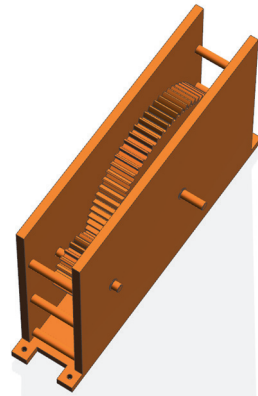


## Flexibilisierungspotenziale von HLCts in der Design Automation

Meyer, J.; Ravichandran, D.; Inkermann, D.

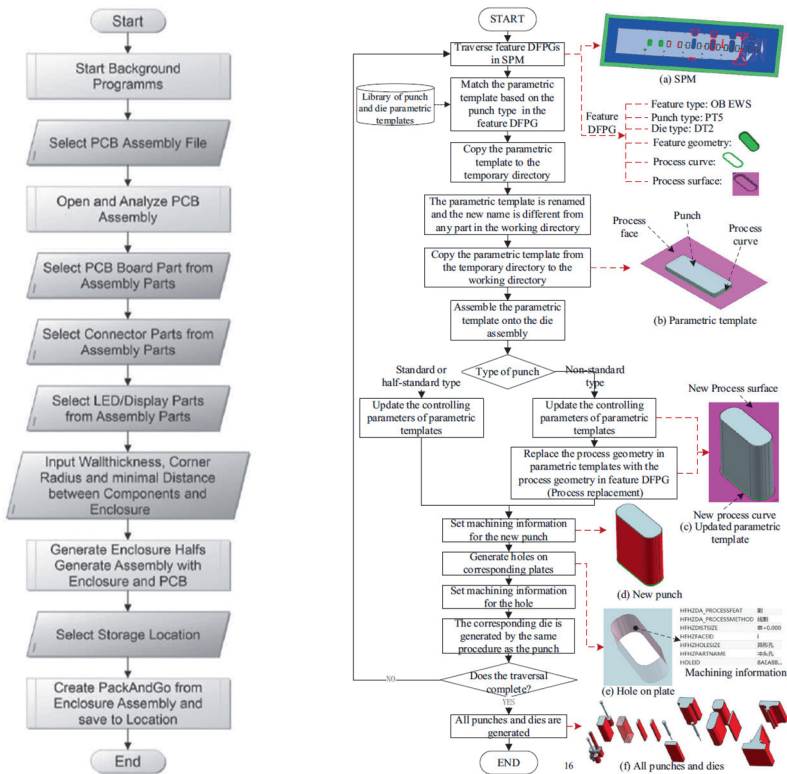
*High-Level-CAD-Templates (HLCt) sind ein verbreitetes Prinzip der Design Automation. Diese sind hochparametrisierte Grundmodelle für einen bestimmten Konstruktionszweck, die Varianten oder Designänderungen eines Produktes ableiten. Allerdings sind jene oft auf einen spezifischen Anwendungsfall begrenzt und bieten durch ihren Vorlagencharakter wenig Flexibilität. In diesem Artikel wird an einem studentischen Use Case einer HLCt für ein Getriebe untersucht, welche Schritte sich für eine Flexibilisierung anbieten und wie diese sich als eine Designerweiterung für den Use Case eignen.*



*High-level CAD templates (HLCt) are a common principle in design automation. These are highly parameterized basic models for a specific design purpose, which derive variants or design changes for a product. However, they are often limited to a specific use case and offer little flexibility due to their template nature. This article uses a student use case of an HLCt for a gearbox to examine which steps can be taken to increase flexibility and how these are suitable as a design extension for the use case.*

### Einleitung und Problemstellung

Technische Konstruktionsaufgaben zu automatisieren, wird allgemein als Design Automation bezeichnet /1/. Ziel der Design Automation ist es, Konstruktionen, welche wiederholt in einer ähnlichen Form erstellt werden, zu automatisieren, sodass möglichst kein oder wenig menschliches Eingreifen notwendig ist /2/. Hierbei können Zeit und personeller Aufwand eingespart werden, was den Entwicklungsprozess verkürzt und dadurch Kosten senkt /2/. Eine Methode der Design Automation ist das High-Level-CAD-Template, kurz HLCt /3/. HLCts sind hochdetaillierte CAD-Vorlagen in Form eines vordefinierten Programmcodes, welche für einen bestehenden Konstruktionszweck erstellt werden. Dies können Abläufe aus einfachen Parameterkombinationen, aber auch hochkomplexe Berechnungsformeln für die Erstellung von Komponenten sein /3/. Abbildung 1 visualisiert zwei Beispiele von HLCts zur Generierung eines Elektronikgehäuses /4/ und eines Werkzeuges für die Blechverarbeitung /5/.



