# Optimierung der virtuellen Absicherung von Prozesszeiten in der Karosseriebauplanung eines Automobilherstellers

## Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von


Name: Fedderke Vorname: Stefanie

[redacted] [redacted] [redacted] [redacted]


Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Ort, den* Hannover, 29.03.2018

*(Datum der Beendigung der Arbeit)

# Inhaltsverzeichnis

**Sperrvermerk** ..... **III**

**Abstract** ..... **IV**

**Inhaltsverzeichnis** ..... **V**

**Abbildungsverzeichnis** ..... **VII**

**Tabellenverzeichnis** ..... **VIII**

**Abkürzungsverzeichnis** ..... **IX**

**1 Einleitung** ..... **1**

1.1 Ausgangssituation und Motivation ..... 1

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage ..... 3

1.3 Aufbau der Arbeit ..... 5

**2 Wissenschaftliche Grundlagen** ..... **6**

2.1 Herausforderungen und Trends der Automobilindustrie ..... 6

2.2 Grundlagen der Automobilindustrie ..... 8

2.2.1 Produktentstehungsprozess ..... 8

2.2.2 Karosseriebauplanung ..... 11

2.2.3 Virtuelle Absicherung ..... 14

2.3 Digitale Fabrik ..... 16

2.3.1 Definition, Abgrenzung und Ziele der Digitalen Fabrik ..... 16

2.3.2 Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik ..... 18

2.3.3 Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik ..... 19

2.3.4 Nutzen der Digitalen Fabrik ..... 23

**3 Entwicklung einer Methodik zur potentialorientierten Bewertung und ökonomisch sinnvollen Auswahl der Digitalen Fabrik** ..... **30**

3.1 Literaturanalyse nach Webster und Watson ..... 30

3.2 Entwicklung einer ganzheitlichen Vorgehensweise ..... 40

3.2.1 Identifikation von Schwachstellen und Potentialen ..... 42

3.2.2 Priorisierung und Definition des Soll-Konzepts ..... 46

3.2.3 Vorauswahl und Pilotanwendung ..... 47

3.2.4 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ..... 48

3.2.5 Integration der Bewertungsergebnisse und Auswahl ..... 56

**4 Action Design Research** ..... **59**

4.1 Entstehung der Action Design Research Methode ..... 59

4.2 Phasen der Action Design Research Methode ..... 62

**5 Optimierung der virtuellen Absicherung in der Karosseriebauplanung ..... 65**
5.1 Erläuterungen zur Vorgehensweise ..... 65
5.2 Definition der Problemstellung und Zielsetzung ..... 67
5.3 Identifikation von Schwachstellen und Potentialen ..... 68
5.4 Priorisierung und Definition des Soll-Konzeptes ..... 75
5.5 Entwicklung, Intervention und Evaluation der Softwarelösungen ..... 77
5.5.1 Softwarehersteller 1 ..... 80
5.5.2 Softwarehersteller 2 ..... 86
5.6 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Bewertung ..... 92
5.7 Integration der Bewertungsergebnisse und Auswahl ..... 99
**6 Diskussion der Ergebnisse und Handlungsempfehlungen ..... 101**
6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse ..... 101
6.1.1 Methodik zur potentialorientierten Bewertung und ökonomisch sinnvollen Auswahl der Digitalen Fabrik ..... 101
6.1.2 Formalisierung des Gelernten durch Designprinzipien ..... 103
6.2 Entwickelte Methodik ..... 106
6.3 ADR-Methode, Softwarelösungen und Designprinzipien ..... 115
**7 Limitationen ..... 120**
**8 Schlussbetrachtung ..... 125**
**Literaturverzeichnis ..... X**
**Anhang ..... XVIII**
**Ehrenwörtliche Erklärung ..... XXII**

