

Konzept zur Digitalen Transformation für den Automotive Aftersales unter Fokussierung des Digitalen Zwillings und interaktiver Nutzerschnittstellen

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Maschinenbau und
Verfahrenstechnik der

Universität Duisburg-Essen

zur Erlangung des akademischen Grades

eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation

von

Carsten Krause

aus

Bietigheim-Bissingen

Gutachter:

Apl. Prof. Dr.-Ing. Frank Lobeck

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche

Tag der mündlichen Prüfung: 24.04.2023

Kurzfassung

Der rasche globale Wandel in der Politik, Umwelt und Gesellschaft, ein sich änderndes Kundenbild und die steigende technische Komplexität beim Umstieg von konventionellen Antriebskonzepten mit Verbrennungsmotoren auf elektrische Fahrzeuge und nicht zuletzt auch die Covid-19-Pandemie sind nur einige treibende externe Faktoren, welche direkte Auswirkungen auf die Automobilindustrie und deren Akteure haben. Dabei hat insbesondere der Automotive Aftersales mit einer gravierenden Veränderung bisheriger Geschäftsprozesse und einer starken Transformation umzugehen. Einerseits müssen die teils sehr geringen Margen im Endproduktgeschäft von produzierenden Unternehmen durch den After Sales Service kompensiert werden, andererseits müssen sich unabhängige Dienstleister auf dem Markt gegen neue Konkurrenten im Wettbewerb behaupten.

Ziel dieser Dissertation ist die Erarbeitung eines Konzeptes, unter dessen Verwendung sich die Akteure des Automotive Aftersales diesem Wandel entgegenstellen können, mit der Intention, auch zukünftig handlungsfähig zu sein und profitabel agieren zu können. Hierzu erfolgt die Konzepterstellung unter Einhaltung des übergeordneten Lösungsraumes der Digitalen Transformation. Vorgelagert werden Werkzeuge wie auch Nutzerschnittstellen, welche sich zur Umsetzung der Digitalen Transformation eignen, vorgestellt. Auch erfolgt ein Einblick in die Akteure des Automotive After Sales, dessen Umfeld und intern wie auch extern getriebene Entwicklungen. Unter Verwendung des Zwiebelprinzips erfolgt eine Verdichtung dieser Informationen unter der Beachtung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen hin zur Ableitung eines Konzeptes. Dieses besteht dabei aus einem Kernbaustein, welcher einen unternehmensübergreifenden Digitalen Zwilling beschreibt, der in Kombination mit einem Serviceportal als Verwaltungsschale auftritt. Ebenso erfolgt im Konzept eine Anbindung an bereits bestehende Lösungsräume. Die innovativen Nutzerschnittstellen Extended Reality sowie die Generative Fertigung ergänzen das Konzept.

Zur Validierung des Konzeptes wird eine prototypische Umsetzung vorgenommen. Da eine komplette Realisierung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird die Gültigkeit des Konzeptes durch die Realisierung ausgewählter Komponenten nachgewiesen. Dafür werden verschiedene Akteure des Aftersales hinsichtlich einer Implementierung eines Teilaspektes des Konzeptes näher betrachtet. Die Teilnehmer sind dabei so gewählt, dass sich Rückschlüsse auf die Sinnhaftigkeit des Gesamtkonzeptes ziehen und zudem auch Hürden

bei der Konzeptumsetzung identifizieren lassen. Für die exemplarische Umsetzung des Konzeptes wird in einem ersten Schritt die Erstellung eines Digitalen Zwillings mit einem Serviceportal als Verwaltungsschale realisiert. Es erfolgt eine Anwendung dieser zur Optimierung des Prozesses einer Hauptuntersuchung unter Verwendung eines Mixed Reality Devices sowie zur Optimierung der Ersatzteilverversorgung mit Fokus auf die Generative Fertigung.

Zusammenfassend liefert die Dissertation mit dem Konzept zur Digitalen Transformation einen Ansatz, welcher etablierte Akteure des Automotive Aftersales unterstützt, sich auf ein sich wandelndes Umfeld und damit verbundenen Herausforderungen einzustellen. Sinnvoll ist die schrittweise wie auch die bedarfsabhängige Umsetzung des Konzeptes. So können je nach Unternehmensgröße und Tätigkeitsbranche Teilaspekte des Konzeptes eingeführt und mit weiteren Anwendungsfällen oder unternehmensspezifischen Modulen sukzessive dem Gesamtsystem hinzugefügt werden.

Abstract

Rapid global changes in politics, the environment and society, as well as ever-evolving customer habits and the increasing complexity caused by the transition from conventional drive concepts with internal combustion engines to electric vehicles present just some of the driving factors having a direct impact on the automotive industry and its players, which have only been exacerbated by the effects of the Covid-19 pandemic.

Automotive aftersales must deal with serious changes in business processes and significant transformations. On the one hand, the partly very low margins in the product business of manufacturing companies must be compensated by the after sales service. On the other hand, independent service providers must compete against new competitors in the market.

The aim of this dissertation is the development of a concept that aids the players of the automotive aftersales market in facing these changes. The intention is to remain able to act in the future and to do so profitably.

To achieve this, the concept is developed in compliance with the solution of *digital transformation*. The tools and user interfaces suitable for implementing digital transformation are presented. Additionally, an insight is provided into the players in automotive aftersales, their environment, as well as internally and externally driven developments.

Using the onion principle, this information is condensed to derive a concept, taking into account dependencies and interactions. This consists of a core module that describes a cross-company *digital twin* in combination with a service portal. A connection to already existing solution spaces is also included and implemented. The innovative user interfaces *extended reality* and *generative Manufacturing* complete the concept.

For the implementation and validation of the concept, a prototypical approach is used. Since a complete realization would go beyond the scope of this thesis, the validity of the concept is proven by realizing selected components. For this purpose, different actors of aftersales are examined more closely with regards to an implementation of a partial aspect of the concept. The participants are selected in such a way that conclusions can be drawn about the usefulness of the overall concept while also identifying hurdles that are encountered during its implementation. In a first step, the general implementation of a *digital twin* with a service portal as the administration shell is carried out. Using this, the concept is then applied to

optimize the process of a main inspection using a *mixed reality device* and to optimize the supply of spare parts with a focus on *generative manufacturing*.

In summary, this dissertation provides an approach to *digital transformation* that supports established players in automotive aftersales in adapting to a changing environment and the associated challenges. It makes sense to implement the concept both step by step and as needed. Depending on the size of the company and the sector in which it operates, sub-aspects of the concept can be introduced and successively added to the overall system with further use cases or company-specific modules.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1. Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	2
1.3 Einordnung und Struktur der Arbeit	3
2. Stand der Technik	6
2.1 Digitale Transformation	6
2.2 Werkzeuge zur Umsetzung der Digitalen Transformation.....	9
2.2.1 IoT- Internet der Dinge.....	9
2.2.2 Industrie 4.0	10
2.2.3 Digitaler Zwilling	10
2.2.4 IT-Managementkonzepte im Unternehmen.....	12
2.2.5 Künstliche Intelligenz / Machine Learning	15
2.2.6 Blockchain	18
2.3 Innovative Benutzerschnittstellen zur Umsetzung der Digitalen Transformation	19
2.3.1 Extended Reality	20
2.3.2 Generative Fertigung	27
2.4 Akteure des Automotive Aftersales.....	31
2.4.1 Umfeld des Automotive Aftersales	36
2.4.1.1 Agenda 2030.....	37
2.4.1.2 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie.....	38

3.	Entwicklung des Aftersales und Transformationsziele.....	41
3.1	Extern getriebene Entwicklung des Aftersales.....	41
3.2	Intern getriebene Entwicklung des Aftersales.....	45
3.3	Bereits realisierte Ansätze zur Digitalen Transformation im Automotive Aftersales.....	50
4.	Konzept zur digitalen Transformation des Automotive Aftersales	52
4.1	Vorgehensweise und Hinleitung zum Konzept	53
4.2	Konzept zur Transformation.....	59
4.2.1	Kernbaustein.....	61
4.2.1.1	Digitaler Zwilling.....	62
4.2.1.2	Serviceportal.....	66
4.2.2	Anbindung an bestehende Lösungsräume	71
4.2.3	Innovative Nutzerschnittstellen	72
4.2.3.1	Extended Reality	72
4.2.3.2	Generative Fertigung	76
4.3	Bewertung der Ergebnisse	81
5.	Umsetzung und Validierung des Konzeptes.....	84
5.1	Optimierung der unternehmensübergreifenden Datenverwaltung mit Fokus auf den Digitalen Zwilling und eine Serviceplattform	86
5.2	Optimierung des Prozesses der Hauptuntersuchung mit Fokus auf die Mixed Reality	97
5.3	Optimierung der Ersatzteileversorgung mit Fokus auf die Generative Fertigung	126
5.4	Bewertung der Ergebnisse	136
6.	Zusammenfassung und Ausblick	140
7.	Literaturverzeichnis	144
8.	Anhang.....	155

Anhang 1: Abbildung 16 im Querformat	155
Anhang 2: Abbildung 25 im Querformat	156

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Kapitels Stand der Technik (eigene Abbildung).....	6
Abbildung 2 Digitale Transformation in Anlehnung an (Mohr 2020)	7
Abbildung 3 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (DIN DIN SPEC 91345).....	11
Abbildung 4: Basismodell der Softwareentwicklung (Brandt-Pook und Kollmeier 2020).	13
Abbildung 5: Kategorische Algorithmen des Maschinellen Lernens nach (Weber 2020)..	16
Abbildung 6: Realitäts-Virtualitäts-(RV)-Kontinuum in Anlehnung an (Milgram et al. 1995)	22
Abbildung 7: Gartner Hype Zyklus für VR und AR in Anlehnung an (Vigkos et al.)	25
Abbildung 8: Potenziale von MR-Angebotsformen in Anlehnung an (Zabel et al. 2021)..	26
Abbildung 9: Größte Hemmnisse für das Wachstum im MR-Segment in Anlehnung an (Zabel et al. 2021)	27
Abbildung 10: Schematischer Ablauf des Laserschmelzverfahrens (GEBHARDT 2016).	29
Abbildung 11: Produkt-Lebenszyklus von Automobilen in Anlehnung an (Hecker und Hurth 2017).....	31
Abbildung 12: Segmentierung des klassischen Automotive Aftersales in Anlehnung an (Göller und Guffarth 2017)	32
Abbildung 13: Wartungsaufwand pro Pkw in Deutschland 1990 bis 2020 (Kords 2022) ..	37
Abbildung 14: Strategische Abhängigkeiten (eigene Abbildung).....	42
Abbildung 15: Optimierte Form strategischer Abhängigkeiten (eigene Abbildung).....	43
Abbildung 16: Datenfluss im Automotive Aftersales (eigene Abbildung)	46
Abbildung 17: Zwiebelprinzip (eigene Abbildung)	53
Abbildung 18: Schale Automotive Aftersales (eigene Abbildung).....	54
Abbildung 19: Schale Entwicklungen /Werkzeuge und Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung).....	55
Abbildung 20: Abhängigkeiten ÜTZ / Maßnahmen (eigene Abbildung)	56
Abbildung 21: Abhängigkeiten der Maßnahmen untereinander (eigene Abbildung).....	58

Abbildung 22: Schale Konzept (eigene Abbildung).....	59
Abbildung 23: Konzeptskizze (eigene Abbildung)	60
Abbildung 24: Kernbaustein des Konzeptes (eigene Abbildung)	61
Abbildung 25: Verbesserter Datenfluss (eigene Abbildung)	63
Abbildung 26: Kernmodul mit Engineering Gateway (eigene Abbildung)	65
Abbildung 27: Modul Innovative Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung).....	72
Abbildung 28: Engineering Gateway mit innovativen Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung).....	75
Abbildung 29: Engineering Gateway mit Innovativen Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung).....	77
Abbildung 30: Filterung des Bauteileportfolios (eigene Abbildung).....	79
Abbildung 31: Vergleich konventioneller mit generativer Fertigung (Jochem, et al.).....	80
Abbildung 32: Konzept zur Digitalen Transformation (eigene Abbildung)	84
Abbildung 33 Definition der Teilschritte (eigene Abbildung)	86
Abbildung 34 Konzept des AWS Twinmakers (Amazon Web Services, Inc. 2022).....	87
Abbildung 35: Architektur des Engineering Gateways (eigene Abbildung).....	88
Abbildung 36: CAD-Add-in des Engineering Gateways (eigene Abbildung)	89
Abbildung 37: Registrierfunktion der Serviceplattform (eigene Abbildung)	92
Abbildung 38: Dashboard der Plattform (eigene Abbildung)	93
Abbildung 39: Fahrzeugübersicht im Reiter Kunde mit 3D-Visualisierungskomponente (eigene Abbildung).....	94
Abbildung 40: Mixed Reality Schnittstelle (eigene Abbildung).....	95
Abbildung 41: Bestandteile und Einbettung der Plattform (eigene Abbildung)	96
Abbildung 42: Virtuelles Tablet (eigene Abbildung).....	100
Abbildung 43: Primäres Tablet (eigene Abbildung)	101
Abbildung 44: Sekundäres Tablet (eigene Abbildung).....	101
Abbildung 45: Offene Handfläche mit erkannten Handelementen (eigene Abbildung)...	102

