14, 21029 Hamburg-Bergedorf	Yanik Senkel, Fabian Schöfer

Inhaltsverzeichnis

1. Eingehende Darstellung der Ergebnisse 4
1.1 AP 1: Anforderungsdefinition (PTG/IAPT) 4
1.2 AP 2: Erstellung Analyse einer Bauteildatenbank (PTG/IAPT) 5
1.3 AP 3: Entwicklung eines intelligenten Algorithmus (IAPT) 7
1.4 AP 4: Implementierung und Validierung (PTG) 9
2. Nutzung und Verwertbarkeit der Ergebnisse 10
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 11
4. Relevante Ergebnisse Dritter 11
5. Verwendung der Zuwendung 11
5.1 ProductionToGo 11
5.2 Fraunhofer IAPT 12
6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen 12

1. Eingehende Darstellung der Ergebnisse

1.1 AP 1: Anforderungsdefinition (PTG/IAPT)

1.1.1 AP 1.1: Klären der Randbedingungen

In diesem Arbeitspaket wurden die Grundlegenden Anforderungen an eine Optimierungssoftware vor dem Hintergrund einer automatisierten Prozesskette definiert. Als einer der wichtigsten Merkmale wurden die Schnittstellen und Übergabeformate festgelegt, ohne die eine Software nur bedingt in einen automatisierten Prozess eingebunden werden kann. Darüber hinaus wurde der notwendige Funktionsumfang einer Software definiert und eine Liste an Kriterien und Funktionen aufgestellt. Außerdem wurden drei Anwendungsbeispiele (Kragbalken, Bracket, Radträger) siehe Abbildung 1 in unterschiedlicher Komplexitätsstufen ausgewählt, die im Test der einzelnen Software Tools genutzt wurden.

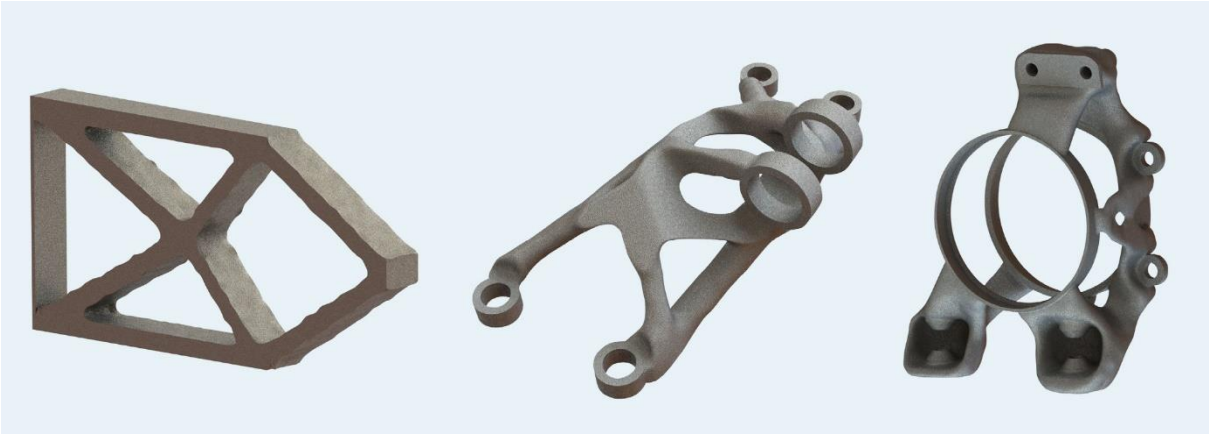

Abbildung 1: Anwendungsbeispiele für den Benchmark

Damit war die Basis für das folgende Benchmarking vorhanden.

1.1.2 AP 1.2: Benchmarking und Auswahl der Softwareframeworks

Für das Benchmarking wurden Kontakt mit jedem Softwareunternehmen aufgenommen und damit die korrekte Beantwortung der Anforderungen an die Software aus AP1.1. sichergestellt. Anschließend wurden Testversionen beantragt und die Anwendungsbeispiele in den jeweiligen Tools durchgespielt und die Funktionsweise nochmals überprüft.