**Abbildung 1:** Beispiele für High-Level-CAD-Templates (HLCT), links: HLCT eines Elektronikgehäuses nach Gembarski /4/, rechts: HLCT eines Blechverarbeitungswerzeuges nach Kong /5/

Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, folgen beide HLCTs mit ihren Prozessschritten einer strengen Abfolge zur Generierung der Zielgeometrie. Dadurch ist die Flexibilität von HLCTs begrenzt. Um ein HLCT zu erstellen, ist je nach Ziel der HLCT ein mittlerer bis hoher Aufwand erforderlich. In jedem Fall kann das Ziel nur mit einem gewissen Änderungspotenzial flexibel angepasst werden. Somit kann es schnell passieren, dass für einen neuen Konstruktionsfall eine alte HLCT nicht mehr verwendet werden kann. Hieraus resultiert die Frage, wie HLCTs angepasst werden können, um eine höhere Flexibilität und somit die Anwendbarkeit für verschiedene Konstruktionsfälle zu ermöglichen. In diesem Beitrag wird daher untersucht, wie die Flexibilität im Allgemeinen erhöht werden kann. Dafür wird ein Use Case anhand einer am IMW generierten HLCT in Siemens NX Open durchgeführt. In diesem Use Case wird ein HLCT für ein Getriebe erstellt, das die Integration gebrauchter Elektromotoren in eine neue Produktgeneration eines Rovers ermöglicht.

## Forschungsziele und Fragen

Ziel dieses Beitrags ist es, zu klären, welche Potentiale für den flexiblen Einsatz von HLCts bestehen und durch welche Anpassungen diese Potentiale erschlossen werden können. Anhand des Use Cases der Getriebe-HLCt zur Integration gebrauchter Elektromotoren werden die Potenziale verdeutlicht. Hieraus wird ein Vorschlag für die Festlegung eines geeigneten Flexibilisierungsgrades abgeleitet. Dabei stehen folgende Forschungsfragen im Vordergrund:

1. Welche Anforderungen und Bedarfe gibt es für die Flexibilisierung von HLCts?
2. Wie können diese Bedarfe im Allgemeinen in HLCts umgesetzt werden?
3. Wie kann ein flexibilisierter HLCt implementiert werden, um verschiedene Konstruktionszwecke zu unterstützen?

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, wird im nächsten Kapitel eine genauere Übersicht über den bereits beschriebenen Use Case gegeben. Anschließend wird sich den Forschungsfragen zugewandt.

## Beschreibung des Use Cases und Randbedingungen für die Betrachtung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den betrachteten Use Case sowie die Randbedingungen gegeben, die notwendig sind, um die gestellten Forschungsfragen im nächsten Kapitel zielgerichtet zu beantworten.

Der zugrunde liegende Use Case stammt aus einer Masterarbeit. Mit dem Ziel eine ressourceneffiziente Kreislaufführung von Komponenten zu ermöglichen, sollen gebrauchte Komponenten in neue Produktgenerationen integriert werden (Reuse von Komponenten, vgl. Meyer 2025) /6/. Im LifeLab am IMW /7/ wird hierzu die Wiederverwendung von Elektromotoren aus Powertools in einer Roverplattform als Use Case verfolgt. Für diesen Prozess sind verschiedene Schritte notwendig. Von der Demontage aus einem alten Produkt über die automatisierte Analyse und Objektfassung des Elektromotors hin bis zur Lagerplatzbereitstellung stellen sich hier wissenschaftliche Fragen, welche im Rahmen verschiedener Projekte bearbeitet werden. Fokus dieser Arbeit ist die funktionale und geometrische Integration der gebrauchten Elektromotoren in die Roverplattform. Die Elektromotoren in diesem Use Case stammen aus alten Akkuschraubern (siehe Abbildung 2).