Abbildung 46: Definition der benutzerdefinierten Sprachbefehle in MRTK (eigene Abbildung).....	102
Abbildung 47: Netzwerkarchitektur (eigene Abbildung).....	103
Abbildung 48: Datenübertragung (eigene Abbildung).....	104
Abbildung 49: Zusammensetzung der Nachrichten (eigene Abbildung).....	105
Abbildung 50: 3D Scan (links), Model Target (rechts) (eigene Abbildung).....	107
Abbildung 51: Parametrisches Fahrzeugmodell (Altair Engineering 2020).....	107
Abbildung 52: QR-Code angebracht im Motorraum (eigene Abbildung).....	108
Abbildung 53: Model Target Generator (eigene Abbildung).....	109
Abbildung 54: Model Target Objekt (eigene Abbildung).....	109
Abbildung 55: Positionierung des Modells auf das Fahrzeug (eigene Abbildung).....	110
Abbildung 56: Tiefenbild (links) und Infrarotbild (rechts) (eigene Abbildung).....	111
Abbildung 57: Manuelle Positionierung der Hologramme (eigene Abbildung).....	112
Abbildung 58: Dataset Untermenu (eigene Abbildung).....	112
Abbildung 59: Unstetige und stetige Funktion der Rotation (eigene Abbildung).....	114
Abbildung 60: Eingangsdaten Tiefenbild oben und Infrarotbild unten (eigene Abbildung)	115
Abbildung 61: Neuronales Netzwerk (Struktur) (eigene Abbildung).....	116
Abbildung 62: Resultat des Trainings (eigene Abbildung).....	116
Abbildung 63: Abweichungsverteilung für den Abstand (eigene Abbildung).....	117
Abbildung 64: Abweichungsverteilung für die Rotation (eigene Abbildung).....	117
Abbildung 65: Tutorial Oberfläche (eigene Abbildung).....	118
Abbildung 66: Auftragsdaten (eigene Abbildung).....	120
Abbildung 67: Positionsbestimmung (eigene Abbildung).....	121
Abbildung 68: Diagnosebereich (eigene Abbildung).....	122
Abbildung 69: Inspektionsbereich (eigene Abbildung).....	123
Abbildung 70: Unserinterface zur Teileidentifikation (eigene Abbildung).....	128

Abbildung 71: Originalbauteil (Bauteilezeichnung) (eigene Abbildung)	129
Abbildung 72: Gedruckte Klappe Wagenheber (Eigene Abbildung).....	132
Abbildung 73: Vermessung des 3D-Druck-Bauteiles (Porsche AG 2016a)	133
Abbildung 74: Vermessung des PU-Abgusses (Porsche AG 2016a).....	134
Abbildung 75: Bauteil mit zusätzlichen Haltetaschen (eigene Abbildung)	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundkomponenten der XR-Technologie in Anlehnung an (Vigkos et al.)	21
Tabelle 2: Zielmarkt-Content-Matrix in Anlehnung an (Zabel et al. 2021).....	23
Tabelle 3: Konventionell verwendetes Material (TL52382)	129
Tabelle 4: Übersicht der internen RP-Technologien (Porsche AG 2016a)	131
Tabelle 5: Werkstoffe im Rapid Tooling (Porsche AG 2016a).....	132

Abkürzungsverzeichnis

AAS:	Automotive Aftersales
3D:	Dreidimensional
PC:	Personal Computer
AG:	Aktiengesellschaft
IOT:	Internet of Things
IIOT:	Industrial Internet of Things
IT:	Informationstechnologie
PDM:	Product Data Management
PLM:	Product Lifecycle Management
DIN:	Deutsche Industrienorm
XR:	Extended Reality
AR:	Augmented Reality
AV:	Augmented Virtuality
VR:	Virtual Reality
MR:	Mixed Reality
RV:	Realitäts-Virtualitäts- Kontinuum
B2B:	Business to Business
B2C:	Business to Customer
VDI:	Verein Deutscher Ingenieure
ATSM:	American Society for Testing and Materials
AM:	Additive Manufacturing
SLM:	Selective Laser Melting
STL:	Stereolithographie
ERP:	Enterprise Ressource Planning
CRM:	Customer Relationship Management
SCM:	Supply Chain Management
CAX:	Computer Aided "x"
CAD:	Computer Aided Design
CAM:	Computer Aided Manufacturing
MVC:	Model View Controller
KPI:	Key Performance Indicators

BIP:	Bruttoinlandsprodukt
SDG:	Sustainable Development Goals
AU:	Abgasuntersuchung
HU:	Hauptuntersuchung
PKW:	Personenkraftwagen
KFZ:	Kraftfahrzeug
IAM:	Internationales Automobilmanagement
TÜV:	Technischer Überwachungsverein
GTÜ:	Gesellschaft für Technische Überwachung
BMVI:	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
HSN:	Herstellerschlüsselnummer
TSN:	Typenschlüsselnummer
VIN:	Vehicle Identification Number
OBD:	Onboard Diagnostics
CAN:	Controller Area Network
CO ₂ :	Kohlenstoffdioxid
ÖPNV:	Öffentlicher Personennahverkehr
PDF:	Portable Document Format
STEP:	Standard for the Exchange of Product Data
GVO:	Gruppenfreistellungsverordnung
OEM:	Original Equipment Manufacturer
APP:	Application
gITF:	GL Transmission Format
HTTP:	Hypertext Transfer Protocol
MQTT:	Message Queuing Telemetry Transport
OPC-UA:	OPC Unified Architecture
SQL:	Structured Query Language
AWS:	Amazon Web Services
ML:	Machine Learning
HTML:	Hypertext Markup Language
CSS:	Cascading Style Sheets
WLAN:	Wireless LAN
TCP/IP:	Transmission Control Protocol (TCP) und Internet Protocol (IP)
IPv4:	Internet Protocol Version 4

QR:	Quick Response
JSON:	JavaScript Object Notation
PU:	Polyurethan
EOP:	End of Production
SOP:	Start of Production

1. Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Der rasche globale Wandel in der Politik, Umwelt und Gesellschaft, ein sich änderndes Kundenbild und die steigende technische Komplexität beim Umstieg von konventionellen Antriebskonzepten mit Verbrennungsmotoren auf elektrische Fahrzeuge und nicht zuletzt auch die Covid-19-Pandemie sind nur einige treibende externe Faktoren, welche direkte Auswirkungen auf die Automobilindustrie und deren Akteure¹ haben. (Ifo Schnelldienst 2021; Kuhn 2017) Auch intern befindet sich die Automobilindustrie im Wandel vom klassischen Produzenten hin zum Mobilitätsdienstleister. Hierbei gilt es, mit einer neuen Vielfalt an Daten umzugehen, diese richtig zu analysieren und interpretieren, wie aber auch produktiv zu nutzen. (FES-Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik 2022) Die Automobilindustrie befindet sich in einem fundamentalen Transformationsprozess. Um den Wandel zu bewältigen, verausgabten Unternehmen im Jahr 2017 einen Großteil ihrer Investitionen, durchschnittlich rund 35 Prozent, in die Entwicklung von Antriebstechnologien und Kraftstoffeffizienz oder Alternativantriebe. (Statista 2022)

Auf den Bereich des Automotive Aftersales fielen im Vergleichszeitraum hingegen nur etwa Investitionen von rund 3 Prozent. (Statista 2022) Zeitgleich hat der Automotive Aftersales durch das Zurückgehen von Unfällen bedingt durch besser funktionierende Assistenzsystemen, geringerer Kilometerleistungen durch Arbeiten im Homeoffice, dem Anstieg der Elektromobilität und dem verstärkten Einsatz von Softwareupdates ohne einen Werkstattbesuch ebenso mit einer gravierenden Veränderung bisheriger Geschäftsprozesse und einer starken Transformation umzugehen. (Winkler 2021) Einerseits müssen die teils sehr geringen Margen im Endproduktgeschäft von produzierenden Unternehmen durch den After Sales Service kompensiert werden, andererseits müssen sich unabhängige Dienstleister auf dem Markt gegen neue Konkurrenten im Wettbewerb behaupten. Dies erfordert, dass sich der After Sales Service stets neu erfindet, innovative Lösungen für den Kunden

¹ In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

bereitstellt, die Kundenwünsche zur vollen Zufriedenheit erfüllt und aufgrund der zunehmenden Globalisierung auch weltweit vertreten sein muss. Die systematische Betreuung der Kunden über den gesamten Lebenszyklus der Produkte und somit auch nach dem eigentlichen Verkauf ist aber nicht nur aufgrund des vorhandenen Kundenzuganges, sondern insbesondere auch ökonomisch attraktiv: Die Servicekosten belaufen sich bei attraktiven Renditen auf über 80 Prozent der gesamten Lebenszykluskosten. (Sass 2012)

Im Rahmen der Konzepte der Digitalen Transformation wie auch der Industrie 4.0 werden Unternehmen eine breite Basis an verschiedenen Lösungsansätzen angeboten, um künftig zielgerichtet agieren zu können und sich den Herausforderungen interner sowie externer Art zu stellen. Die Implementierung von Werkzeugen sowie Nutzerschnittstellen in diesem Kontext erlaubt es, Service-, Produktions-, Dienstleistungs- und Logistikprozesse neu zu gestalten, um den Herausforderungen der sich schnell ändernden Anforderungen und der zunehmenden Komplexität der Produkte zu begegnen. (Lobeck 2022) So finden Konzepte wie die Implementierung eines Digitalen Zwillinges, welcher als Bindeglied zwischen dem realen Produkt und der virtuellen Welt aus Zahlen, Daten und Visualisierungsmodellen angesehen werden kann, bislang nur unzureichend Beachtung. Auch innovative Nutzerschnittstellen, mit welchen ein intuitiver Zugang zu den entsprechenden Daten geübt werden kann, finden bislang nur bedingt Einzug in die Betrachtung. Die hier generierten Daten liefern das Potential, auch den Automotive After Sales unter Berücksichtigung des limitierten Budgets zu verbessern. Die Daten haben jedoch einen geringen Nutzen, sofern sie nur gesammelt, aber nicht entsprechend global aufbereitet werden, um an der richtigen Stelle zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stehen und auch unternehmensübergreifend, bidirektional gepflegt und genutzt werden zu können. Auch die 3D-Visualisierung und der barrierefreie Zugang zu diesen Daten steht bislang nicht ausreichend im Fokus.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die Akteure der Automobilbranche und insbesondere des Automotive Aftersales haben, wie bereits der Ausgangssituation entnommen werden kann, mit einem intern- sowie extern geprägten Wandel umzugehen. Um den Automotive Aftersales zukunftssicher aufzustellen und auch unter dem Aspekt der geringen Investitionsdichte im Vergleich zu anderen Handlungsfeldern zukunftsorientiert agieren zu können, gilt es, neue Konzepte und Strategien zu erarbeiten und auch zu realisieren. Hierzu ist die Ausarbeitung eines Konzeptes

zur Digitalen Transformation für den Automotive Aftersales ein mögliches Lösungsszenario, welches im Kontext dieser Arbeit untersucht werden soll. Der Fokus soll darauf liegen, ein für alle Akteure des Automotive Aftersales zugängliches und umfassendes Abbild aller Daten, Tätigkeiten und Abläufe im gesamten Produktlebenszyklus eines Fahrzeuges zu liefern. Dazu müssen zunächst der Stand der Technik im Kontext der Digitalen Transformation und zur Umsetzung derer geeignete Werkzeuge wie auch Nutzerschnittstellen betrachtet werden. Auch werden die Akteure des Automotive Aftersales näher beschrieben und deren Umfeld hinterleuchtet. Auf der Basis dieser gewonnen Erkenntnisse können nun künftige Entwicklungen interner wie auch externer Art vorgestellt werden. Aus diesen Werten werden Transformationsziele abgeleitet, welche die Basis für die Konzepterstellung zur Digitalen Transformation im Automotive Aftersales liefern. Im Mittelpunkt des Konzeptes steht eine für den Aftersales gerechte Interpretation und Auslegung des Digitalen Zwillings, für welchen es gilt, ein neues Verständnis zu kreieren. Gegenüber bisherigen Realisierungsansätzen des Digitalen Zwillings soll die unternehmensübergreifende, bidirektionale Verwaltung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg im Fokus stehen. Zudem soll der Fokus auf einer 3D-Visualisierungskomponente liegen, welche es erlaubt, die dort hinterlegten Daten auch in nachgelagerten, immersiven Prozessen wie der Extended Reality zu nutzen. Somit soll auch die Implementierung von innovativen Nutzerschnittstellen und die Betrachtung der dortigen Notwendigkeit von 3D-Visualisierungsdaten Bestandteil der Ausarbeitung sein. Die Einbindung von innovativen Nutzerschnittstellen erlaubt den immersiven Zugang zu Daten sowie eine Verschmelzung von realen und virtuellen Informationen. Mit Hilfe einer prototypischen Herangehensweise erfolgt eine Realisierung des Konzeptes und dessen Anwendung auf eine inhomogene Gruppe von Akteuren des Automotive Aftersales. Hierbei steht eine Validierung der gewonnenen Erkenntnisse sowie die Ableitung weiterer Untersuchungsschwerpunkte im Mittelpunkt.

1.3 Einordnung und Struktur der Arbeit

Folgend wird – aufbauend auf einer wissenschaftstheoretischen Einordnung – die Struktur der Arbeit erläutert. Zur Beantwortung der Forschungsfrage bedarf es einer systematischen Herangehensweise. Im Zuge dessen wird die wissenschaftstheoretische Forschungslogik nach Ulrich und Hill herangezogen.