Folgende Tools wurden bei dem Benchmark betrachtet:

- IAPT - Altair Hyperworks, Altair Inspire, Apex Generative Design, nTopology
- PTG – CogniCAD, Fusion360, Liveparts

Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde bewusst auf kleinere Softwarelösungen gelegt, um der Community Alternativen zu den großen Playern (wie Comsol, Siemens NX, Dassault Systemes, Ansys) aufzuzeigen. Der Benchmark wurde wesentlich intensiver durchgeführt als im Antrag ursprünglich geplant, um für die Community eine repräsentative Übersicht von auf

dem Markt befindlichen Lösungen (als Alternativen zu den bekannten großen Lösungen) zu schaffen. Zu diesem Zeitpunkt war uns keine Benchmark entsprechender Software bekannt, daher wurde in aufwendiger Zusammenarbeit ein Whitepaper mit dem Titel: „Selected Overview of Software for Topology Optimization“ verfasst und auf der Formnext 2022 am Messestand von PTG sowie IAPT veröffentlicht.

Zum Abschluss der Arbeiten in diesem AP wurde eine Software für den weiteren Verlauf ausgewählt. Theoretisch wären mehrere Tools in der Lage gewesen automatisiert eine Optimierung ablaufen zu lassen. Lediglich die Software CogniCAD, bietet als einzige ein Modul zur automatisierten Abschätzung von Kraftrandbedingungen. Aus diesem Grund wurde die Software CogniCAD ausgewählt und angeschafft.

1.1.3 AP 1.3: Definition von Schnittstellen und Übergabeformate

Auf Basis der ausgewählten Software CogniCAD wurden in AP 1.3 ein Konzept für die folgende Datenbank erstellt. Das Konzept definiert alle notwendigen Informationen, Daten-Formate und Art der Speicherung. Für jeden Eintrag in der Datenbank wurde eine STEP Datei angelegt die durch eine zusätzliche Excel Tabelle mit weiteren Informationen wie den Lastfall oder das Material ergänzt wurde. Für eine automatisierte Verknüpfung von Lastfall und STEP Geometrie wurde die Geometrie in einzelne Volumina unterteilt. Es wurden jeweils die Bereiche von der Hauptgeometrie abgespalten auf die eine Mechanische Randbedingung aufgebracht wird, auch Non-Design Space genannt. Für eine korrekte Zuordnung der Randbedingungen zu den Volumen wurde eine festgelegte Benennung eingeführt welche eine korrekte Zuordnung der Randbedingung aus dem Excel-File zu den Volumen im STEP-File ermöglicht (beispielhaft dargestellt in Abb. 2).

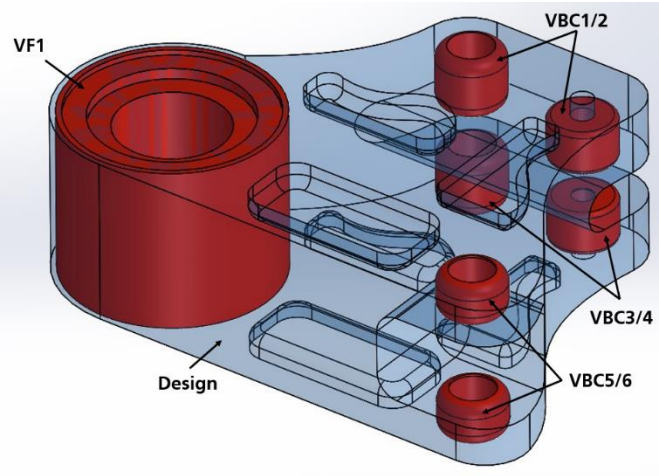

Abbildung 2: Segmentierung eines Bauteils

1.2 AP 2: Erstellung Analyse einer Bauteildatenbank (PTG/IAPT)

1.2.1 AP 2.1: Überprüfen und Einpflegen vorhandenen Datensätze

Das IAPT hat 35 vorhandene Datensätze aus vergangenen Projekten überprüft und davon 24 Datensätze ausgewählt und in die Datenbank eingepflegt. PTG hat 70 vorhandene Datensätze aus vergangenen Projekten überprüft und in die Datenbank eingepflegt.