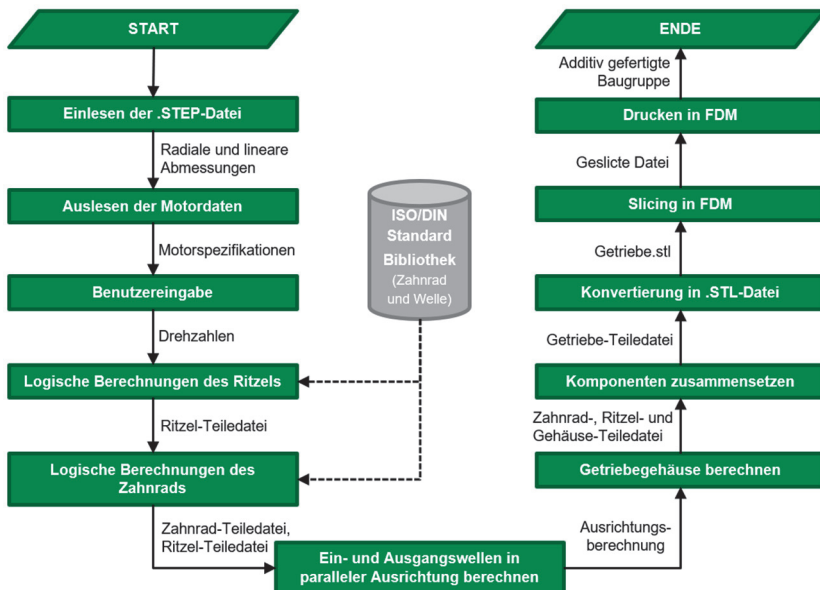
**Abbildung 2:** Use Case Wiederverwendung von Elektromotoren in neuen Produktgenerationen: links: gebrauchter Akku-Schrauber, mitte: extrahierter Elektromotor inkl. Getriebeeinheit, rechts: Liefer-Rover mit gebrauchten Komponenten

Die Elektromotoren werden paarweise in den Rover integriert, sodass jeder Elektromotor jeweils ein Rad des Rovers antreibt. Hierfür bedarf es aufgrund der hohen Eingangsdrehzahl der Elektromotoren einer Getriebestufe. Allerdings ist aufgrund der großen Variantenvielfalt an verbauten Elektromotoren in verschiedenen Akkuschaubern jeweils eine andere Übersetzung bzw. Getriebestufe notwendig, um einen konstanten Geschwindigkeits-Drehmoments-Bereich für den Rover zu ermöglichen. Für die Vielzahl von Elektromotoren ist es nicht zielführend, manuell für jeden Elektromotor eine eigene Getriebestufe zu konstruieren. Design Automation bietet hier durch vordefinierte Vorlagen (HLCT) eine Möglichkeit, den manuellen Konstruktionsaufwand zu reduzieren. Die Aufgabe besteht darin, eine automatisierte Getriebeerzeugung zur Integration der verschiedenen gebrauchten Elektromotoren zu erstellen. Hierbei sind einige Randbedingungen zu beachten:

- Es wird angenommen, dass alle notwendigen technischen Daten des Elektromotors bekannt sind.
- Die Elektromotoren weisen weder innere noch äußere Beschädigungen auf.
- Konstruktiv wird sich auf das Getriebe und die Schnittstelle zum Elektromotor fokussiert.
- Ein- und Ausgangswellen des Getriebes liegen jeweils auf der gegenüberliegenden Seite des Getriebes.
- Das Getriebe muss an der Unterseite verschraubt sein.
- Alle Komponenten des Getriebes müssen additiv als Baugruppe fertigbar sein.

Aus dieser Problemstellung wurde ein HLCT erstellt, welches in Abbildung 3 visualisiert ist. Auch hier werden sämtliche Parameter schrittweise weitergegeben und bieten nur wenig Flexibilität, da die Prozesskette stringent abgearbeitet werden muss. In diesem HLCT wird die STEP-Datei des Elektromotors eingelesen. Mit einer

Benutzerabfrage nach Ein- und Ausgangsdrehzahlen wird dann die Anschlussgeometrie des Elektromotors am Getriebe bestimmt und die Komponenten-Dateien erstellt. Genauer werden die Ritzel-Datei, die Zahnrad-Datei, die beiden dazugehörigen Wellen und anschließend das Getriebegehäuse berechnet. Diese Berechnungen erfolgen auf einer zwischengespeicherten Normen-Grundlage. Die fertig zusammengesetzte Getriebebaugruppe wird anschließend gesliced und mittels FDM-Verfahrens gedruckt.