Es erfolgt eine Unterteilung der Wissenschaft nach ihren Erkenntniszielen in Formal- und Realwissenschaften. Die Formalwissenschaft verfolgt die Erstellung logischer Zeichensysteme, während sich die Realwissenschaft mit der Erklärung und Gestaltung empirisch ermittelbarer Wirklichkeitsausschnitte beschäftigt. Diese Realwissenschaften gliedern Ulrich und Hill wiederum in zwei Bereiche: die Grundlagenwissenschaft und die Handlungswissenschaft. Grundlagenwissenschaftliche Studien sehen in der Erkenntnis an sich ihr Ziel und dokumentieren diese häufig in Form von Theorien oder Modellen. Handlungswissenschaftliche Arbeiten hingegen haben die Überprüfung und Anwendung der Theorien zur Lösung von praktischen Problemen zum Ziel. (Ulrich und Hill 1976)

Hierbei kann vermerkt werden, dass sich weder die beiden Untersuchungsansätze der Realwissenschaften noch Formal- und Realwissenschaften gegenseitig ausschließen. So findet beispielsweise die Formalwissenschaft in der Grundlagenwissenschaft Anwendung, deren Erkenntnisse wiederum handlungswissenschaftlich überprüft und angewendet werden. (Ulrich und Hill 1976) Die vorliegende Dissertation ist aufgrund der praxisorientierten Problemstellung und anwendungsbezogenen Zielsetzung den realwissenschaftlichen Handlungswissenschaften zuzuordnen. Diese Einordnung bildet die Grundlage für die nachfolgende Beschreibung der Struktur der Dissertation.

Zu den Handlungswissenschaften zugehörige Werke werden gemäß Ulrich und Hill in terminologisch-deskriptive, empirisch-induktive und analytisch-deduktive Forschungsaktivitäten gegliedert. (Ulrich und Hill 1976) Im terminologisch-deskriptiven Forschungsprozess gilt es, ein Begriffssystem zu erarbeiten, über welches sich der Realitätsausschnitt sowie der Geltungsbereich eingrenzen lässt. Aufbauend erfolgt eine empirisch-induktive Ableitung von Zusammenhängen empirischer Einzelbeobachtungen bis hin zur Formulierung von Hypothesen. Über analytisch-deduktive Forschungen lassen sich mittels logischer Schlussfolgerungen Modelle konstruieren sowie analytisch auswerten. Da eine abschließende Bestätigung über eine vollständige Induktion von Hypothesen auf der Basis von Einzelbeobachtungen nicht möglich ist, empfiehlt es sich, diese Hypothesen empirisch-induktiv zu verifizieren und sie, solange sie nicht durch Einzelbeobachtungen widerlegt, werden konnten, als vorläufig wahr anzunehmen. Dieses Verfahren wird als zulässiges Verfahren des realwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses akzeptiert. (Ulrich und Hill 1976)

Nun gilt es, die Erkenntnisse von Ulrich und Hill auf die Struktur der vorliegenden Dissertation zu übertragen. Das Kapitel 1 dient der Erläuterung der Problemstellung und der

Zielsetzung der Dissertation. In Kapitel 2 erfolgt mittels der deskriptiven Darstellung die Darlegung des Stands der Technik, unterteilt in die Bereiche Digitale Transformation, Werkzeuge und Nutzerschnittstellen zur Umsetzung dieser sowie Akteure und Umfeld des Automotive Aftersales. Darauf aufbauend umfasst Kapitel 3 die Formulierung von Transformationszielen, welche sich durch künftige Entwicklungen sowohl interner wie auch externer Art ergeben. Auch bereits realisierte Ansätze im Rahmen der Zielsetzung finden hier Betrachtung. Die bis dahin vorwiegend terminologisch-deskriptiven Forschungsaktivitäten bilden die Grundlage für die empirisch-induktive Präzisierung der Problemstellung. Zu Beginn von Kapitel 4 erfolgt zunächst die Vorstellung einer wissenschaftlichen Methode zur Konzepterstellung. Unter Anwendung empirisch-induktiver sowie analytisch-deduktiver Forschungsaktivitäten wird die Hinleitung zu einem Konzept vorgenommen. Die empirisch-induktive Verifizierung des Konzeptes erfolgt in Kapitel 5. Dies geschieht durch die Generierung von Prototypen. Eine Zusammenfassung und kritische Reflexion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 6. Anwendungsfelder und weiterführende Forschungsinteressen bilden den Abschluss dieser Dissertation.

2. Stand der Technik

Der Stand der Technik lässt sich in zwei Hauptbereiche untergliedern. Zum einen werden die digitale Transformation sowie die zugehörigen Werkzeuge und Benutzerschnittstellen zur Realisierung dieser vorgestellt. Zum anderen erfolgt ein Überblick über die Akteure des Automotive Aftersales und deren Umfeld.

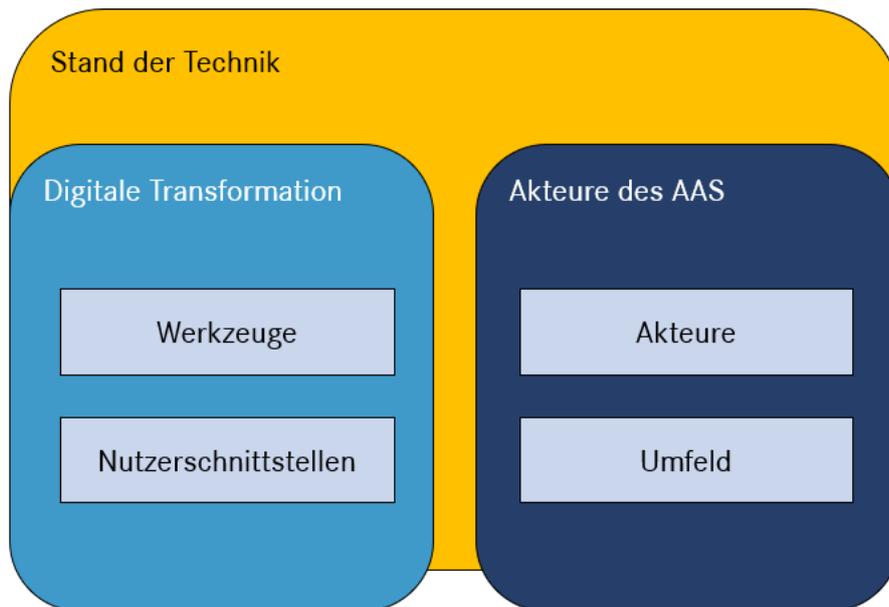


Abbildung 1: Aufbau des Kapitels Stand der Technik (eigene Abbildung)

Im direkten Bezug zur Digitalen Transformation werden Werkzeuge sowie Benutzerschnittstellen vorgestellt, welche sich zur Umsetzung bzw. Beschleunigung der Digitalen Transformation unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung des Automotive After Sales eignen.

2.1 Digitale Transformation

Die Digitale Transformation ist ein bestimmendes Thema unserer Zeit. Lag der Fokus zu Beginn auf technologischen Entwicklungen, die in engen Fachzirkeln vorangetrieben wurden, so hat das Thema mittlerweile eine hohe gesellschaftliche Relevanz. (Schallmo et al. 2021) Maßgeblich dazu beigetragen hat der Begriff Industrie 4.0, der die zunehmende Digitalisierung im Bereich der Produktion als vierte industrielle Revolution bezeichnet. Der zielgerichtete Einsatz neuer Technologien und die Verbindung zu smarten Prozessen haben

zeigt, dass nicht nur einzelne Bereiche, sondern ganze Unternehmen und deren Wertschöpfungsketten transformiert werden können. Partnerunternehmen, Lieferanten wie auch Endkunden werden enger in die Entwicklung neuer Produkte und die Leistungserstellung einbezogen. (Strassmann 2022) Die Digitale Transformation lässt sich zusammenfassen als der gezielte Wandel des Denkens und Handelns von Unternehmen, welcher durch technologische Entwicklungen und moderne Arbeitsmethoden bzw. der sich daraus ergebenden Verschiebung unternehmerischer Potenziale bedingt wird. (Disselkamp und Heinemann 2018) Eine geeignete Vorgehensweise zur Realisierung eines solchen Wandels teilt sich in vier iterative Phasen auf, welche sich Abbildung 2 entnehmen lassen. (Mohr 2020)

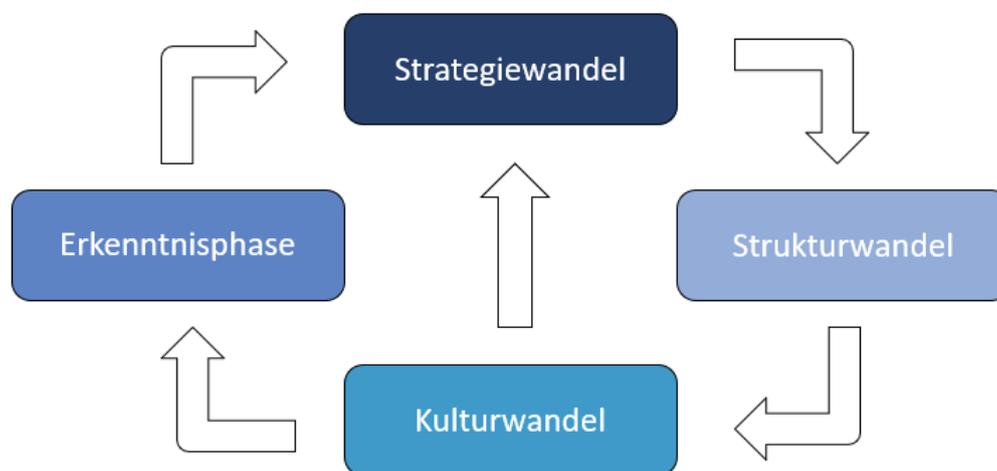


Abbildung 2 Digitale Transformation in Anlehnung an (Mohr 2020)

Die abgebildete Erkenntnisphase dient dazu, alle Ebenen des Unternehmens systematisch zu betrachten. Hieraus abgeleitete Erkenntnisse in Form von Strukturen, Aktivitäten und Prozessen wie auch das bestehende Geschäftsmodell werden daraufhin analysiert. So können kritische Faktoren, Optimierungsbedarfe oder auch eine mangelnde Effizienz aufgedeckt werden. Als Folge dessen können konkretisierte Handlungsziele und Maßnahmen abgeleitet werden. (Mohr 2020) In der Phase des Strategiewandels wird das aktuelle Geschäftsmodell kritisch hinterfragt und zeitgleich findet eine strategische Neuausrichtung statt. Dazu werden aufgedeckte Störfaktoren und Potentiale als Ergebnisse aus der Erkenntnisphase zur Ableitung möglicher Anpassungen hinsichtlich der Kunden- und Lieferantenbeziehung oder auch sinnvoller Investitionsmöglichkeiten herangezogen. Aus den Investitionen können sich dabei Potenziale zur Erweiterung des Geschäftsmodells ergeben. (Mohr 2020) Unter Umständen kann es auch sinnvoll sein, ein duales

Geschäftsmodell zu realisieren, bei welchem auf der einen Seite das bewährte Geschäftsmodell ausgereizt, auf der anderen Seite aber auch ein innovatives Geschäftsmodell durch speziell dafür abgegrenzte Teile des Unternehmens umgesetzt wird. (Mohr 2020) Ein solcher Strategiewandel macht auch strukturelle Anpassungen des Unternehmens notwendig, welche im Rahmen der Phase des Strukturwandels umgesetzt werden. Neben der Unternehmensstruktur werden unter Umständen auch Lieferanten- und Kundenstrukturen angepasst. Eine Veränderung der Unternehmensstruktur kann dazu beitragen, flache Hierarchien mit kurzen Entscheidungswegen sowie kooperativen Denk- und Arbeitsweisen von Abteilungen zu fördern. (Mohr 2020) Hierbei ist zu beachten, dass die Implementierung solcher Ansätze und Methoden mit einer gewissen Komplexität verbunden ist und entsprechende Vorlaufzeiten bei der Einführung und Umsetzung benötigt. Auch unternehmensinterne Wechselwirkungen sind zu berücksichtigen. Eine Veränderung der Lieferanten- und Kundenstrukturen bringt ebenso Potential mit sich, fordert zeitgleich jedoch auch die Kooperation aller Interessenshalter des Unternehmens. (Mohr 2020) So wie der Strategiewandel den Strukturwandel bedingt, bedingt der Strukturwandel einen Wandel der Unternehmenskultur, welcher in der Phase des Kulturwandels vollzogen wird. Hierbei werden Werte gepflegt, welche den Wandel des Unternehmens unterstützen bzw. diesen überhaupt erst ermöglichen. Dazu gehört bspw. die Aufgeschlossenheit gegenüber Ungewöhnlichem und Neuem, der Mut zum Risiko, die Bereitschaft zum Ausprobieren und Scheitern sowie das ständige kritische Hinterfragen. Als allgemeine Erfolgsfaktoren einer gewandelten Unternehmenskultur lassen sich eine verständliche Vermittlung von Zielen und deren Bedeutung für das Unternehmen, Rückkopplungsmechanismen für die Weitergabe von Informationen und das Ernennen von Verantwortlichen zur Überwachung neuer Regeln und Werte identifizieren. (Mohr 2020)