# 1 Einleitung

Die Automobilindustrie zählt in Deutschland zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen. Mit rund 800.000 direkt Beschäftigten und einem Umsatz von über 400 Mrd. Euro im Jahr 2016 kommt diesem Industriezweig eine hohe Bedeutung für Wohlstand und Beschäftigung in Deutschland zu.[1] Daher ist es umso wichtiger für Unternehmen auf neue Trends und Herausforderungen zu reagieren. In der Automobilindustrie zählen neben der Globalisierung und der Reduzierung der Wertschöpfungstiefe insbesondere die steigende Anzahl an Produktvarianten sowie die Verkürzung der Produktlebens- und Produktentwicklungszyklen zu den wesentlichen Einflussfaktoren. Um auf diesen Wandel reagieren zu können, müssen die Unternehmen die Herausforderungen erkennen und bestehende produktionsbezogene Abläufe organisatorisch und technologisch stetig anpassen bzw. verbessern. Dabei stehen für produzierende Unternehmen im Allgemeinen die Reduzierung der Zeit und Kosten für die Ausführung von wertschöpfenden Aktivitäten sowie die Erhöhung der Prozess- und Produktqualität im Vordergrund, um den Marktanforderungen gerecht zu werden und die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.[2]

## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Um diesen Entwicklungen zu begegnen, befasst sich insbesondere die Automobilindustrie mit den Lösungen der Digitalen Fabrik (DF).[3] Im Rahmen von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen zielen diese auf die ganzheitliche Planung, Evaluierung und permanente Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt ab. Der Fokus liegt dabei auf den Anwendungsbereichen der Produktionsplanung und der Fabrikgestaltung.[4]

Die mit der DF verbundenen Nutzenpotentiale waren offenbar bei allen deutschen Automobilherstellern ausschlaggebend für dessen Einführung, wobei eine flächendeckende Implementierung nicht umgesetzt werden konnte.[5] In diesem Zusammenhang wird in einer Studie des Instituts für Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund der gezielte punktuelle Einsatz der DF als zukünftige Herausforderung hervorgehoben.[6] Vor dem Hintergrund, dass sich alle deutschen Automobilhersteller der Digitalen Fabrik angenommen haben, eine vollständige und effektive Umsetzung bisher allerdings noch nicht vorliegt,[7] stehen die Original Equipment Manufacturers (OEMs) vor der Herausforderung die vorhandenen Methoden und Werkzeuge der DF[8] durch weitere Techniken punktuell zu ergänzen.[9]

---

[1] Vgl. Seitz 2016, S. 42.
[2] Vgl. Schack 2008, S. 1ff.
[3] Vgl. Schack 2008, S. 4; vgl. Bracht et al. 2011, S. 15.
[4] Vgl. VDI 4499 Blatt 1 2008, S. 3.
[5] Vgl. Bracht et al. 2011, S. 15; vgl. Huber 2016, S. 117ff.
[6] Vgl. Schallow et al. 2014, S. 124.
[7] Vgl. Huber 2016, S. 117ff.
[8] Die Methoden und Werkzeuge der DF werden in dieser Arbeit als Techniken der DF zusammengefasst.
[9] Vgl. Bracht et al. 2011, S. 222ff.

Die mit der Einführung der DF einhergehenden Nutzenpotentiale, wie die Effizienzsteigerung der Planung und die Vermeidung von Änderungskosten können durch optimierte Planungsprozesse oder frühzeitig abgesicherte Planungsumfänge erreicht werden. Dies kann zum einen unmittelbar zu Verbesserungen innerhalb der Planung sowie der Anfertigung und Inbetriebnahme der Ressourcen führen. Zum anderen können auch nachgelagerte Phasen, wie der Produktionsbetrieb, von dem Einsatz der DF profitieren.[10] Aufgrund dieser gesamtunternehmerischen Auswirkungen sind die Kostenvorteile der DF nur schwer zurückzuführen und zu ermitteln. Hinzu kommt, dass es sich bei den Techniken der DF um Investitionen handeln kann, die sich durch nicht monetäre Nutzenkriterien auszeichnen, weshalb bei dessen Bewertung die Berücksichtigung der nicht quantifizierbaren Verbesserungen erforderlich ist.[11]

Um den Einsatz von Techniken der DF ökonomisch rechtfertigen zu können, ist es somit notwendig dessen monetären Aufwände und Nutzenvorteile zu bestimmen. Außerdem sind neben objektiven Kriterien auch subjektive Kriterien entscheidungsrelevant. Daher müssen die Nutzenpotentiale, die nicht in monetäre Größen transformiert werden können, ermittelt und bei der Bewertung und anschließenden Auswahl der punktuellen einzusetzenden Technik der DF berücksichtigt werden.