**Abbildung 3:** Übersicht der erstellten HLCT aus der Masterarbeit

Das HLCT ist ein praktisches Werkzeug, das automatisch ein bestimmtes Getriebe vollständig konstruiert, vergleiche Titelbild. Allerdings ist es ebenfalls unflexibel, da z.B. andere Getriebearten wie Kegelradgetriebe, die von der Form des jetzigen abweichen, ohne Anpassungen des Skriptes nicht möglich sind.

## Analyse von Flexibilisierungspotenziale im Use Case

### Welche Anforderungen und Bedarfe gibt es für die Flexibilisierung von HLCTs?

Um Flexibilisierungspotenziale zu analysieren, muss es einen konkreten Änderungsbedarf geben. Dieser Änderungsbedarf resultiert aus einer erweiterten Betrachtung des Use Cases. In dem in Abbildung 3 vorgestellten HLCT handelt es sich um ein einstufiges Getriebe mit gegenüberliegenden Ein- und Ausgangswellen

und geradverzahnten Zahnrädern. Die Design Automotion funktioniert für diesen Use Case vollständig und zuverlässig. Aber wenn erweiterte Funktionalitäten, z.B. eine andere Anordnung der Ein- und Ausgangswellen des Getriebes, gefordert werden, dann ist das HLCT nicht mehr anwendbar. Mit Betrachtung des in Abbildung 2 dargestellten Rovers und des erläuterten Use Cases können Flexibilisierungspotenziale für die Flexibilität dieser HLCT abgeleitet werden:

- Flexibilisierungspotenzial 1: Außerhalb des begrenzten Bauraums des Rovers kann je nach Größe des eingesetzten Elektromotors eine Anpassung des Getriebebauraums nötig sein, da die Gesamtabmessungen nicht mehr passen können. (Geometriebasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 2: Einhergehend mit dem zur Verfügung stehenden Bauraum des Getriebes kann es notwendig sein, die Ein- und Ausgangswellen des Getriebes räumlich anders anzuordnen. (Geometriebasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 3: Mit einer räumlich anders angeordneten Ein- und Ausgangswelle bedarf es als Zusatzlösung von Kegelezahnrädern, um auch 90°-Anordnungen der Wellen zu ermöglichen. (Geometriebasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 4: Der Rover weist eine Lochplattengeometrie auf, um möglichst flexibel diverse Aufbauten montieren zu können. Dabei muss das Lochbild des Getriebes zum Lochbild des Rovers passen. (Geometriebasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 5: Die Grundform für die Welle des Elektromotors kann sich geometrisch, z.B. von rund mit Gewinde auf eckig mit einer Fase, ändern. Dies muss für eine höhere Flexibilität ebenfalls berücksichtigt werden. (Geometriebasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 6: Mittels einer einstufigen Übersetzung werden Drehmoment und Drehzahl gewandelt. Je nach Leistungsfähigkeit der vorliegenden Elektromotoren kann eine mehrstufige Übersetzung erforderlich sein. (Funktionsbasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 7: Um eine hohe Drehmomentübertragung flüssig zu gewährleisten, können schrägverzahnte Zahnräder erforderlich sein. (Funktionsbasiert)
- Flexibilisierungspotenzial 8: Additive Fertigung ermöglicht durch ihr Prinzip eine Anpassung von Innengeometrien, welche z.B. die Steifigkeit erhöhen. Ebenfalls ist Multimaterialdruck ein gängiger Ansatz, mit dem z.B. steife Außenstrukturen und nachgiebige Innenstrukturen eines Zahnrades gedruckt werden können. Im Use Case können somit Innenstrukturen von Komponenten für bestimmte Belastungsfälle angepasst werden. (Eigenschaftsbasiert)

Alle diese Veränderungen können Flexibilisierungspotenziale des HLCT darstellen. Wie hinter den Stichpunkten vermerkt wurde, können diese Gründe ausgehend von den Bedürfnissen des Rovers geometrie-, funktions- oder eigenschaftsbezogen sein. Vorschläge, diese Flexibilisierungspotenziale umzusetzen, werden im nächsten Kapitel vorgestellt.