Bei der Entwicklung einer konkreten Vorgehensweise für eine strategische digitale Neuausrichtung kann eine Unterteilung in die drei Teilbereiche kundenspezifische Digitalisierung, organisationsspezifische Digitalisierung und geschäftsmodellspezifische Digitalisierung erfolgen. Eine kundenspezifische Digitalisierung erzielt allgemein schnelle Erfolge, indem bspw. bestehende Dienstleistungen optimiert, neue Vertriebskanäle genutzt und Kundenbeziehungen bzw. die Art und Weise von Vorgängen verbessert werden. Bei der organisationsspezifischen Digitalisierung liegt der Fokus auf einer Optimierung der Effizienz von internen Abläufen und Prozessen, dem Einsatz von Wissen und der Zusammenarbeit in Wertschöpfungsnetzwerken. Beispiele hierfür sind das Automatisieren von Routinetätigkeiten und Arbeitsprozessen, das interne und externe Kollaborieren durch

Cloud-Computing, die Inanspruchnahme externer Services durch Cloud-Lösungen und die Verwendung von Wissensdatenbanken und Business-Intelligence. Die geschäftsmodell-spezifische Digitalisierung kann durch entsprechend digital vernetzte Systeme zwischen Unternehmen geschaffen werden, wobei gezielt das Vorhandensein von komplementärem Wissen genutzt werden kann, um Kooperationen oder Allianzen einzugehen. Auch die mit Hilfe von digitalen Lösungen mögliche Beherrschung der Komplexität von Produkten und Dienstleistung kann gezielt ausgenutzt werden. (Mohr 2020)

2.2 Werkzeuge zur Umsetzung der Digitalen Transformation

Folgend werden nun Werkzeuge vorgestellt, welche zur Umsetzung des Konzeptes der Digitalen Transformation im Automotive Aftersales geeignet sind. Der Fokus liegt hierbei nicht auf einer allumfassenden Darstellung aller verfügbaren Werkzeuge, sondern soll vielmehr einen Einblick in die Themenwelt geben und die im weiteren Verlauf der Ausarbeitung relevanten Werkzeuge detailliert vorstellen.

2.2.1 IoT- Internet der Dinge

Das Internet der Dinge [Engl: Internet of Things, IoT] bezeichnet die Verschmelzung der physischen Welt mit Anlagen, Maschinen und Geräten und der digitalen Welt. (Lobeck 2022) IoT bietet dabei branchenunabhängig die Möglichkeit, neue Geschäftszweige zu implementieren und bestehende neu zu definieren. (Iansiti und Lakhani 2020) Hierbei ist jedes Gerät eindeutig identifizierbar und kommuniziert über das Internet. Dabei werden vernetzte Geräte nicht mehr ausschließlich von Nutzern gesteuert, sondern verfügen auch über eine Maschine-Maschine-Schnittstelle, über welche sie untereinander kommunizieren können. So sind auch Maschinen untereinander in der Lage, Aufgaben, Prozesse und auch komplette Automatisierungen umzusetzen.

Im Internet of Things werden vernetzte Geräte nicht mehr ausschließlich von Benutzern gesteuert, sondern kommunizieren im Sinne einer Machine-to-Machine-Kommunikation auch direkt miteinander und können somit, Aufgaben und Prozesse komplett automatisiert umsetzen. Dabei werden auch Sensoren eingesetzt, welche ihre Informationen an Algorithmen weitergeben. Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen werden hierdurch gefördert. (Härter 2022) Während IoT-Lösungen im Konsumgüterbereich, beispielsweise in Form von Carsharing oder Fitness Trackern, im Alltag gut sichtbar sind, wird der größte Teil des wirtschaftlichen Potenzials industriellen IoT-Lösungen

zugeschrieben. Diese werden mit dem Unterbegriff „Industrial Internet of Things“ (IIoT) bezeichnet. (Radouan Ait Mouha 2021) Das IIoT integriert physische Objekte in digitale Netzwerke und ermöglicht die Gewinnung und Verwertung relevanter Nutzungs- und Umweltdaten im Industrie-Kontext. Die Ausstattung mit Sensoren und Aktoren ermöglicht somit nicht nur die Verbesserung bestehender Produkte und Dienstleistungen. (Slama et al. 2016)

2.2.2 Industrie 4.0

Industrie 4.0 ist ein zentrales Thema der Digitalen Agenda der Bundesregierung. Mit dem Begriff Industrie 4.0 soll auf die vierte industrielle Revolution Bezug genommen werden, die mit der Informatisierung der Produktion nunmehr ansteht. Sie folgt den durch

1. Mechanisierung mit Wasser- und Dampfkraft,
2. Massenfertigung mit Hilfe von Fließbändern und elektrischer Energie, sowie
3. Einsatz von Elektronik und IT zur weiteren Automatisierung der Produktion

verursachten Technologiesprüngen, die als erste bis dritte industrielle Revolutionen bezeichnet werden. (Manzei et al. 2017; Strassmann 2022) Die industrielle Produktion soll mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik verzahnt werden. Technische Grundlage hierfür sind intelligente und digital vernetzte Systeme. Mit ihrer Hilfe soll eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich werden: Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte kommunizieren und kooperieren in der Industrie 4.0 direkt miteinander. (Lobeck 2022) Durch die Vernetzung soll es möglich werden, nicht mehr nur einen Produktionsschritt, sondern eine ganze Wertschöpfungskette zu optimieren. Das Netz soll zudem alle Phasen des Lebenszyklus des Produktes einschließen – von der Idee eines Produkts über die Entwicklung, Fertigung, Nutzung und Wartung bis zum Recycling. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022a)

2.2.3 Digitaler Zwilling

Der Digitale Zwilling bezeichnet das virtuelle Abbild von Dingen aus der realen Welt. Der Digitale Zwilling dient als Beschreibung sowohl materieller Dinge wie auch nicht physischer Dinge, unter die z.B. Dienste fallen. Die Beschreibung erfolgt, indem alle relevanten Informationen und Dienste unter Verwendung einer einheitlichen Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist es irrelevant, ob in der realen Welt das Gegenstück schon existiert oder sich noch in der Entwicklung befindet. (Kuhn 2017) Ein standardisierter

Ansatz zur allgemeinen Realisierung eines Digitalen Zwillings wird im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 durch das sogenannte Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 und die darin definierte Asset Verwaltungsschale beschrieben. Die drei Dimensionen werden dabei durch die Architektur bezogenen Informationsebenen (Layers), die Abschnitte im Wertschöpfungsprozess und dem Lebenszyklus der Assets (Life Cycle & Value Stream) sowie ihrer hierarchischen Einordnung in den betrieblichen Kontext (Hierarchy Levels) repräsentiert, welcher im konkreten Anwendungsfall der Industrie 4.0 auf Fabriken bezogen ist. (ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. 2015)

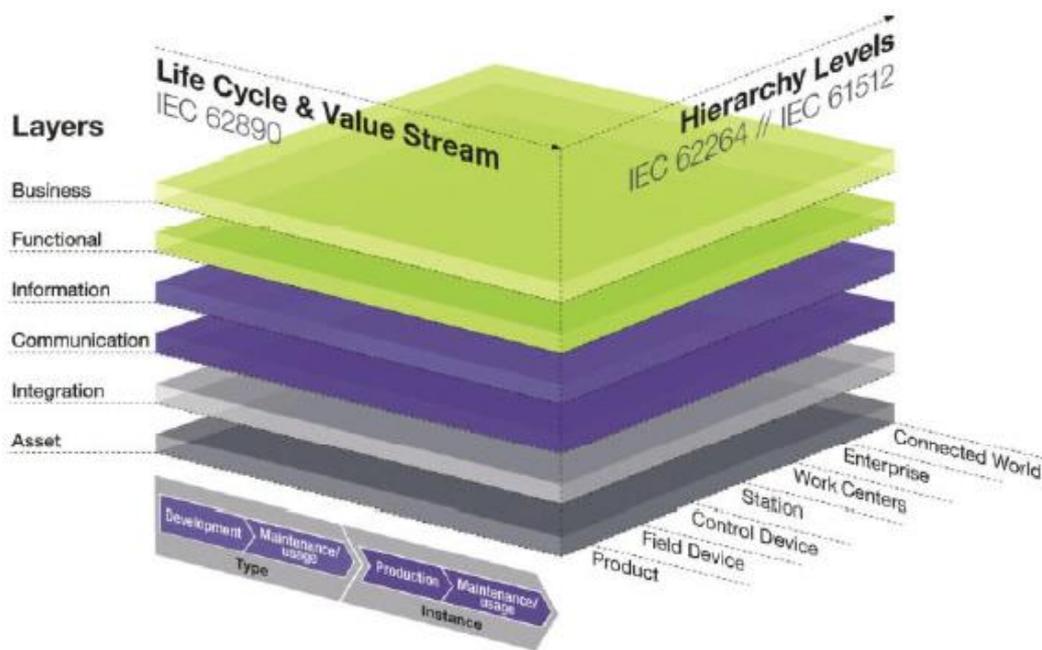


Abbildung 3 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (DIN SPEC 91345)

Die sich daraus ergebende cyberphysische Komponente ist fortan als eindeutig identifizierbare Kombination aus realem Element und virtueller Verwaltungsschale definiert, welches über die digitale Verwaltungsschale in den Cyberspace integriert ist bzw. dort von ihr repräsentiert wird. (DIN SPEC 91345) Die Verwaltungsschale kann dabei auf einem entsprechend ausgerüsteten, kommunikationsfähigen Asset selbst oder einem gesonderten IT-System abgelegt sein, wo sie Zustandsinformationen über das Asset kontinuierlich aufnimmt und geordnet bereitstellt. Hierbei besteht zudem die Möglichkeit, dass eine Verwaltungsschale mehrere Assets repräsentiert oder ein Asset durch mehrere Verwaltungsschalen repräsentiert wird, was bspw. dann der Fall sein kann, wenn einem Asset zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Produktlebenszyklus spezifische Verwaltungsschalen der jeweiligen Akteure eigen sind. Die Verwaltungsschalen unterteilt

sich in den Header und Body. Die Aufgabe des Headers als Informationsträger besteht darin, die Identifikation bzw. Bezeichnung des Assets und der Verwaltungsschale zu realisieren, wozu auch Informationen über die Position des Assets mit aufgenommen werden können. Der Body kann als eigentlicher Informationsträger der Verwaltungsschale bezeichnet werden, welcher dafür partitionierte Teilmodelle enthält. Die Teilmodelle enthalten hierarchisch organisierte Merkmale, welche die individuellen Daten und Funktionen der Verwaltungsschale referenzieren. Zur Sicherstellung der Qualität von Verwaltungsschalen erfolgt eine Unterscheidung zwischen Basismerkmalen, welche für alle Verwaltungsschalen zu definieren sind, Pflichtmerkmalen, welche für bestimmte Teilmodelle zu definieren sind, standardisierten, aber nicht verpflichtenden optionalen Merkmalen und freien Merkmalen. Analog zu den Basismerkmalen ist hierbei festgelegt, dass sogenannte Basissichten als Mindestanforderung an jedes Teilmodell zu definieren sind, wozu unter anderem eine geschäftliche, konstruktive, funktionale, örtliche, lebenszyklusbezogene und für Menschen direkt nutzbare bzw. verständliche Sicht gezählt wird. (DIN SPEC 91345)

2.2.4 IT-Managementkonzepte im Unternehmen

Die Informationstechnologie in Unternehmen (kurz IT) umfasst vier wichtige Managementansätze (Lobeck 2021) :

- Enterprise Resource Planning (ERP)
- Supply Chain Management (SCM)
- Customer Relationship Management (CRM)
- Product Lifecycle Management (PLM)

Das Ziel von ERP ist die optimale Nutzung der Unternehmensressourcen. Dieses System ermöglicht es Unternehmen, ihre Fertigungsprozesse zu planen und alle Aspekte der Fertigung zu steuern, einschließlich Bestand, Einkauf, Prozessplanung, Lagerhaltung und Lieferung, Personalwesen, Finanzen usw. (Bere und Udriou 2018) Das SCM-System konzentriert sich auf die Versorgungskette mit den Hauptzielen Entwurf, Planung, Ausführung, Steuerung und Überwachung aller mit der Lagerung und Verteilung verbundenen Aspekte. Customer-Relationship-Management ist ein Ansatz zur Verwaltung der Interaktion eines Unternehmens mit aktuellen und potenziellen Kunden. (Bere und Udriou 2018) Unter Product Lifecycle Management oder kurz PLM versteht man die ganzheitliche Verwaltung aller Daten, die während des gesamten Lebenszyklus eines Produktes anfallen. Dies beinhaltet die Fähigkeit, alle Prozesse der Bearbeitung sowie den

Informationsfluss zu steuern und zu kontrollieren. (Lobeck 2021) Die Daten entstammen hierbei zum größten Teil der Produktentwicklung und werden auch nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus zur Verfügung gestellt. PLM-Systeme sind dabei als Management-Ansatz zu verstehen und gehen aus einer auf die individuellen Bedürfnisse eines jeweiligen Unternehmens angepassten PDM-Software hervor. (Lobeck 2021) PDM-Systeme beinhalten Programmschnittstellen zu CAx-Software, ERP-Software oder zu Softwarelösungen von Mitbewerbern. Sie sind somit nicht als stand-alone Anwendungen zu begreifen, sondern eher als Kern einer PLM-Lösung. Die Hauptvorteile einer PLM-Umsetzung in Unternehmen sind eine schnellere Markteinführung, eine verbesserte Produktivität und Zusammenarbeit, eine bessere Produktqualität, geringere Kosten für die Einführung neuer Produkte, geringere Kosten für die Herstellung von Prototypen, verbesserte Entwurfsprüfungs- und Genehmigungsverfahren, die Identifizierung potenzieller Verkaufsmöglichkeiten und Umsatzbeiträge, die Maximierung der Zusammenarbeit in der Lieferkette und die Reduzierung der Umweltbelastung am Ende des Produktlebens. (Bere und Udriou 2018)

Neben der Betrachtung der reinen Managementansätze ist auch ein Blick auf die softwareseitige Realisierung dieser Inhalte notwendig. Hierzu wird der Prozess der Softwareentwicklung vorgestellt. Die Entwicklung von Softwareprojekten stellt einen komplexen Prozess dar, welcher mit Hilfe geeigneter Vorgehensmodelle abgebildet und unterstützt werden kann. Um die betrachtete Vorgehensweise möglichst allgemein zu halten, wird hier ein Basismodell herangezogen, welches den wesentlichen Entwicklungsprozess von der Idee bis zur einsetzbaren Lösung vorstellt.