Bevor potenzielle Lösungsalternativen bewertet werden können, sind zunächst geeignete Methoden und Werkzeuge der DF zu bestimmen. Um aus einer Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten die Techniken zu wählen oder zu entwickeln, die voraussichtlich die größten Nutzenpotentiale aufweisen, sind die bestehenden Prozesse der Produktionsplanung vorab zu analysieren. Auf Basis der identifizierten Schwachstellen und Verbesserungspotentiale können schließlich die potenziell einzusetzenden Techniken ausgewählt werden. Vor dem Hintergrund, dass die finanziellen Mittel und zur Verfügung stehenden Ressourcen begrenzt sind und das vorgegebene Budget so einzusetzen ist, dass ein möglichst großer Nutzen und nachhaltige Verbesserungen erzielt werden,[12] gewinnt eine potentialorientierte Auswahl der einzusetzenden Techniken zunehmend an Bedeutung.[13]

Die Motivation der vorliegenden Arbeit liegt in dem wachsenden Bedürfnis, die Methoden und Werkzeuge der DF potentialorientiert und ökonomisch sinnvoll einzusetzen. Aufgrund des hohen Nutzenpotentials der Digitalen Fabrik auf der einen und den begrenzten zur Verfügung stehenden Ressourcen auf der anderen Seite, kommt der potentialorientierten Bewertung und Auswahl von potenziell einzusetzenden Methoden und Werkzeugen eine wesentliche Bedeutung zu. Des Weiteren ist eine fundierte Entscheidungsgrundlage notwendig, bei welcher sowohl die monetären als auch die nicht monetären Aspekte berücksichtigt werden.[14] Um diesbezüglich die vorhandenen Schwachstellen gezielt zu eliminieren und die Potentiale der DF zu nutzen, bedarf es einer strukturierten ganzheitlichen Vorgehensweise, welche für die punktuelle und ökonomisch sinnvolle Einführung der Digitalen Fabrik herangezogen werden kann.

[10] Vgl. Bracht et al. 2011, S. 15.
[11] Vgl. Bracht et al. 2011, S. 15f., 51f.
[12] Vgl. Brugger 2009, S. 1.
[13] Vgl. Ritter und Kuhlmann 2006, S. 54.
[14] Vgl. Bracht et al. 2011, S. 225f.

Ein wesentlicher Nutzen der DF ist, dass die Produktgestaltung durch die Verlagerung von Planungsaufgaben in frühere Phasen frühzeitig beeinflusst werden kann, wodurch notwendige Änderungen im weiteren Verlauf reduziert werden können. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da über 80 Prozent der Kosten bereits während der Produktentwicklung und Produktionsplanung festgelegt werden.[15] Der Zeitpunkt, zu dem ein Fehler entdeckt wird, hat somit großen Einfluss auf die Kosten, die für dessen Beseitigung anfallen. In diesem Zusammenhang wird in der Literatur häufig die Rule of Ten (Zehnerregel) genannt. Diese besagt, dass die Kosten, welche für die Beseitigung eines Fehlers aufgewendet werden müssen, mit jeder Phase des Produktlebenszyklus‘ um das Zehnfache steigt. Neben den steigenden produktbezogenen Änderungskosten führt die Beseitigung von Fehlern, welche die Produktionsanlagen betreffen, in einer nachfolgenden Phase ebenfalls zu höheren Kosten. Derartige Planungsfehler können zu kostenintensiven Kollisionen[16] von Industrierobotern führen.[17]

Mithilfe von Techniken der DF können derartige zusätzliche zeit- und kostenintensive Aufwände reduziert oder vermieden werden, indem die Planungsergebnisse frühzeitig abgesichert werden.[18] Mit der Simulation der Verfahrwege von Robotern können dynamische Kollisionsuntersuchungen[19] analysiert und die Durchlaufzeit[20] abgesichert werden. Daraus lässt sich ableiten, dass mit einer frühzeitigen virtuellen Untersuchung und Absicherung der Planungsergebnisse die Gesamtkosten reduziert und die Planungsqualität gesteigert werden können.[21] Da die virtuelle Absicherung einen wesentlichen Einfluss auf die Planungsqualität, die anfallenden Kosten und die benötigte Zeit hat, liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf dem punktuellen Einsatz von Techniken der DF zur Optimierung der virtuellen Absicherung innerhalb der Karosseriebauplanung eines Automobilherstellers.