## Wie können diese Bedarfe im Allgemeinen in HLCTs umgesetzt werden?

Um HLCTs flexibel in Bezug auf veränderte Anwendungsfälle zu gestalten, können verschiedene grundlegende Methoden genutzt werden.

- Lösungsmöglichkeit 1 ist die Änderung bzw. Verbesserung der Grundstruktur /8/. Durch eine Modularisierung verschiedener Schritte kann hier Flexibilität erzeugt werden. Diese Flexibilität kann durch parallele Prozessschritte bzw. Submodule oder anders angeordnete Prozessschritte sowie einer Logik, welche Prozessschritte erforderlich sind, ausgeführt werden. So können mittels eines HLCT, das aus austauschbaren Submodulen (z.B. der Generierung von Zahnrad, Welle oder Gehäuse) besteht, neue Varianten des Getriebes erzeugt werden, ohne die übergeordnete Produktarchitektur neu erarbeiten zu müssen.
- Lösungsmöglichkeit 2 ist die Auslagerung von Parametern in einen Zwischenspeicher /9/. Hier kann eine höhere Flexibilität erreicht werden, wenn wesentliche Abmessungen, Randbedingungen und Konfigurationsregeln als globale Teileparameter ausgelagert werden, statt diese in Skizzen zu verstecken. Hier können konsistente Parameteränderungen durch robuste Referenzen und assoziative Verknüpfungen sichergestellt werden.
- Lösungsmöglichkeit 3 entsteht durch eine klare Benennung und Dokumentation von Parametern /3/. Einheitliche, aussagekräftige Bezeichnungen, Anmerkungen und geführte Benutzerdialogfenster helfen Anwendern zu verstehen, welche Parameter verändert werden dürfen und welche Automatisierungstiefe vorgesehen ist. Diese Transparenz erleichtert es, die HLCTs in neuen Designsituationen sicher wiederzuverwenden, anzupassen oder gezielt zu steuern.
- Lösungsmöglichkeit 4 sind offene Schnittstellendefinitionen und skalierbare Teilebibliotheken hinsichtlich der Erweiterbarkeit, die es erlauben, neue Komponenten in bestehende Templates einzuklinken /2/. Systematische Validierung und Testfälle stellen anschließend sicher, dass erweiterte oder wiederverwendete HLCTs weiterhin korrekt Modelle generieren und ihren vorgesehenen Randbedingungen genügen.
- Lösungsmöglichkeit 5 ist die Ausgestaltung von 3D-Teileskeletons, welche die Einbaupositionen der einzelnen Komponenten auf Basis von Eingangsinformationen festlegen /3/. Dadurch können verschiedene Getriebevarianten flexibel konfiguriert werden.
- Lösungsmöglichkeit 6 besteht in der Wissensspeicherung von diversen Anwendungsfällen und dazugehörigen 3D-Druckvariationen für diverse Belastungsfälle, sodass eine Anpassung von 3D-gedruckten Komponenten möglich wird /10/.
- Lösungsmöglichkeit 7 lässt sich durch eine Einbindung von Large Language Models bzw. Künstliche Intelligenz schaffen. Hier könnten Dialogfenster für den Benutzer während der Design Automation intuitiver gestaltet werden oder der gesamte Prozess kann überdacht werden /11/.

An dieser Stelle ist festzuhalten, dass weitere Lösungsmöglichkeiten nicht ausgeschlossen werden können. Allerdings können die im vorherigen Kapitel beschriebenen Flexibilisierungspotenziale zu den beschriebenen Lösungsmöglichkeiten im nächsten Kapitel zugeordnet werden.

**Wie kann ein flexiblierter HLCT implementiert werden, um verschiedene Konstruktionszwecke zu unterstützen?**

Um an die vorher gestellten Forschungsfragen anzuknüpfen, soll nun der neuen Gestaltung eines flexibleren HLCT für den Use Case des automatisierten Erstellens eines Getriebes für das Reuse gebrauchter Komponenten aufgezeigt werden. Dafür ist in Tabelle 1 die Zuordnung der Lösungsmöglichkeiten zu den Flexibilisierungspotenzialen dargestellt.