1.2.2 AP 2.2: Zusammenstellen von (neuen) CAD-Daten und Lastfällen

Es wurden in AP 2.2 auch neue CAD-Daten und Lastfälle erfasst. Dabei wurde vom IAPT auf eine öffentliche Datenbasis zurückgegriffen. Als Basis dieses neuen Datensatzes diente die Unterkategorie Assembly-Joint des öffentlichen Fusion 360 Dataset. Dieser umfasst insgesamt 23.029 Bauteile unterschiedlicher Komplexität und verschiedener Anwendungsgebiete. Zur Reduktion des Zeitaufwandes bei der manuellen Sichtung wurde dieser zunächst algorithmisch, anhand von aus repräsentativen Bauteilen extrahierten Metainformationen, gefiltert und hierdurch auf 12.903 Einträge reduziert. Von diesen wurden im Anschluss ca. 2000 Bauteile manuell gesichtet, wobei 233 Bauteile als vielversprechend identifiziert wurden, um sie für das Training des neuronalen Netzwerks zu verwenden. Informationen über die Lastfälle sind im Fusion 360 Dataset nicht enthalten, was ein anschließendes Labeln der Daten notwendig machte. Dieser Vorgang wurde manuell durchgeführt. Zur Beschleunigung des Sichtungs- und anschließenden Klassifizierungs-

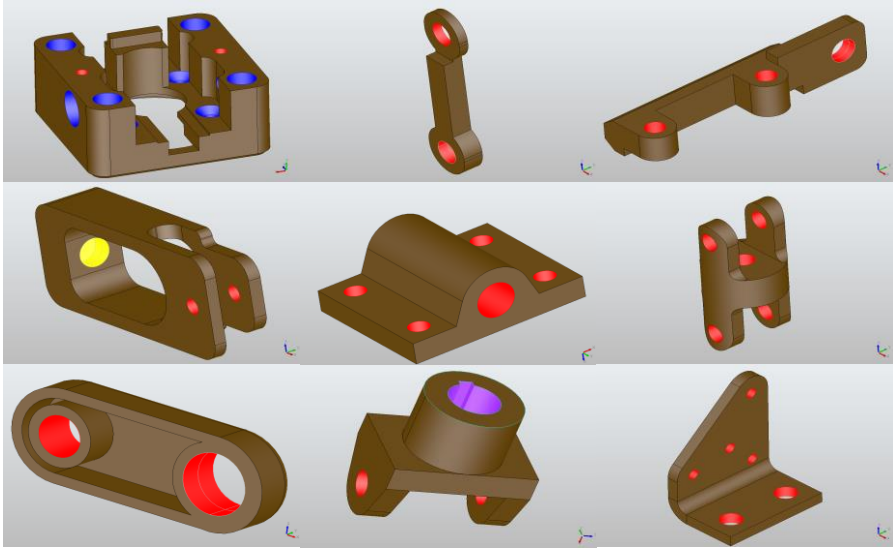

Abbildung 3: Ausschnitt aus gelabelten Daten

prozesses wurde für diese Vorgänge eine Software mit grafischer Oberfläche entwickelt und verwendet. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus der grafischen Oberfläche mit einer Auswahl an gelabelten Daten aus dem öffentlichen Fusion 360 Datensatz. Zusätzlich zu diesem öffentlichen Datensatz hat PTG in der Projektlaufzeit 145 neue Datensätze zusammengestellt.

1.2.3 AP 2.3: Definition von Randbedingungen und Topologieoptimierung

Die weitere Verarbeitung der Daten stand in diesem AP im Fokus. Zur Füllung der Datenbank wurden die in AP 2.1 gesammelten Daten in einem aufwendigen manuellen Prozess Segmentiert und zur Überprüfung der Daten eine einfache Optimierung durchgeführt.

1.2.4 AP 2.4: Analyse und Bereinigung der Daten

1.3 AP 3: Entwicklung eines intelligenten Algorithmus (IAPT)

Das Arbeitspaket wurde vom IAPT vollständig bearbeitet. Dabei wurden Trainings und Qualitätsmetricken in Form von Loss und IuO definiert. Zur Umsetzung einer automatisierten Topologieoptimierung wurden zwei verschiedene Klassifizierungsansätze verfolgt:

- Ansatz 1 unterscheidet Formelemente eines Bauteils nach Zugehörigkeit zu Maschinenelementen mit denen Kraft- oder Momenten Übertragung möglich sind (bspw. Bohrungen, Passfedern oder Bolzen). Nach Ausschluss von nur selten vorkommenden Klassen ergab sich daraus ein Datensatz mit 5-klassiger Klassifizierung. Durch diesen Ansatz sollte die Erkennung von Non-Design Bereichen umgesetzt werden.
- Ansatz 2 unterscheidet Formelemente nach ihrer Zugehörigkeit zur Art der mechanischen Randbedingung die an ihr angreift (Load-Feature, Support-Feature, Non-Design-Feature). Daraus entstanden zwei Datensätze, jeweils mit einer 3-klassigen Klassifizierung sowie einer 2-klassigen Klassifizierung (Design- vs. Non-Design Feature). Ansatz 2 sollte in verschiedenen Komplexitätsstufen die Zuordnung von Design bzw. Non-Design sowie Load und Support-Feature vorhersagen.

1.3.1 AP 3.1 Definition von Metricken

Zur Definition der für die Topologieoptimierung relevanten Metriken wurden jene Verbindungen untersucht, welche Kräfte und/oder Momente übertragen. Beispiele hierfür sind Sacklochbohrungen, Durchgangsbohrungen oder Lagerabsätze. Weitere Verbindungen nach dem Formschlussprinzip wurden aus Mangel von offensichtlichen Formmerkmalen nicht berücksichtigt. Auf diese Weise wurden Features identifiziert und auf ihre geometrischen Eigenschaften hin analysiert. Aus den hierbei erkannten Geometrieeigenschaften wurden wahrscheinliche Metriken, wie beispielweise die Kanten-Konvexität, abgeleitet.

1.3.2 AP 3.2 Entwicklung und Gegenüberstellung verschiedener Ansätze

Aufbauend auf aktuellen Forschungsergebnissen wurden sieben verschiedene Konzepte zur semantischen Segmentierung identifiziert und bewertet. Der Vergleich fand auf Basis öffentlicher Datensätze MFCAD und ABC statt. Die Architekturen CADNet und UV-Net erzielten hierbei, mit einer geringen Parameteranzahl und einer hohen Genauigkeit pro Fläche, die besten Ergebnisse. Aufgrund der kompakten Repräsentation von Topologie und Geometrie sowie der Flexibilität der Architektur, wurde UV-Net zur weiteren Verwendung ausgewählt.

1.3.3 AP 3.3 Training und Feinanpassung des Algorithmus

Das Training des Algorithmus wurde anhand des zunächst vorhandenen Datensätze durchgeführt. Die erzielten Genauigkeiten bei der Vorhersage unbekannter Bauteile wies erhebliche Unterschiede auf, je nach angewandtem Klassifizierungsansatz. Am besten schnitt

hierbei die zweiklassige Klassifikation nach Zugehörigkeit zum Design- oder Non-Design-Bereich ab. Mit diesem Ansatz konnten durchschnittliche Genauigkeiten von zunächst ca. 90% erreicht werden, da die zu erkennenden Flächen alle zylindrische Form sind und sich somit klar vom restlichen Bauteil abgrenzen. Das neuronale Netzwerk ist daher in der Lage, auch mit einem relativ kleinen Datensatz von 233 Bauteilen, Verallgemeinerungen zu bilden. Die beiden anderen Ansätze mit höherer Klassifizierung, führten zu relativ niedrigen Prognosegenauigkeiten im Bereich von 50% - 60%. Dies ist hauptsächlich auf den kleinen Datensatz zurückzuführen, der verwendet wurde, um eine komplexere drei- oder fünfklassige Klassifizierung zu erreichen, wodurch dem neuronalen Netzwerk nicht genügend Trainingsdaten zur Verfügung standen, um alle Klassen zu erlernen.

In einem zweiten Durchgang des Trainings konnte durch Hinzunahme der Datensätze von PTG eine Steigerung der Prognosegenauigkeit, des zwei-klassigen Ansatzes, auf bis zu 100% erreicht werden. Die komplexeren Ansätze mit drei bzw. fünf Klassen wurden aufgrund des weiterhin zu geringen Datensatzes nicht weiterverfolgt.