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ergibt sich aus den Entwicklungen und konkreten Herausforderungen, denen sich die Automobilhersteller stellen müssen. Um der zunehmenden Komplexität zu begegnen und die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten bzw. weiter auszubauen, können Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik zur Unterstützung der Planungsaufgaben herangezogen werden. Zur Nutzung der Potentiale, die mit der DF einhergehen, und Optimierung der relevanten Planungsprozesse, ist die Erarbeitung einer Methodik zur potentialorientierten Bewertung und ökonomisch sinnvollen Auswahl von unterstützenden Lösungen der Digitalen Fabrik notwendig. Eine *Methodik* wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit als eine planmäßige Vorgehensweise verstanden, welche mehrere Methoden integriert[22] und zur Lösung einer theoretischen und/oder praktischen Aufgaben-

[15] Vgl. Brockmeyer 2010, S. 19f.
[16] Eine Kollision liegt vor, wenn sich die Volumina zweier Körper berühren oder überschneiden. Vgl. VDI 4499 Blatt 4 2015, S. 42.
[17] Vgl. Brockmeyer 2010, S. 19f.; vgl. Kerber 2016, S. 69.
[18] Vgl. Bracht et al. 2011, S. 56.
[19] Vgl. ProSTEP iViP Verein 2010, S. 5.
[20] Vgl. Landherr et al. 2013, S. 108.
[21] Vgl. König 2013, S. 120f.; vgl. Kerber 2016, S. 79ff.
[22] Vgl. Pahl et al. 2005, S. 750.

stellung verwendet wird.[23] Dabei kann eine *Methode* als „*planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels*“[24] verstanden werden. Daraus kann die Notwendigkeit der Kombination einzelner Methoden zur Erreichung eines Ziels für die vorliegende Arbeit abgeleitet werden. Potenziell relevante Methoden, welche einzelne Bestandteile fokussieren, werden in der Literatur behandelt. Für die Entwicklung einer ganzheitlichen Vorgehensweise gilt es schließlich die bestehenden Methoden zu analysieren und zu ergänzen. Dabei ist das Komplexitätsniveau der Methodik beherrschbar zu halten, um die Anwendbarkeit der Methodik zu gewährleisten. Dies soll durch einen systematischen Verfahrensablauf ermöglicht werden, indem die Durchführbarkeit einfach gehalten wird und das Gesamtvorgehen reproduzierbar ist.[25] Darüber hinaus ist die Praxistauglichkeit sicherzustellen, indem die einzelnen Schritte verständlich, nachvollziehbar und in der Praxis aufwandsarm umzusetzen sind.[26]

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist somit die Erarbeitung einer Methodik, welche herangezogen werden kann, um eine potentialorientierte Bewertung und ökonomisch sinnvolle Auswahl von Techniken der Digitalen Fabrik in der industriellen Praxis zu realisieren. Durch die Integration von einzelnen Methoden zu einer systematischen ganzheitlichen Vorgehensweise soll die Entscheidungsfindung unterstützt und somit ein Beitrag zur Schließung dieser Lücke geleistet werden.