**Tabelle 1:** Zuordnung von Flexibilisierungspotenzialen und Lösungsmöglichkeiten

<b>Flexibilisierungspotenziale</b>	<b>Lösungsmöglichkeiten</b>
Flexibilisierungspotenzial 1: Flexible Bauraumänderungen	Lösungsmöglichkeit 1: Änderung der Grundstruktur / Lösungsmöglichkeit 5: Erstellung eines Teileskeletts
Flexibilisierungspotenzial 2: Position der Ein- und Ausgangswellen	Lösungsmöglichkeit 5: Erstellung eines Teileskeletts
Flexibilisierungspotenzial 3: Kegelhöräder als Zusatzlösung	Lösungsmöglichkeit 1: Änderung der Grundstruktur / Lösungsmöglichkeit 4: Skalierbare Teilebibliotheken
Flexibilisierungspotenzial 4: Anpassung der Lochplattengeometrie	Lösungsmöglichkeit 2: Auslagerung von Parametern / Lösungsmöglichkeit 5: Erstellung eines Teileskeletts
Flexibilisierungspotenzial 5: Anpassung an den Schaft des Elektromotors	Lösungsmöglichkeit 2: Auslagerung von Parametern
Flexibilisierungspotenzial 6: Mehrstufige Übersetzungen	Lösungsmöglichkeit 1: Änderung der Grundstruktur
Flexibilisierungspotenzial 7: Schrägverzahrte Höräder als Zusatzlösungen	Lösungsmöglichkeit 1: Änderung der Grundstruktur / Lösungsmöglichkeit 4: Skalierbare Teilebibliotheken
Flexibilisierungspotenzial 8: Belastungsfälle für die additive Fertigung	Lösungsmöglichkeit 6: Wissensspeicherung von Belastungsfällen

Durch diese Zuordnung wurde ein neues, flexibleres HLCT entwickelt. Abbildung 4 zeigt dieses flexiblere HLCT auf Basis der in Abbildung 3 ausgearbeiteten HLCT sowie der in Tabelle 1 vorgestellten Lösungszuordnung.



(Flexibilisierungspotenzial 4) zwischen, sodass diese ebenfalls angepasst werden können. Damit die Anschlussgeometrie des Elektromotors ebenfalls berücksichtigt wird, wird auch diese zwischengespeichert und dann an der passenden Stelle übergeben, bzw. abgefragt. Somit kann das Flexibilisierungspotenzial 5 auch berücksichtigt werden. Ein vordefinierter Katalog mit verschiedenen Belastungsfällen des Getriebes soll verschiedene Optimierungsschritte für einen Slicer der 3D-Druck-Datei bieten, um das Flexibilisierungspotenzial 8 zu erfüllen. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass der erweiterte flexibilisierte HLCT noch nicht digital implementiert wurde und daher noch nicht validiert ist.

## Diskussion der Ergebnisse und Zusammenfassung

Der aufgezeigte Ansatz ist mit einigen Einschränkungen verbunden. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass alle identifizierten Flexibilisierungspotenziale, durch das neue HLCT erschlossen werden. Das erweiterte flexibilisierte HLCT ist nach wie vor mit einem hohen manuellen Erstellungsaufwand verbunden. Sicherlich wird durch die Abdeckung weiterer Anwendungsfälle und eine flexiblere Kombination der Zeitaufwand pro Getriebekonfigurationsfall reduziert, ist aber noch beträchtlich hoch. Eine weitere Limitierung stellt die generelle Betrachtung dar. Die Potenziale und Lösungen wurden auf den Anwendungsfall der Wiederverwendung von gebrauchten Komponenten in neuen Produktgenerationen bezogen. Da dies ein spezifischer Anwendungsfall ist, ist der Betrachtungs- und Analysehorizont mit Sicht auf die Flexibilität beschränkt. Weiterhin wird für die grundlegenden Angaben wie den Drehzahlbereich am Anfang noch eine manuelle Eingabe mittels eines Dialogfensters benötigt. Eine weitere Möglichkeit wäre es, diese Daten im Vorfeld aus den zu Verfügung stehenden Randbedingungen einzulesen.