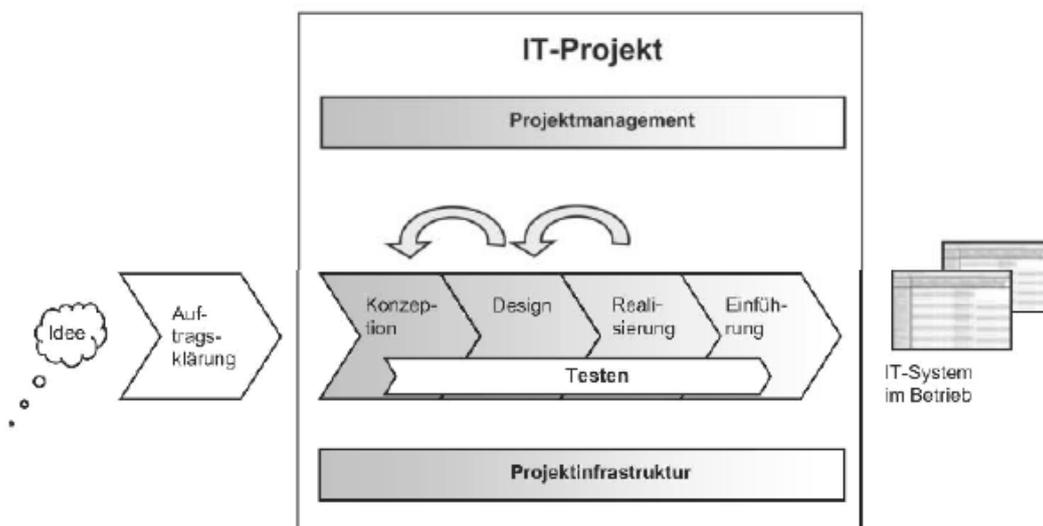


Abbildung 4: Basismodell der Softwareentwicklung (Brandt-Pook und Kollmeier 2020)

Dieser lässt sich in die Bereiche Projektmanagement, Kern und Projektinfrastruktur unterteilen, wobei im Kernbereich der eigentliche Entwicklungsprozess stattfindet, welcher mit der Auftragsklärung, in deren Rahmen Ideen konkretisiert werden, beginnt. Als wesentliche Aktivitäten in diesem Bereich sind die Festlegung von Nutzungszielen, die Analyse der Integrität sowie die Auswirkung auf das Geschäft des Kunden und die Beschreibung, Analyse und Anpassung von betrieblichen Prozessen und Abläufen zu nennen. Daraufhin folgt die Phase der Konzeption. Hier steht die Verfassung von Anforderungen im Fokus, die an eine entsprechende Lösung gestellt werden und so den Leistungsumfang festlegen. Kerninhalt des Leistungsumfanges ist die zur Verfügungstellung eines Lösungskonzeptes bzw. aus der Sicht des Nutzers die Nutzungsmöglichkeiten sowie die dafür erforderlichen Daten. Anschließend werden alternative Lösungsansätze untersucht und bewertet, welche auch hinsichtlich ihres Aufwands in der Umsetzung bewertet werden. Auch bereits existierende und nur anzupassende bzw. zu erweiternden Lösungen werden in die Untersuchung mit aufgenommen und können potenziell benutzt werden. Anschließend wird im Rahmen der Designphase die Architektur der Soft- und Hardware und damit der innere Aufbau der Lösung festgelegt, wobei entsprechend die Hard- und Softwarekomponenten und ihre Schnittstellen definiert werden. Hinzu kommt die Definition des Verhaltens von Softwarekomponenten, welches auf bestimmte Nutzereingaben folgt. Insgesamt spielen dabei die bereits bestehenden und anzubindenden Lösungen des Kunden eine wichtige Rolle, weshalb die Analyse ihrer Schnittstellen in die Entwicklungsaktivitäten zu integrieren ist. Die programmiertechnische Verwirklichung der Ergebnisse aus den Phasen der Konzeption und des Designs beginnen in der Realisierungsphase. Bereits in dieser Phase gilt es, begleitende Tests durchzuführen, um Fehler systematisch und frühzeitig aufzudecken, sodass diese behoben werden können, bevor es zur Abnahme und Freischaltung der Lösung kommt. (Brandt-Pook und Kollmeier 2020)

Einen Eckpfeiler in der modernen und endgeräteübergreifenden Softwareentwicklung stellen sogenannte Webanwendungen dar. Eine Webanwendung ist ein Anwendungsprogramm nach dem Client-Server-Modell. (Steyer 2017) Anders als klassische Desktopanwendungen werden Webanwendungen nicht lokal auf dem Rechner des Benutzers installiert. Die entsprechenden Seiten können über den Browser des Nutzers aufgerufen werden. Die Datenverarbeitung findet auf einem Webserver statt. Das von Microsoft entwickelte MVC-Framework ermöglicht die Entwicklung von Webanwendungen über ein Zusammenspiel der drei Rollen:

- Model
- View
- Controller

Dieser Ansatz trennt die Anzeige und Entgegennahme von Informationen streng von den eigentlichen Daten und der dahinter liegenden Logik. Vorteile zeigen sich vor allen Dingen bei komplexen Webanwendungen, die leichter verwaltet und präzise kontrolliert werden sollen. (Steyer 2017) Unter Verwendung von Webanwendungen können Inhalte auf verschiedensten Endgeräten mit geringen Anpassungen und gleichbleibenden Backend dargestellt werden.

2.2.5 Künstliche Intelligenz / Machine Learning

Mit der Digitalisierung kommt es zu einem rasanten Anstieg von verfügbaren Daten in den unterschiedlichsten Formen und aus den unterschiedlichsten Quellen, welche sich für nachgelagerte Prozesse nutzen lassen. Auch durch Fortschritte im Bereich der Hardware konnte der Einsatz von künstlicher Intelligenz und Business Analytics in den vergangenen Jahren vorangetrieben werden, wobei Teilbereiche der Künstlichen Intelligenz wiederum ebenfalls Treiber der Business Analytics darstellen. (Weber 2020) Künstliche Intelligenz stellt hierbei einen Oberbegriff für eine Reihe spezialisierter Teilbereiche dar. Im Fokus stehen hierbei Probleme der Klassifizierung, Abhängigkeiten und Assoziationen, Clustering, Regression und Vorhersage auch Optimierungsprobleme oder die Erkennung von Unregelmäßigkeiten. Anwendungsfelder sind die Robotik oder die kognitive Modellierung, welche sich mit der technischen Nachahmung biologisch kognitiver Prozesse zum Zwecke von Vorhersagen und Verständnisgewinn befasst. Weitere Anwendungsfelder sind Expertensysteme, die heuristische Problemlösung, die Wissensrepräsentation und das Machine Learning, welchem im Rahmen der Business Analytics eine besondere Bedeutung zukommt. Das allgemeine Ziel des Machine Learnings ist es, die Performance von Maschinen bei der Lösung datenverarbeitender Aufgaben durch optimale Trainingsdaten und Trainingsalgorithmen auf ein Optimum zu befördern, wodurch zukünftige Eingabedaten auf der Basis des Anlernens mit Eingabedaten aus der Vergangenheit richtig beurteilt werden. Die kategorischen Prinzipien des Anlernens bilden die Basis unterschiedlicher Machine Learning Konzepte. (Weber 2020)

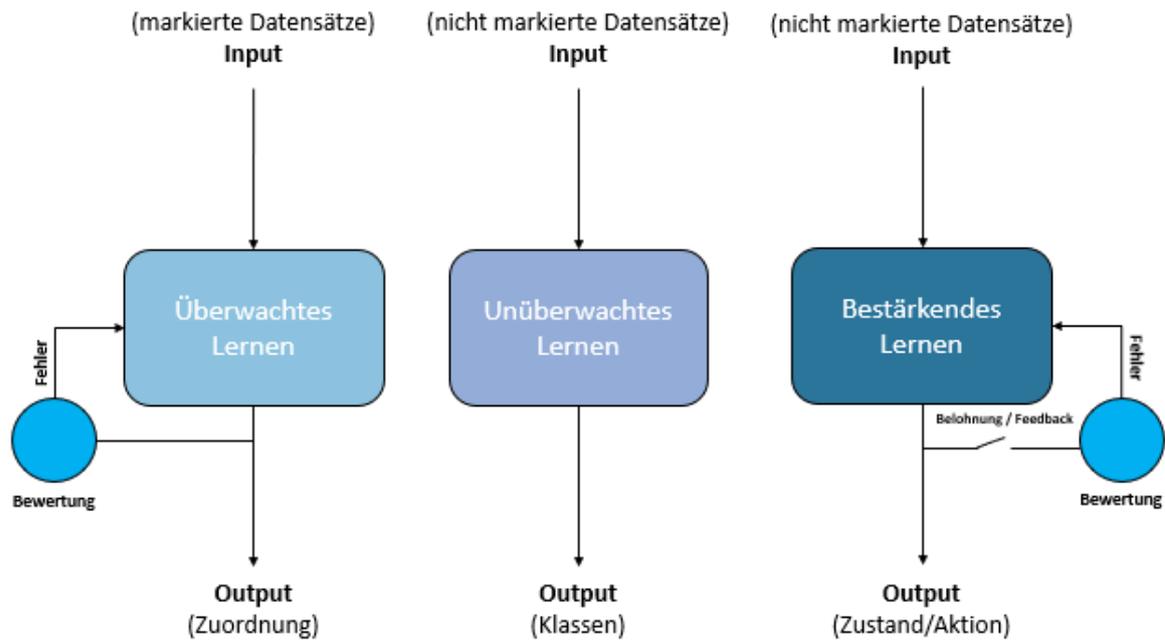


Abbildung 5: Kategorische Algorithmen des Maschinellen Lernens nach (Weber 2020)

Folgend werden die unterschiedlichen Verfahren des Machine Learnings gemäß Abbildung 5 erläutert. Der einfachste Fall des Machine Learnings ist das sogenannte unüberwachte Lernen. Dieses kommt dann zum Einsatz, wenn eine Klassifizierung von Daten anhand ihnen inbegriffener Muster identifiziert werden soll. In diesem Anwendungsfall kommen nicht markierte Datensätze als Eingabedaten zum Einsatz, wobei eine Markierung die Zuordnung von Daten zu einer im Voraus bekannten, definierten Klasse darstellt. Die eigenständig durch den Algorithmus identifizierten Klassen können nun in die Bildung einer Mapping-Funktion einfließen, welche zukünftige Input-Datensätze auf die identifizierten Klassen abbildet. Hierbei ist darauf zu achten, dass aufgrund einer fehlenden Markierung der Datensätze keine Validierung der identifizierten Klassen als Ergebnis des Machine Learning Algorithmus möglich ist. Bei dieser Vorgehensweise kommen häufig die sogenannten Clustering- und Association-Algorithmen zum Einsatz. Während der Clustering-Algorithmus Gruppierungen von Daten auf Basis ihrer Merkmale bildet, sucht der Association-Algorithmus nach auf Beziehungen zwischen den Daten basierenden Regeln. (Weber 2020)

Eine weitere Ausprägung des Machine Learnings stellt das überwachte Lernen dar. Dieses kommt dann zum Einsatz, wenn eine Zuordnung von zukünftigen Daten in bereits definierte Klassen erfolgen soll. Dabei werden markierte Datensätze als Eingabedaten verwendet, bei denen über Labels eine explizite Zuordnung der Daten zu bereits vorab definierten Klassen als gewünschtes Ergebnis einer Zuordnung der entsprechenden Daten vorgenommen wird.