In Anbetracht der erheblichen Nutzenpotentiale der virtuellen Absicherung und dessen weitreichenden Auswirkungen auf nachfolgende Phasen besteht ein Anreiz potenzielle Lösungen der DF zu untersuchen. Im Rahmen dieser Arbeit ist vorgesehen, die zu erarbeitende Methodik hinsichtlich der Optimierung der virtuellen Absicherung innerhalb der Karosseriebauplanung eines Automobilherstellers anzuwenden und zu evaluieren. Um zu untersuchen, wie die virtuelle Absicherung durch den punktuellen Einsatz von Techniken der DF optimiert werden kann, wird eine Forschungsmethode angewendet, die sich an der Action Design Research (ADR) Methode orientiert. Letztere stellt einen strukturierten Ansatz bereit, der sich auf die Entwicklung, Intervention und Evaluation eines (IT-)Artefaktes konzentriert, wodurch einerseits eine Lösung für eine spezifische Problemstellung generiert wird. Andererseits verfolgt dieser Ansatz eine Formalisierung des Gelernten, indem aus dem Forschungsprozess und -ergebnis Designprinzipien abgeleitet werden. Damit wird darauf abgezielt, aus den praktischen Interventionen Wissen zu generieren, welches auf eine übergeordnete Klasse von Problemen übertragen werden kann.[27]

Vor diesem Hintergrund kann aus der übergeordneten Zielsetzung, der Entwicklung einer Methodik zur potentialorientierten Bewertung und ökonomisch sinnvollen Auswahl von Techniken der DF, die folgende zentrale Forschungsfrage abgeleitet werden:

*Wie kann die virtuelle Absicherung in der Karosseriebauplanung ökonomisch sinnvoll durch den Einsatz von Techniken der Digitalen Fabrik optimiert werden?*

[23] Vgl. Neuhausen 2001, S. 6.
[24] Pahl et al. 2005, S. 750.
[25] Vgl. Martini 1995, S. 42.
[26] Vgl. Wiedemann 2016, S. 71.
[27] Vgl. Sein et al. 2011, S. 44.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit gliedert sich in acht Kapitel. Kapitel 1 beschreibt die Ausgangssituation und die Motivation der vorliegenden Arbeit. Daraus wird die Zielsetzung abgeleitet, die Forschungsfrage entwickelt und anschließend der Aufbau der Arbeit beschrieben.

Basierend auf der im ersten Kapitel beschriebenen Ausgangssituation und Motivation werden in Kapitel 2 die wissenschaftlichen Grundlagen behandelt, die für ein fundiertes Verständnis notwendig sind. Dabei werden zunächst die Herausforderungen und Trends der Automobilindustrie erläutert, bevor auf den Produktentstehungsprozess, die Karosseriebauplanung und die virtuelle Absicherung eingegangen wird. Im nachfolgenden Abschnitt wird schließlich das Konzept der Digitalen Fabrik vorgestellt und dessen Relevanz für die Automobilindustrie herausgestellt.

In Kapitel 3 folgt eine Literaturanalyse nach Webster und Watson, um den aktuellen Stand zur Einführung der Digitalen Fabrik darzustellen und zu analysieren. Darauf aufbauend wird eine ganzheitliche Vorgehensweise zur potentialorientierten Bewertung und ökonomisch sinnvollen Auswahl von Techniken der Digitalen Fabrik als Basis der Zielerreichung dieser Arbeit erarbeitet und vorgestellt.

Anschließend wird das für die Beantwortung der Forschungsfrage relevante Forschungsdesign vorgestellt. Da es sich bei der Optimierung der virtuellen Absicherung um ein praxisorientiertes Problem handelt orientiert sich die Vorgehensweise an der Action Design Research Methode. Daher wird in Kapitel 4 zunächst auf die Entstehung des Action Design Researchs eingegangen, bevor die Phasen der Forschungsmethode erläutert werden.

Die Anwendung der erarbeiteten Methodik zur potentialorientierten Bewertung und ökonomisch sinnvollen Auswahl von Techniken der Digitalen Fabrik im Unternehmenskontext erfolgt schließlich in Kapitel 5. Im Zuge der ADR-Methode werden zunächst die konkrete Problemstellung und Zielsetzung des Automobilherstellers definiert, bevor die entwickelte Vorgehensweise angewendet wird. Für die Optimierung der virtuellen Absicherung erfolgt die Entwicklung, Intervention und Evaluation von potenziellen Lösungen der Digitalen Fabrik in Kooperation mit zwei Softwareherstellern.