Die Netzwerkarchitektur UV-Net hatte sich in AP 3.2 bereits als der vielversprechendste Kandidat herausgestellt. Zur Feinanpassung wurde auf Basis der zuvor ermittelten Metriken die Netzwerkarchitektur um verschiedene Knoten-, Kanten- und Graphen-Attribute erweitert (siehe Abb.3) und anschließend anhand verschiedener Datensätze verglichen. Das Modell, welches zusätzlich Attribute zur Beschreibung der Kanten-Konvexität verwendet, konnte bei der Auswertung des GE-Brackets1 eine Genauigkeit von 97% und eine Intersection over Union (IoU)2 von 98% erreichen. Das entspricht einer Verbesserung von 6% und 3% gegenüber dem ursprünglichen UV-Net.

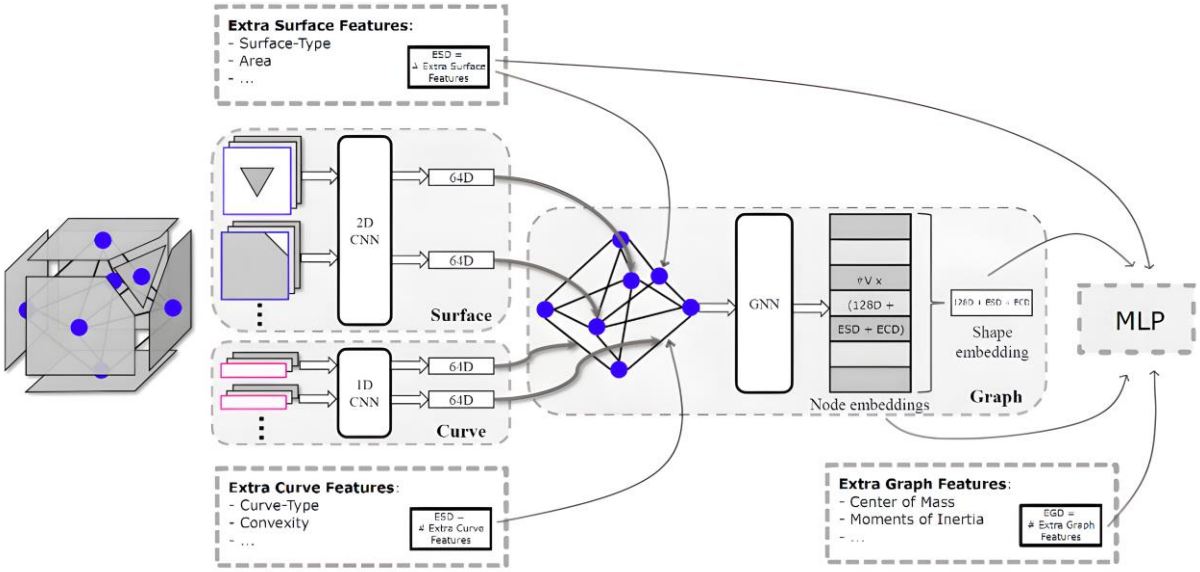

Abbildung 4: Angepasste UV-Net Architektur

1.4 AP 4: Implementierung und Validierung (PTG)

1.4.1 AP 4.1: Prototypische Implementierung des Algorithmus

Im Zuge des prototypischen Aufbaus der Prozesskette mit CogniCAD wurden die in AP 1.3 definierten Schnittstellen aufgrund der Übernahme von ParaMatters durch Carbon3D und damit einhergehende Veränderung der Schnittstellen überarbeitet und neu definiert. Die neu definierten Schnittstellen wurden dann programmiert und der Automatisierungsansatz aufgrund der Änderung der APIs angepasst. Zudem wurde die Datenlogik für eine Automatisierung der Durchführung der Topologieoptimierung in der Software CogniCAD optimiert und prototypisch implementiert. Im Anschluss wurden die automatisierten Prozessschritte zu einer Gesamtlösung zusammengefasst.

1.4.2 AP 4.2: Validierung der Gesamtsoftware

Hier wurde die Gesamtlösung im ersten Schritt mit bereits erstellten Datensätzen getestet und optimiert. In Abbildung 5 sind die Ergebnisse der Lösung beispielhaft an einer Auswahl an Datensätzen dargestellt. Im Anschluss wurde der Algorithmus mit neuen Daten getestet und erfolgreich validiert. Der Prozessschritt zur Geometrieerkennung konnte auf Basis der ausgewählten Merkmale weitgehend automatisiert werden. Je nach Bauteil und Komplexität kann eine Zeitersparnis im Vergleich zum manuellen Prozess von bis 90% realisiert werden.