Bei den gelabelten Daten wird zwischen Trainingsdaten und Testdaten unterschieden, wobei die Testdaten zur Validierung der im Rahmen des Trainings gebildeten Mapping-Funktion verwendet werden. Vorab wird die Mapping-Funktion während des Trainings durch die Verarbeitung des Abgleichs zwischen dem Ergebnis der Zuordnung von Trainingsdaten als Ist-Ergebnis und der durch ein Label definierten Klasse als Soll-Ergebnis adaptiert, bis eine entsprechende Genauigkeit der Zuordnungen erreicht ist. (Weber 2020)

Folgend soll das bestärkte Lernen aufgeführt werden. Bei dieser Möglichkeit des Machine Learnings werden im Gegensatz zum unüberwachten und überwachten Learning keine Daten zur Konditionierung benötigt. Hier werden die Daten in einem Trial-and-Error-Verfahren während des Trainings erstellt und zeitgleich mit einem Label versehen. Die Trainingsdurchläufe werden innerhalb einer Simulationsumgebung durchlaufen, um ein exaktes Ergebnis zu generieren. Im Unterschied zum überwachten Lernen wird das System nicht mit den richtigen Ergebnissen konfrontiert. Hier werden lediglich Impulse gesetzt, die das System unterstützen. Ziel des Trainings ist es, dass die künstliche Intelligenz ohne menschliches Vorwissen in der Lage ist, komplexe Probleme autonom zu lösen. (Pritzkolet 2019)

Business Analytics bezieht sich auf die Fähigkeiten, Technologien und Praktiken zur kontinuierlichen Untersuchung und Untersuchung der Geschäftsleistung in der Vergangenheit zu nutzen, um Einblicke zu gewinnen und die Geschäftsplanung voranzutreiben. (Baars und Kemper 2021) Als Treiber der Business Analytics können das Thema Big Data wie auch neue Softwarelösungen sowie die Forderung der automatischen Steuerung von Betriebsprozessen angesehen werden. Während Big Data im Wesentlichen einen großen Datenraum mit den Merkmalen einer hohen Varianz, aber auch einer hohen Geschwindigkeit bzgl. der Erstellung, Analyse und Bearbeitung von Daten darstellt, sind neue Softwarelösungen vor allem hinsichtlich der Speicherung und Verarbeitung von Daten anzuführen. (Weber 2020) Die Realisierung der Funktionalität von Business Analytics erfolgt mit Hilfe verschiedener analytischer Methoden und Modelle, welche sich unter anderem hinsichtlich des zeitlichen Bezugs ihrer Entscheidungsgrundlagen voneinander abgrenzen.

Eine Herangehensweise der Business Intelligence stellt die deskriptive Analytik dar. Hier werden historische Daten so umgewandelt, zusammengefasst und dargestellt, dass diese in Form von Zahlen und Fakten für den Menschen zugänglich und verständlich sind und so für weitergehende Analysen der Vorgänge genutzt werden können. Die als Ausgangsbasis

dienenden historischen Daten werden in der Regel durch Datenaggregation oder Data Mining ermittelt. Typische Anwendungsfelder der deskriptiven Analytik sind die Erstellung von Unternehmensberichten oder das Erstellen von Leistungskennzahlen des Unternehmens, an welchen der Erfolg eines Unternehmens bewertet oder der Erfüllungsgrad bestimmter Ziele gemessen werden kann. (Weber 2020)

Gegenstand der prädiktiven Analytik ist es hingegen, aus historischen Daten zukünftige Ereignisse vorherzusagen, ganz parallel zur Disziplin der Statistik. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Herangehensweisen besteht darin, dass die Statistik Theorie getrieben ist und ein Modell als zentrales Element verwendet, während das zentrale Element der prädiktiven Analytik durch Daten gestellt wird und sich diese primär den Methoden der Künstlichen Intelligenz bzw. des Machine Learnings bedient und zumeist keine nachweisbar optimale Lösung besitzt. (Weber 2020)

2.2.6 Blockchain

Durch die zunehmende Verbreitung der Kryptowährung Bitcoin, erhält auch die zugrundeliegende Blockchain-Technologie durch die Öffentlichkeit zunehmend mehr Beachtung. Privatpersonen, wie auch Unternehmen der Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Verwaltung setzen sich zunehmend mit dieser Technologie auseinander und treiben ihre Entwicklung voran. (Bundesnetzagentur 2021) Blockchain beruht auf dem Prinzip der Distributed Ledger Technologie, welche einen Ansatz zur verteilten Dokumentation von Transaktionen in der Form einer Transaktionshistorie beschreibt. (Brühl 2017) Die Historie über Transaktionen wird bei diesem System nicht zentral verwaltet, sondern stattdessen von beliebig vielen Teilnehmern des Netzwerks als gleichwertige Parteien. Jeder Teilnehmer besitzt dabei eine identische Kopie. Dies führt dazu, dass neue Transaktionen im Netzwerk in alle bestehenden Kopien der Teilnehmer aufgenommen werden müssen. Die technische Realisierung dieses Ansatzes stellt die Blockchain dar. (Bundesnetzagentur 2021) Wesentlich ist, dass eine Löschung einmal getätigter Transaktionen nicht möglich ist, sodass stets eine sichere Überprüfbarkeit der Transaktionsdaten möglich ist. Darüber hinaus wird im Netzwerk die Validität und Konsistenz der Daten stets gewährleistet und eine diesbezügliche Transparenz für alle Teilnehmer des Netzwerks geschaffen, für welche eine der Blockchain inhärente Gleichberechtigung besteht. (URBAN 2020)

Eine wichtige, konzeptionelle Weiterentwicklung der Blockchain stellen sogenannte Smart Contracts dar. Sie ermöglichen eine Blockchain basierte automatisierte Ausführung von

wenn-dann-Beziehungen. Zur Realisierung dessen wird in das Protokoll der Blockchain ein Platzhalter implementiert, in den die zugehörigen Parteien über die jeweilige Nutzeroberfläche der Blockchain die zugehörigen Bedingungen ihrer Transaktionen eintragen können. Durch das Konzept der Smart Contracts wird ein Potential zur Automatisierung in allen Blockchain-Anwendungsbereichen geschaffen. (Bundesnetzagentur 2021) Ist die Ausübung eines Smart Contracts abhängig von einem Ereignis oder einem Zustand außerhalb der Blockchain, so müssen notwendige Informationen zur Ausführung des Smart Contracts von einer externen Quelle in die Blockchain übertragen werden. Diese externen Quellen werden als Orakel bezeichnet. (Bundesnetzagentur 2021) Mit ihnen können Daten aus der Blockchain in externe Systeme und Datenbanken und auf der anderen Seite Daten aus externen Systemen und Datenbanken in das Blockchain Netzwerk eingebunden werden. (URBAN 2020) Aus den Merkmalen der Blockchains ergibt sich ein Mehrwert gegenüber konventionellen Abwicklungen. Neben der Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Vorgängen können durch Blockchains Kostenoptimierungen und Zeitersparnisse bei Transaktionen erreicht werden. Zusammen mit den Smart Contracts als logische Schicht zur Abdeckung von Geschäftsprozessen ergibt sich zudem die Möglichkeit der Automatisierung, ohne externe dritte Parteien anzubinden. Auch gibt es Potential zum hochskalierten und staats- bzw. unternehmenskonformen Einsatz der Technologie, wodurch bspw. auch die Verifizierung von Zertifikaten und Siegeln ermöglicht wird. (URBAN 2020)

2.3 Innovative Benutzerschnittstellen zur Umsetzung der Digitalen Transformation

Gemäß der vorgestellten Methode der Digitalen Transformation werden Benutzerschnittstellen vorgestellt, welche sich zur Umsetzung bzw. Beschleunigung der Digitalen Transformation des Automotive Aftersales eignen. Zu diesem Zeitpunkt soll bereits auf die Besonderheiten dieser Branche Rücksicht genommen werden, sodass die vorgestellten Ansätze und deren Implementierung einen Mehrwert für die Branche liefern. Der Fokus liegt auch hierbei nicht auf einer allumfassenden Darstellung aller verfügbaren Nutzerschnittstellen, sondern soll vielmehr einen Einblick in die Themenwelt „innovative Nutzerstellen“ geben und die im weiteren Verlauf der Ausarbeitung relevanten

Nutzerschnittstellen detailliert vorstellen. Als innovativ gelten Neuerungen, die mit technischem, sozialem und wirtschaftlichem Wandel einhergehen. (Möhrle 2018)

2.3.1 Extended Reality

Extended Reality (XR) fasst alle real und virtuell kombinierten Umgebungen zusammen, die durch Rechner- und tragbare Geräte erzeugt werden. (Fast-Berglund et al. 2018) Hierbei wird die realphysische Umgebung durch das Hinzufügen digitaler Informationen und Objekte manipuliert. Zum XR-Spektrum zählen die Technologien Mixed Reality (MR), Augmented Reality (AR), Augmented Virtuality (AV) und Virtual Reality (VR), welche durch Abstufung anhand der virtuellen Anteile und dem damit verbundenen Grad der Immersion kategorisiert werden. (Langer 2020; Zabel et al. 2021) Der Begriff Immersion beschreibt das physische oder psychologische Eintauchen in die virtuelle Umgebung. Der Gefühlszustand der Anwesenheit wird durch einen hohen Grad der Immersion bewirkt, indem möglichst vieler Sinne stimuliert werden. (Pillai und Guazzaroni 2022; Dörner 2019) Dadurch empfinden nutzende Personen sich selbst nicht nur als Zuschauer, sondern eher als Teil der virtuellen Umgebung. (Palmas und Niermann 2021) Da XR-Technologien eine immersive Wirkung auf die nutzenden Personen haben, werden sie auch als immersive Medien bezeichnet. (Langer 2020) Die Umsetzung erfordert, je nachdem, welche Sinne stimuliert werden sollen, eine differenzierte Mensch-Maschine-Interaktion. Dabei basieren die XR-Technologien auf den Grundkomponenten Hardware, Software und Inhalt. Die Hardware setzt sich aus Eingabe-, Datenverarbeitungs- sowie Ausgabegeräten zusammen. Zur Entwicklung der XR-Erfahrung werden relevante Software und Inhalte benötigt. Abhängig von der verwendeten Hardware und der XR-Technologie gibt es unterschiedliche Entwicklungsumgebungen, zwischen denen ausgewählt wird. Ferner kann je nach Anwendungsfall das XR-Erlebnis durch zusätzliche Inhalte angereichert werden, wie beispielsweise das Design von Avataren oder sonstigen Objekten. (Vigkos et al.) Die Tabelle 1 gibt eine Orientierung, wie sich die einzelnen Komponenten in den jeweiligen XR-Technologien manifestieren können.

Hardwarekomponenten			MR	AR	VR	
Datenverarbeitungsgerät (z.B. Computer, Smartphone)			✓	✓	✓	
Beispiele für Ausgabegeräte	Anzeige	Head Mounted Display (HMD) Headset	✓	×	✓	
		Monitor	✓	✓	✓	
		Smartphone	✓	✓	✓	
		Tablet	✓	✓	×	
		Smart Glasses	✓	✓	×	
		Head-Up Display (HUD)	×	✓	×	
		Holographisches Display	×	✓	×	
		Projektion	✓	✓	✓	
	Lautsprecher/Kopfhörer	✓	✓	✓		
	Haptik	✓	✓	✓		
Beispiele für Eingabegeräte	Kameras (2D, 3D, IR etc.)		✓	✓	×	
	Mikrofone		✓	✓	✓	
	Steuerungen (Joysticks, -pads)		×	✓	✓	
	Stifte		×	×	✓	
	Sensoren	Beschleunigungsmesser		✓	✓	✓
		Gyroskop		✓	✓	✓
		Magnetometer		✓	✓	✓
		Trägheitssensor		✓	✓	✓
Taktile Sensor		✓	✓	✓		
Biosensor		✓	✓	✓		
Beispiele für Eingabe- und Ausgabegeräte	Handschuhe		✓	×	✓	
	Ganzkörperanzug		×	×	✓	
	immersiver Raum (CAVE)		×	×	✓	
	Laufband		✓	✓	✓	
Softwarekomponenten						
Entwicklungsumgebungen			✓	✓	✓	
Spezifische Anwendungssoftware			✓	✓	✓	
Inhalte						
Spezifische Anwendungsinhalte			✓	✓	✓	

Tabelle 1: Grundkomponenten der XR-Technologie in Anlehnung an (Vigkos et al.)