Kapitel 6 widmet sich den erzielten Ergebnissen der Entwicklung der Methodik und der Formalisierung des Gelernten in Anlehnung an die ADR-Methode. Dafür werden auf Basis der Erkenntnisse aus dem ADR-orientierten Vorgehen Designprinzipien für den Einsatz von Techniken der DF zur Optimierung der virtuellen Absicherung der Karosseriebauplanung erarbeitet. Anschließend werden die Ergebnisse diskutiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Darauf aufbauend werden in Kapitel 7 die Limitationen der vorliegenden Arbeit beschrieben und die Ergebnisse kritisch gewürdigt.

Die Schlussbetrachtung in Kapitel 8 umfasst ein Fazit und einen Ausblick über mögliche zukünftige Forschungsaspekte.

# 8 Schlussbetrachtung

Der gezielte Einsatz von Methoden und Werkzeugen der DF stellt für Automobilhersteller eine Möglichkeit dar, auf die Entwicklungen der Automobilindustrie zu reagieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, indem die Planungsprozesse unterstützt und nachhaltig verbessert werden. In diesem Zusammenhang gewinnt der Einsatz von Techniken der DF zur Optimierung der virtuellen Absicherung in der Karosseriebauplanung zunehmend an Bedeutung, da die mit der virtuellen Absicherung verbundenen Nutzenpotentiale sowohl zu einer Reduzierung der Kosten und der Zeit sowie zu einer Steigerung der Qualität führen können. Dabei stellt eine ökonomisch sinnvolle Auswahl von geeigneten Lösungen aufgrund der Vielzahl an zu berücksichtigenden Faktoren jedoch eine Herausforderung dar. Vor diesem Hintergrund nahm sich die vorliegende Arbeit der Entwicklung einer Methodik zur Unterstützung des Entscheidungsfindungsprozesses an. Zur Beantwortung der Forschungsfrage standen die potentialorientierte Bewertung, die Entwicklung von geeigneten Softwarelösungen und die ökonomisch sinnvolle Auswahl von Techniken der DF im Fokus. Dafür wurden verschiedene wissenschaftliche Methoden betrachtet und zu einer systematischen Vorgehensweise kombiniert.

Die erste Phase der Methodik umfasst die Identifikation von Schwachstellen und Potentialen der bestehenden Prozesse, um die Potentiale, die mit einem gezielten Einsatz der Digitalen Fabrik einhergehen, optimal zu nutzen. Im Anschluss an diese Ist-Analyse wurden die zu unterstützenden Planungsaufgaben potentialorientiert priorisiert und das Soll-Konzept innerhalb der zweiten Phase abgeleitet. Mit Anwendung eines ADR-orientierten Ansatzes erfolgte in der dritten Phase auf Basis einer Vorauswahl potenziell geeigneter Techniken die Entwicklung von zwei IT-Artefakten zur Optimierung der virtuellen Absicherung in einem iterativen Prozess. Im Zuge der interaktiven Zusammenarbeit der Forscher, Praktiker und Anwender konnte aus den Erkenntnissen der Entwicklungsprozesse und -ergebnisse präskriptives Wissen in Form von abstrakten Designprinzipien formuliert werden. Die dreizehn vorgeschlagenen Designprinzipien beschreiben die Anforderungen an die Ausgestaltung einer Softwarelösung der DF und sollen sich als Lösungsansatz auf eine übergeordnete Problemklasse übertragen lassen.

Die mit der ADR-Methode entwickelten Softwarelösungen unterstützen die Karosseriebauplaner und optimieren die virtuelle Absicherung, indem beispielsweise Planungsergebnisse in einfacher Form visualisiert, Planungsfehler frühzeitig identifiziert, Routineaufgaben automatisiert und manuelle Fehlerquellen reduziert werden. In der simultan ablaufenden vierten Phase, der erweiterten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, erfolgen die monetäre und nicht monetäre Bewertung der entwickelten Techniken. Mit der Integration der Bewertungsergebnisse in der darauffolgenden fünften Phase liegt eine ganzheitliche Entscheidungsgrundlage vor, die eine ökonomisch sinnvolle Auswahl der einzusetzenden Technik der DF ermöglicht.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die entwickelte Methodik die bestehende Literatur ergänzt, indem eine systematische Vorgehensweise bereitgestellt und wesentliche Aspekte berücksichtigt werden, die den Entscheidungsfindungsprozess für die Auswahl von geeigneten Techniken der DF unterstützen. Trotz der ganzheitlichen Betrachtung von der