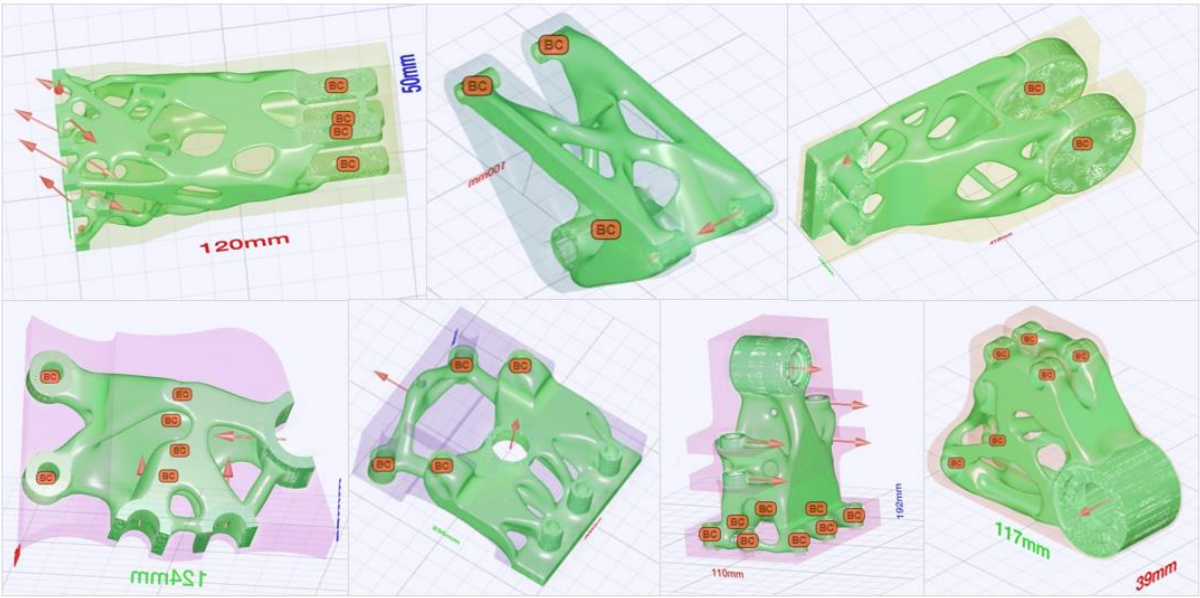

Abbildung 5: Auswahl an Optimierungsergebnissen

2. Nutzung und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes KiTo konnte das Fraunhofer IAPT weitreichendes Know-How in der Automatisierung von digitalen Entwicklungsprozessen, den Funktionalitäten und Schnittstellen von Topologieoptimierungs-Tools gewinnen. Die erworbenen Kompetenzen im Bereich des Machine-Learnings, insbesondere in der Segmentierung von Geometrien und Erkennung von Bauteileigenschaften als Werkzeug für eine automatisierte Topologieoptimierung sorgten für einen weiteren Wissensaufbau am Fraunhofer IAPT. Die entstandene Datenbasis kann fortan erweitert werden und die entwickelten Ansätze somit jederzeit in ihrer Prognosegenauigkeit verbessert werden.

Die aufgebaute Datenbasis kann für weitere Forschungsprojekte zur Designautomatisierung, welcher einen Schwerpunkt der Forschungsgruppe am IAPT darstellt, genutzt werden. Da der Aufbau einer Datenbasis immer mit hohem Aufwand verbunden ist und einen großen Teil dieses Forschungsprojektes ausgemacht hat, kann dieser Aufwand für zukünftige Projekte deutlich reduziert werden.

ProductionToGo konnte im Laufe des Projektes ein weitreichendes Know-How im Bereich der Prozessautomatisierung der Topologieoptimierung aufbauen.

Zudem plant PTG den Verkauf von Beratungsleistungen und der Softwarelösung. Softwarelizenzen sollen primär als Mietlizenzen oder Software-as-a-Service angeboten werden. Hier arbeitet PTG an der Vorbereitung des Marketing- und Vertriebskanals.