Aus diesen Limitationen ergeben sich wiederum Möglichkeiten für zukünftige Forschungsthemen. Das flexibilisierte HLCT kann eine Vorlage für ähnliche Anwendungsfelder oder Erweiterungen um weitere gebrauchte Komponenten einer anderen Art sein. Eine Erforschung einer präziseren Gestaltung der Teilebibliothek könnte eine mächtige Datenbank generieren, welche es ermöglicht, HLCTs mit Standard-Komponenten zügig zu generieren, ohne dass es einen manuellen Aufwand gibt, dieses HLCT jedes Mal neu zu erzeugen. Weiterhin stellt sich die Frage, wie der grundsätzliche benötigte Zeitaufwand für die Erstellung der HLCT verringert werden kann. Speziell sollte untersucht werden, wie HLCTs auf Grundlage von bestehenden Konstruktionen mithilfe von künstlicher Intelligenz erzeugt werden könnten. Als weiterer Punkt steht die Umsetzung und Validierung der flexiblen HLCT an. Speziell sollte hier die Anwendbarkeit diverser Anwendungsfälle geprüft werden.

In diesem Beitrag wurde am Beispiel des Use Cases der Wiederverwendung gebrauchter Elektromotoren in neuen Produktgenerationen die Flexibilisierung von High-Level-CAD-templates (HLCT) aufgezeigt. Genauer wurde die Generierung eines Getriebes für gebrauchte Elektromotoren in einem Rover betrachtet und analysiert, welche Flexibilisierungspotentiale bestehen und durch welche

Maßnahmen bei der Strukturierung und Umsetzung des HLCts diese erschlossen werden können. Diese wurde anschließend diskutiert und daraus wurden weitere mögliche Forschungsthemen abgeleitet.

## Literatur

- /1/ Umland, N.; Winkler, N.; Inkermann, D.: Multidisciplinary Design Automation of Electric Motors—Systematic Literature Review and Methodological Framework. *Energies* 2023, Schweiz, 2023, <https://doi.org/10.3390/en16207070>
- /2/ Tarkian, M.: Design Automation for Multidisciplinary Optimization: A High Level CAD Template Approach. Department of Management and Engineering, Linköping University, Linköping, 2012, ISBN 978-91-7519-790-6
- /3/ Amadori, K.; Tarkian, M.; Ölvander, J.; Krus, P.: Flexible and robust CAD models for design automation. Elsevier, 2012, doi: 10.1016/j.aei.2012.01.004
- /4/ Gembarski, P. C.; Ibrahim, B.; Plett, N.; Stötzer, M.: COMBINING KNOWLEDGE-BASED CAD AND ALGORITHMIC MODELING FOR DESIGN AUTOMATION. MCP, Serbien, 2024
- /5/ Kong, H.; Zhang, Z.; Wei, Y.; Liu, Y.: Development of an automated structural design system for progressive dies based on the integrated design methodology of process and structure. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, London, 2023, doi: 10.1007/s00170-023-11346-9
- /6/ Meyer, J.; Inkermann, D.: Reusing used components in new product generations - a systematic literature review on challenges and future research. *Proceedings of the Design Society*, Dallas, 2025, doi: 10.1017/pds.2025.10293
- /7/ Breidohr, M.; Meyer, J.; Posselt, G.; Inkermann, D.: Concept of a Learning Platform on Circular Product Creation. Springer Nature Switzerland, Cham, 2026, 978-3-031-98879-0
- /8/ Gembarski, P. C.: THREE WAYS OF INTEGRATING COMPUTER-AIDED DESIGN AND KNOWLEDGE-BASED ENGINEERING. INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE, Kroatien, 2020, doi: 10.1017/dsd.2020.313
- /9/ Stadler, S.; Hirz, M.: A contribution to advanced knowledge-based design in the development of complex mechanical products. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, Korea, 2013
- /10/ Li, Y.; Xu, K.; Liu, X.; Yang, M.; Gao, J.; Maropoulos, P.: Stress-oriented 3D printing path optimization based on image processing algorithms for reinforced load-bearing parts. Elsevier, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.037>
- /11/ Schöfer, F.; Seibel, A.: Augmented design automation: leveraging parametric designs using large language models. *Proceedings of the Design Society*, Dallas, 2025, <https://doi.org/10.1017/pds.2025.10081>