Das Sehen virtueller Inhalte sowie das Hören digitaler Medien werden üblicherweise durch Smartphones oder Headsets, auch bekannt als HMD, realisiert. Für eine erhöhte Immersion muss softwaretechnisch eine Verräumlichung des Tons verwirklicht werden. Das Tasten kann durch Integration von Handschuhen bewerkstelligt werden, die eine haptische Rückmeldung geben. Die Einbindung von Riechen und Schmecken hingegen befindet sich noch in der frühen Phase der Forschung und Entwicklung. (Pillai und Guazzaroni 2022)

Mixed Reality (MR) beschreibt eine Mischung der realphysischen Umgebung mit virtuellen Anteilen. Der Begriff wurde 1994 im Zusammenhang mit dem Realitäts-Virtualitäts-(RV)-Kontinuum von Paul Milgram et al. entwickelt. (Milgram et al. 1995) Das RV-Kontinuum ist für viele Forscher der Ausgangspunkt, um die große Vielfalt der Realitäten zu klassifizieren. (Flavián et al. 2019) Die Taxonomie, die dem RV-Kontinuum zugrunde liegt, hat zwei Extreme. Einerseits gibt es die reale physische Umgebung und andererseits die virtuelle Umgebung, die vollständig computergeneriert ist. Die Realitäten, die sich zwischen

den beiden Extremen befinden, stellen das MR-Kontinuum dar. Je weiter sich eine Realität innerhalb des Kontinuums befindet, desto größer sind die computergenerierten Stimuli. (Flavián et al. 2019); (Schopf und Jonas 2022) Das bedeutet wiederum, dass rechts entlang des Kontinuums der Anteil der realen Umgebung kontinuierlich abnimmt, während sich der Anteil der Virtualität erhöht. (Dörner 2019)

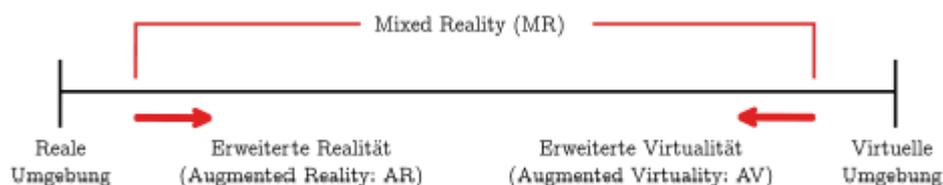


Abbildung 6: Realitäts-Virtualitäts-(RV)-Kontinuum in Anlehnung an (Milgram et al. 1995)

Wie in Abbildung 6 dargestellt, umfasst MR sowohl AR als auch AV. Bei AV überwiegt der virtuelle Anteil, ohne dass die Umgebung vollständig virtuell ist und umgekehrt handelt es sich um AR, wenn der Anteil der Realität überwiegt, aber die reale Umgebung nicht ausschließlich real ist. (Dörner 2019) Also ist AV die Einbettung von realen Objekten in eine virtuelle Umgebung und bei AR handelt es sich um die Einbettung von virtuellen Objekten in die reale Umgebung. (Schopf und Jonas 2022) Je nach Autor oder Organisation unterscheiden sich die Definitionen für XR mitsamt den innewohnenden Technologien, weswegen eine sorgfältige Prüfung notwendig ist. Beispielsweise wird von einigen Autoren AR und MR synonym verwendet. Andere Autoren meinen mit AR lediglich eine reine Einblendung von virtuellen Objekten, mit denen nicht interagiert werden kann. Ist die Interaktion hingegen möglich, sprechen diese Autoren von MR. (Dörner 2019) AR und MR ähneln sich, mit dem Unterschied, dass MR die reale Umgebung nachvollzieht. (Vigkos et al.) Diese Definition gleicht der Interpretation des Unternehmens Microsoft. Für Microsoft ist der entscheidende Unterschied von MR zu AR, dass digitale Objekte in der physischen Umgebung platziert werden, als wären sie physisch auch vorhanden. Ferner sollen der benutzenden Person die physischen Hindernisse in ihrer unmittelbaren Umgebung digital zur Verfügung stehen, sodass ein Zusammenstoß vermieden werden kann. (Wen und Buck, A, Tieto, V. 2022) Dementsprechend ordnet Microsoft die Nutzung der HoloLens 2 nicht als eine reine AR- sondern eher als eine MR-Erfahrung ein. Wie bereits einleitend erläutert, ist MR die Mischung aus der realphysischen Umgebung mit virtuellen Anteilen. Dies bezieht die zwei Extremen des RV-Kontinuums nicht mit ein. Die virtuelle Umgebung wird durch

VR-Technologien wahrgenommen, bei denen die reale Umgebung vollständig durch die virtuelle Umgebung ersetzt wird. (Dörner 2019)

Der Gestaltungsraum von XR-Anwendungen ist vielfältig, woraus sich verschiedenartige Einsatzmöglichkeiten für die XR-Technologien ergeben. (Zabel et al. 2021) hat auf Basis der Literatur mehrere Kernbranchen identifiziert und sie innerhalb der nachfolgenden Tabelle bezüglich der Anwendungsformen abgegrenzt:

	Gaming	Medizin	Arts/Architektur	Medien	Werbung/Marketing	Verarbeitendes Gewerbe ¹	Tourismus	Logistik	Live Entertainment	Militär
Information/Entertainment (z.B. Nachrichtenvideos, Games)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
Unterstützungssysteme (z.B. Navigation, Wayfinding in der Logistik)			✓	✓		✓	✓	✓		✓
Produktpräsentationen (z.B. Werbung, Point of Sale)	✓		✓	✓	✓		✓			
Training (z.B. Fortbildung von Mitarbeitern, Erlernen von Abläufen)		✓				✓		✓		✓
Wartung/Service/Fertigung (z.B. Unterstützung im Produktionsablauf)		✓				✓		✓		✓
Design/Simulation (z.B. Entwurf von Prototypen)		✓	✓			✓				✓
Conferencing/Collaboration (z.B. virtuelle Konferenzen)		✓				✓		✓		✓

Tabelle 2: Zielmarkt-Content-Matrix in Anlehnung an (Zabel et al. 2021)

Anwendungen im Bereich Information und Entertainment zielen auf die Unterhaltung der Endverbraucher ab, vor allem Gaming-Inhalte sind sehr beliebt. (Zabel et al. 2021) Zudem kann die XR-Technologie eingesetzt werden, um das Image eines Unternehmens zu beeinflussen. Unterhaltsame Inhalte wie 360°-Imagefilme, Unternehmensvorstellungen oder Betriebsbesichtigungen präsentieren das Unternehmen auf eine moderne Art und Weise. (Zerres 2021) Unterstützungssysteme dienen der Orientierung und Navigation. Einerseits kann eine AR-basierende Navigation den Nutzer oder die Nutzerin schnell und komfortabel zum Ziel leiten, indem Navigationsinformationen, Sicherheitswarnungen sowie weitere Hinweise innerhalb des Sichtfelds eingeblendet werden. (Zerres 2021) Andererseits verhelfen Unterstützungssysteme den Unternehmen beim Kommissionierungsprozess. (Lang et al. 2019) Die Gestaltung von Produktpräsentation durch XR-Technologien etabliert sich zu einem wichtigen Instrument, um Kunden bei der Kaufentscheidung zu unterstützen.

Virtuelle Produktpräsentationen ermöglichen eine intensive Interaktion, detaillierte Betrachtung sowie die Erkundung der Funktionen ohne die physische Anwesenheit der Produkte. (Zerres 2021) Der Bereich Training und Ausbildung profitiert davon, dass XR-Technologien Simulationen von komplexen oder kritischen Realsituationen im Vorfeld simulieren können. (Zabel et al. 2021) Nutzer und Nutzerinnen werden dadurch besser geschult auf Notfallsituationen zu reagieren, da sie risikofrei scheitern und somit aus den Fehlern lernen können. (Zerres 2021) Zudem kann das Training standortunabhängig durchgeführt werden und reduziert so die damit verbundenen Kosten. (Esser et al. 2016) Für die Bereiche Wartung, Service und Fertigung sollen überwiegend MR- und AR-Anwendungen die Arbeitsprozesse optimieren. (Zabel et al. 2021) Eine technische Fachkraft hat bei einer Arbeit beide Hände frei, da die Anleitungen in ihr Sichtfeld eingeblendet werden. Ferner kann eine Person mit Expertise hinzugezogen werden, welche durch eine integrierte Kamera das Sichtfeld der technischen Fachkraft beobachten und so gezielte Arbeitshinweise geben kann. Somit bewirken MR- und AR-Anwendungen einen erheblichen Effizienzgewinn. Bei Anwendungen im Bereich Conferencing und Collaboration ist die XR-Interaktion zwischen den Personen der Zweck. Die XR-Technologien flexibilisieren zudem die Designentwicklung. (Esser et al. 2016) Durch virtuelle Prototypen erleben die Ingenieure die Produkte, bevor sie produziert werden und können somit visuelle Aspekte des Designs begutachten und wenn nötig korrigieren. (Berg und Vance 2017)

Der technologische Reifegrad der XR-Technologien kann durch den Gartner Hype Zyklus veranschaulicht werden. Der Hype Zyklus wird seit 1995 jährlich veröffentlicht und charakterisiert die typische Entwicklung neu aufkommender Technologietrends in fünf Phasen, indem es die öffentliche Aufmerksamkeit mit dem Reifegrad der Technologie im Verlauf der Zeit verknüpft. (Huang 2017) In der nachfolgenden Abbildung ist der zeitliche Verlauf der VR- und AR-Technologien durch die Phasen illustriert:

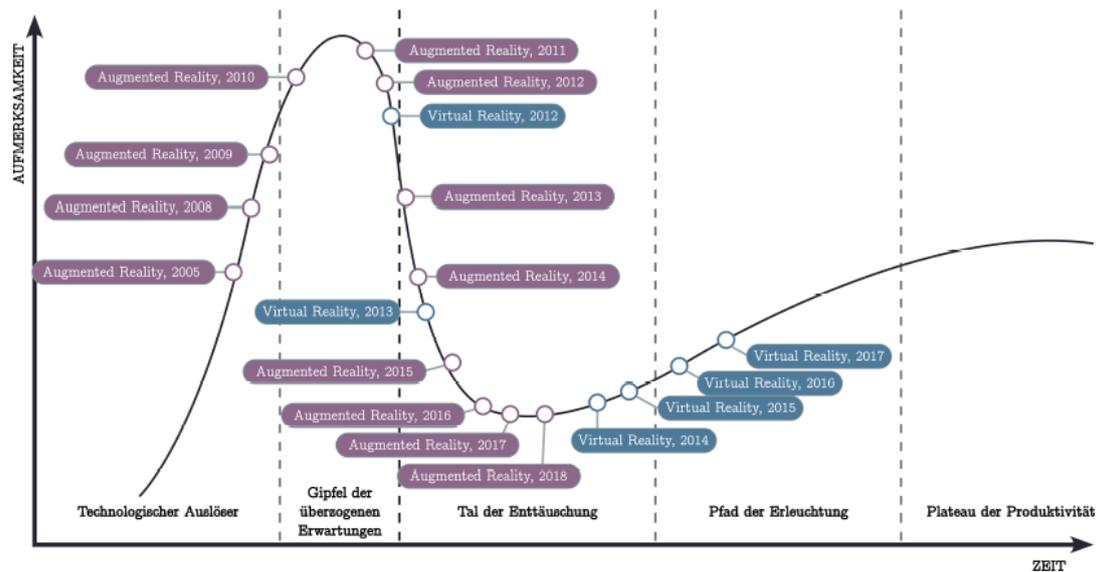


Abbildung 7: Gartner Hype Zyklus für VR und AR in Anlehnung an (Vigkos et al.)

Nach dem technologischen Auslöser nahm der Hype um die XR-Technologien immer weiter zu und erreichte im Zeitraum von 2010 bis 2012 die Phase -Gipfel der überzogenen Erwartungen-. Schwierigkeiten bezüglich der Optimierung der Technologie, der Entwicklung einer sogenannten -Killeranwendung- oder der ordnungsgemäßen Umsetzung führten im Zeitraum von 2013 bis 2015 für VR und von 2013 bis 2018 für AR zu einer Abflachung des Hypes. Die VR-Technologie erreichte im Anschluss den -Pfad der Erleuchtung- und wurde nach 2017 nicht mehr im Hype Zyklus erwähnt. Die AR-Technologie wurde ohne Erwähnungen in den nachfolgenden Phasen nach 2018 nicht mehr angeführt. Der Grund ist, dass beide Technologien seit Austritt aus dem Hype Zyklus nicht mehr als aufstrebend, sondern als ausgereifte Technologien wahrgenommen werden. (Vigkos et al.) Nach Langer ist der XR-Markt ein Wachstumsmarkt, für den das Wirtschaftsforschungsinstitut IDC ein weltweites Marktpotenzial von 160 Milliarden US \$ bis 2023 schätzt. Das größte Wachstumspotenzial erkennen die IDC-Analysten in AR und MR mit einer jährlichen Wachstumsrate von 140 % bis 2023. Eine Analyse von (Vigkos et al.) schätzt das europäische Marktpotenzial zwischen 45 Milliarden und 70 Milliarden € bis 2025. Dabei befindet sich das größte Marktpotenzial innerhalb Europas in Deutschland. Bezüglich der Entwicklung der einzelnen Teilmärkte in Deutschland führte (Zabel et al. 2021) eine Befragung im Juni 2021 durch. Von den 1353 ermittelten XR-Unternehmen wurden 131 Angaben ausgewertet. Die Teilnehmenden wurden eingeladen, ihre Einschätzung bezüglich des Teilmarkts abzugeben, für den sie sich selbst die höchste Expertise zuschreiben. Für den MR-Markt waren dies 28 Befragte. Diese sehen das größte

Potenzial in den MR-Angeboten beim Training, welches mit 82 % der höchste Wert unter allen Teilmärkten ist. Mit 64 % schätzen die Befragten die Angebotsformen Experience/Produktpräsentation, Design/Simulation und Wartung/Service/Fertigung ebenfalls als attraktiv ein. Das Potenzial von Navigations-Angeboten wurde in einer Befragung im Jahre 2017 mit 53 % deutlich höher eingeschätzt als 2021 mit 21 %.

In welchen MR-Angebotsformen sehen Sie in den nächsten 18 Monaten ein großes Potenzial?