Die erstellte Datengrundlage und die gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere diejenigen zur Merkmalserkennung in CAD-Geometrien, können für andere Fragestellungen genutzt werden, die in wissenschaftlichen Projekten angegangen werden können.

Mittelfristig denkbar sind beispielsweise die Anwendung auf andere Fertigungstechnologien, langfristig auch die Entwicklung einer KI-basierten Synthese von CAD-Topologien.

Auch ist eine Auftragsentwicklung für Industriepartner basierend auf den entwickelten Algorithmen denkbar. Zudem kann die Datenbank für weitere Projekte im Bereich der ToOp genutzt werden Erste Gespräch mit einem Anbieter einer Toplogieoptimierungssoftware hinsichtlich einer vollständigen Integration in die Softwareplattform laufen.

Ebenso wird die Nutzung der Forschungsergebnisse in Folgeprojekten bewertet und evaluiert.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die dargestellten Arbeiten wurden anhand des Projektplanes durchgeführt und bilden die Grundlage für einen erfolgreichen Projektabschluss. Alle geleisteten Arbeiten entsprachen beantragten, begutachteten, befürworteten und bewilligten Arbeiten. Somit waren diese Arbeiten notwendig und angemessen, um das Hauptziel des Forschungsvorhabens zu erreichen.

4. Relevante Ergebnisse Dritter

Im Verlauf des Forschungsprojekts wurden keinerlei externe Dienstleistungen oder Beiträge von Dritten in Anspruch genommen. Alle erzielten Ergebnisse beruhen vollständig auf der Arbeit des internen Projektteams, ohne dass auf fremde Ressourcen oder Kooperationen zurückgegriffen wurde. Dadurch sind keine Ergebnisse entstanden, die auf den Arbeiten oder Leistungen Dritter basieren.

Darüber hinaus wurde während des gesamten Projektverlaufs intensiv die wissenschaftliche Fachliteratur und aktuelle Publikationen in diesem Forschungsfeld überprüft. Es konnte lediglich eine Veröffentlichung identifiziert werden, die auf parallele Entwicklungen oder ähnliche Forschungsvorhaben externer Akteure in diesem spezifischen Bereich hinweist. Das Paper von: Winkler, M., Jacobs, G., Gessert, J., Konrad, C., & Keßler, S. (2023). Automation in Active Surface-Based Design Generation for Additive Manufacturing. In Innovative Product Development by Additive Manufacturing 2022 (pp. 17-30). Cham: Springer International Publishing, beschreibt einen Ansatz zur algorithmischen Identifikation von Non-Design Features, jedoch nicht die Anwendung von maschinellem Lernen zur Identifikation.

Somit gibt es keine Hinweise darauf, dass während des Projektzeitraums signifikante wissenschaftliche Fortschritte oder Erkenntnisse durch Dritte erzielt wurden, die mit den Zielen dieses Projekts vergleichbar wären.

5. Verwendung der Zuwendung

5.1 ProductionToGo

- 1 Angestellte mit abg. Bachelor-/ Masterstudium 34 PM
- Geräte: keine
- Software und Lizenzen:
  - 2 x Einzelplatzjahreslizenz CogniCAD: je 15.000 €
  - 1 x 2-Jahreslizenz CogniCAD Cloud: je 60.000 €
- Leistungen Dritter: keine
- Reisekosten: 2.500 €

5.2 Fraunhofer IAPT

- 1 Ang. M. abg. wiss. Ausbildung, Dr. Dipl.-Ing. Uni, Master (HPA A): 28 PM
- 1 stud. Hilfskraft: 24 PM
- Geräte: keine
- Software und Lizenzen:
    - 2 x Einzelplatzjahreslizenz CogniCAD: je 15.000 €
- Leistungen Dritter: keine

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Veröffentlichungen:

1 Selected Overview of Software for Topology Optimization – Whitepaper Formnext 2022

2 Schöfer, F.: Toward Automated Topology Optimization: Identification of Non-Design Features of CAD Models Using Graph Neural Networks, Luzern, Schweiz, AMPA 2023

Vorträge:

Referent/in	Titel	Ort	Anlass	Datum
Fabian Schöfer	Toward Automated Topology Optimization: Identification of Non-design Features of CAD Models Using Graph Neural Networks	Luzern	AMPA 2023	12.09.2023