Prozessanalyse über die Priorisierung, die Pilotanwendung und die Bewertung bis hin zur Auswahl konnten für jede dieser Phasen Methoden vorgeschlagen werden, welche den Anforderungen der Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit gerecht werden. Dies konnte durch die Anwendung der Methodik bei einem Automobilhersteller aufgezeigt werden. So wurden die einzusetzenden Methoden entsprechend des Anwendungsfalls und der zur Verfügung stehenden Ressourcen individuell gewählt. Diese Vorgehensweise ermöglichte die Entwicklung von zwei geeigneten Softwarelösungen und Erarbeitung von Designprinzipien zur Beantwortung der Forschungsfrage.

Im Zuge der Diskussion der Ergebnisse und Darlegung der Limitationen dieser Arbeit konnte der Bedarf weiterer Forschung identifiziert werden.

Zukünftige Forschungsarbeiten können die Erweiterung des Methodenportfolios fokussieren, um die Gütekriterien bezüglich der Anpassbarkeit und Übertragbarkeit der Methodik zu gewährleisten. Diesbezüglich können beispielsweise weitere Methoden zur Bewertung der subjektiven Nutzenpotentiale betrachtet werden, um den vorgestellten Ansatz der Nutzwertanalyse zu ergänzen. Die Integration einer Sensitivitätsanalyse in den Bewertungsprozess kann ebenfalls als Erweiterung der Methodik in Betracht gezogen werden.

Die Basis der Weiterentwicklung kann durch eine Vervollständigung der Literaturanalyse über die verwendeten Publikationsorgane, die Stichworte, den Betrachtungszeitraum und die Sprachauswahl der Literatur hinaus geschaffen werden.

Darüber hinaus stellt die Erweiterung des Fünf-Phasen-Modells einen Forschungsaspekt dar. Für eine ganzheitliche Betrachtung könnte die Methodik um die Einführungs- bzw. Umsetzungsphase der ausgewählten Technik der DF ergänzt werden.

In zukünftigen Forschungsprojekten sollten außerdem kombinatorische Lösungen und Bewertungsansätze berücksichtigt werden. Dies bezieht sich zum einen auf die Kombination verschiedener Techniken der DF anstelle der Auswahl lediglich eines Lösungsansatzes. Zum anderen kann eine sinnvolle Verknüpfung der objektiven und subjektiven Bewertungsskalen die Vergleichbarkeit vereinfachen, falls keine strikt dominierende Lösungsalternative vorliegt. Damit soll die Eindeutigkeit der Entscheidungsunterstützung gewährleistet werden.

Ferner sollten weitergehende Forschungsarbeiten die Übertragbarkeit der entwickelten Designprinzipien evaluieren, indem diese in unterschiedlichen Unternehmenskontexten eingesetzt werden und deren Zweckmäßigkeit überprüft wird. Dies könnte in Verbindung mit der Fortführung des Projekts einen Beitrag zur Vervollständigung der Ergebnisse und Identifizierung weiterer Designprinzipien leisten. Dadurch können das Verallgemeinerungspotential und die Anpassbarkeit der Methodik hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit verbessert werden. In diesem Zusammenhang wären Untersuchungen interessant, inwieweit die virtuelle Absicherung für unterschiedliche Unternehmensgrößen von Bedeutung ist. Des Weiteren könnte die Übertragbarkeit der Methodik auf andere relevante Branchen analysiert werden.

Darüber hinaus sollte die weitere Forschung den Wandel und die sich ändernden Herausforderungen der Automobilindustrie berücksichtigen, um bestehende Techniken der DF mithilfe der entwickelten Methodik dementsprechend anpassen zu können.