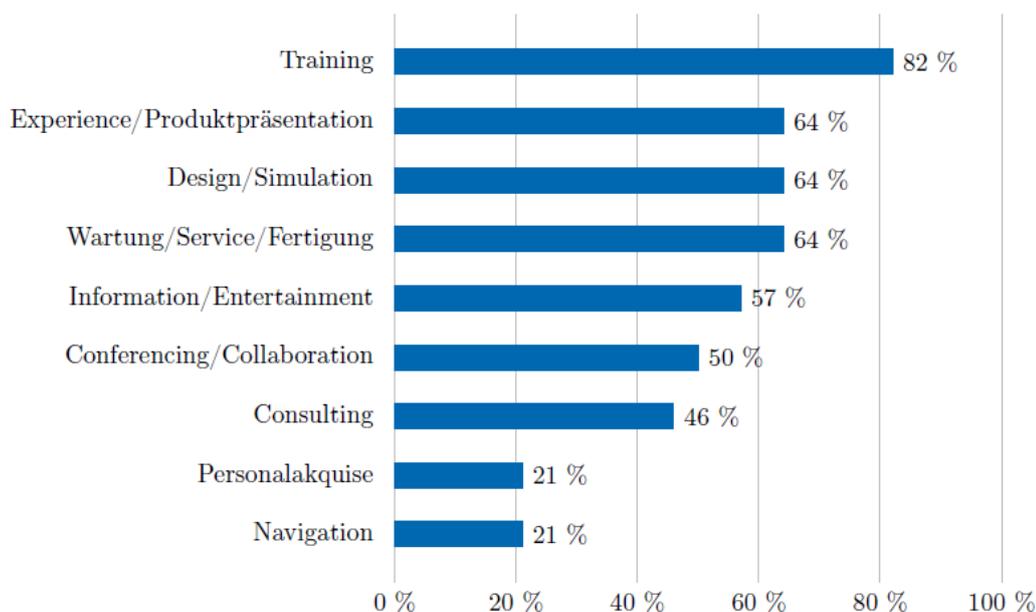


Abbildung 8: Potenziale von MR-Angebotsformen in Anlehnung an (Zabel et al. 2021)

Dabei steht nicht der B2C-Massenmarkt, sondern der B2B-Markt im Vordergrund. (Langer 2020) Beim Business-to-Business (B2B) handelt es sich um eine Geschäftsbeziehung zwischen Unternehmen, während Business-to-Consumer (B2C) die Geschäftsbeziehung zwischen Unternehmen und Endverbrauchern meint. (Tornack et al. 2011) Laut Zabel sind die Anwendungen rund um Training, Wartung, Service, Fertigung, Design, Simulation, Conferencing und Collaboration im B2B-Kontext im Einsatz. Die Anwendungen für Produktpräsentationen und Unterstützungssysteme (Navigation) sind sowohl im B2B- als auch im B2C-Kontext präsent. Anwendungen bezüglich Informationen und Entertainment ereignen sich ausschließlich im B2C-Kontext. Hinsichtlich der Hemmnisse identifizieren die Befragten die fehlende Bekanntheit und der Erklärungsbedarf mit 64 % als größte Schwierigkeit. Zudem bemängeln die Befragten die geringe Gerätepenetration (57 %). Nach dem Hemmnis „geringe tatsächliche Nutzung“ folgen B2B-relevante Schwierigkeiten wie

fehlende Standards (54 %), lange Anbahnungszeiten im Vertrieb (46 %) und der schwierig zu erbringende Nachweis eines Return on Invest (ROI). (Zabel et al. 2021)

Welche sind aus Ihrer Sicht die größten Hemmnisse für das Wachstum des MR-Segments?

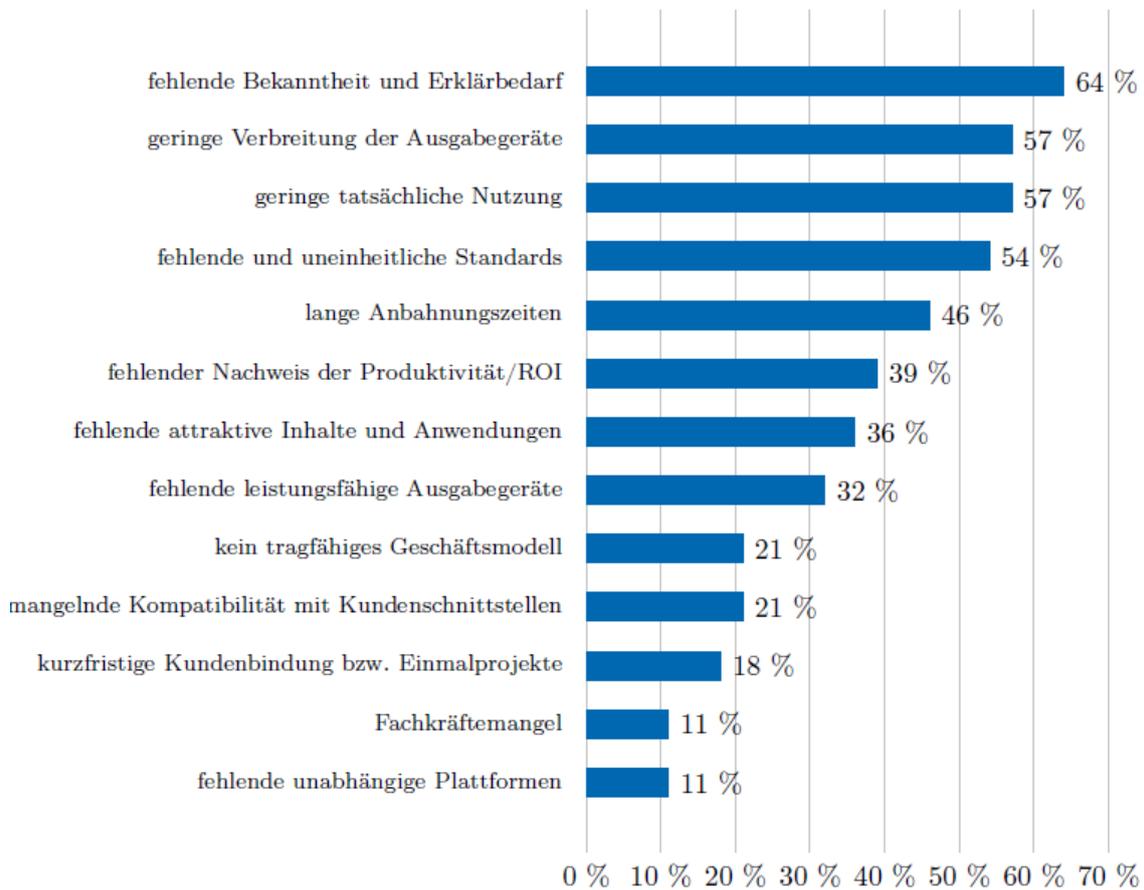


Abbildung 9: Größte Hemmnisse für das Wachstum im MR-Segment in Anlehnung an (Zabel et al. 2021)

2.3.2 Generative Fertigung

Die Begriffe -Generative Fertigung- und -Additive Manufacturing- (AM), das englische Pendant, werden unter der Vielzahl der Bezeichnungen in der Literatur am häufigsten verwendet. Diese Bezeichnungen werden durch die deutsche VDI Norm 3404 und die amerikanische Norm ATSM F2792 beschrieben. (VDI 3404;ATSM F2792) 3D-Printing und 3D-Drucken sind im Volksmund die bekanntesten und weit verbreitetsten Begriffe für automatisierte Schichtbauverfahren. (GEBHARDT 2016) In dieser Ausarbeitung wird der Begriff -Generative Fertigung- verwendet. Generative Fertigungsverfahren erzeugen durch schichtweisen Aufbau Volumenelemente. Dabei wird ein Ausgangsmaterial durch Einbringen von Energie Schicht für Schicht aufgeschmolzen, durch den Abkühlprozess verfestigt und miteinander verbunden. Dieser automatisierte Prozess zum Aufbau von

dreidimensionalen Objekten basiert auf einem 3D-CAD-Datensatz. Nachdem dieser auf die Anlage übertragen wurde, kann daraus schichtweise das Bauteil aufgebaut werden. Aufgrund dieser Fertigungsweise werden keine bauteilabhängigen Werkzeuge benötigt, wodurch anfallende Kosten, Entwicklungs- sowie Fertigungszeit der Werkzeuge eingespart werden. Als Ausgangsmaterialien sind sowohl gas- und pulverförmige, flüssige, als auch feste Materialien verwendbar. Neben den metallischen Werkstoffen wie Aluminium, Titan, Edelstahl, Werkzeugstahl und verschiedenen Legierungen, können auch Papier, Kunststoffe, Keramik, Wachs, Lebensmittel aber auch lebende Zellen verwendet werden. (Berger et al. 2019; GEBHARDT 2016; Zäh 2014)

Bei der Stereolithografie werden von Laserlicht induzierte flüssige Fotopolymere, selektiv ausgehärtet. Dabei fährt ein Ultravioletter Laserstrahl auf der flüssigen Oberfläche eines solchen Kunststoffes vorgegebene Konturen ab und härtet die von den Strahlen getroffenen Moleküle des Polymers Punkt für Punkt aus. Nachdem eine Schicht in dieser Weise erzeugt wurde und ausgehärtet ist, wird die Bauplattform gesenkt, eine Flüssigkeitsschicht über die bestehende Struktur gezogen und auf der eben erzeugten Schicht entsteht eine weitere. Das STL-Verfahren ist ein zweistufiges Verfahren, bei dem die Modelle in der eigentlichen Maschine zunächst zu einem hohen Prozentsatz von 95% verfestigt werden. Um Formstabilität und Maßhaltigkeit zu erhöhen, wird das Bauteil anschließend für kurze Zeit in einem so genannten Nachvernetzungssofen vollständig ausgehärtet. (GEBHARDT 2016) Aufgrund der Tatsache, dass das Modell während seiner Entstehung noch eine weiche Form besitzt, ist das Bauen ohne Unterstützung nicht realisierbar. Aus diesem Grund werden vor allem an freitragenden Strukturen Stützkonstruktionen angebracht. Eine Form der Stereolithografie ist das Solid Ground Curing. Hierbei erfolgt die Abbildung der Schichtgeometrie und die Belichtung mittels einer Hochleistungs- UV-Lampe durch eine Maske hindurch. Die Modelle werden ohne Stützkonstruktionen gefertigt, da sie in einer Wachsmatrize eingebettet sind und dadurch im Bauraum auch übereinander platziert werden können. Eine Bearbeitung im Nachvernetzungssofen entfällt. Bei den verwendeten Materialien handelt es sich um Polymere in Form von flüssigem Harz. Anwendung finden die Bauteile der Stereolithografie bei Urmodellen zum Vakuumgießen, Modellen für Metallspritzformen, Sandguss und Feinguss sowie für Funktions- und Geometrieprototypen.

Das Selective Laser Sintering ist ein Verfahren, in dem Pulver oder Granulate aus der festen Phase generiert werden. Sintern bezeichnet die Verfestigung und Verdichtung eines Pulvers zu einem Werkstoff bedingt durch eine Temperaturbehandlung. Das Verfahren zeichnet sich

dadurch aus, dass nicht alle Bestandteile aufgeschmolzen werden, die äußere Form also erhalten bleibt. Die Verdichtung darf dabei nur zu einer gleichmäßigen und reproduzierbaren Schrumpfung führen. Dabei entsteht ein homogenes und rissfreies Material mit möglichst feiner Kristallstruktur und einer bestimmten (in vielen Fällen möglichst geringen) Porosität. (Gießereilexikon 2022) Diese Aussage lässt sich auf das Verfahren der Stereolithografie übertragen. Ein CO₂-Laser scannt die Oberfläche eines Pulverbettes ab und schmilzt die Partikel örtlich (selektiv) an, die nach der Erstarrung eine Schicht bilden. Die Partikel liegen lose nebeneinander im Pulverbett. Tatsächlich erfolgt ein partielles Aufschmelzen und Verfestigen. Anschließend müssen die Bauteile noch abgekühlt werden, wobei die Dauer in demselben zeitlichen Rahmen wie die Bauzeit liegt. Der Kunststoff-Sinterprozess kommt ohne Stützen aus, weil das nicht versinterte Pulver im Bett verbleibt und das darin befindliche Bauteil stützt. Je nach Bauteilgeometrie und Werkstoff hat es Vorteile, eine Plattform (Base) mitzubauen und darauf aufzusetzen. (GEBHARDT 2016) Kunststoffe eignen sich aufgrund ihrer niedrigen Schmelztemperatur und geringen Wärmeleitfähigkeit besonders zum Sintern, da der Prozess dadurch lokal begrenzt gehalten werden kann. Grundsätzlich sind jedoch alle Materialien verwendbar, die ein thermoplastisches Verhalten aufweisen. Das heißt, sie müssen aufschmelzbar sein und nach der anschließenden Verfestigung zumindest näherungsweise ihr altes Volumen und ihre alten Werkstoffkennwerte wieder annehmen. (GEBHARDT 2016) Das selektive Laserschmelzen gehört ebenso wie das SLS-Verfahren zu den pulverbettbasierenden Strahlschmelzverfahren. Hier wird in ähnlicher Weise mit Hilfe eines Lasers das Material aufgeschmolzen. Der Hauptunterschied liegt in den verwendeten Materialien. Bei dem SLM-Verfahren werden Metallpulver ohne Zusatz eines Binders verwendet. (Güngör 2017)

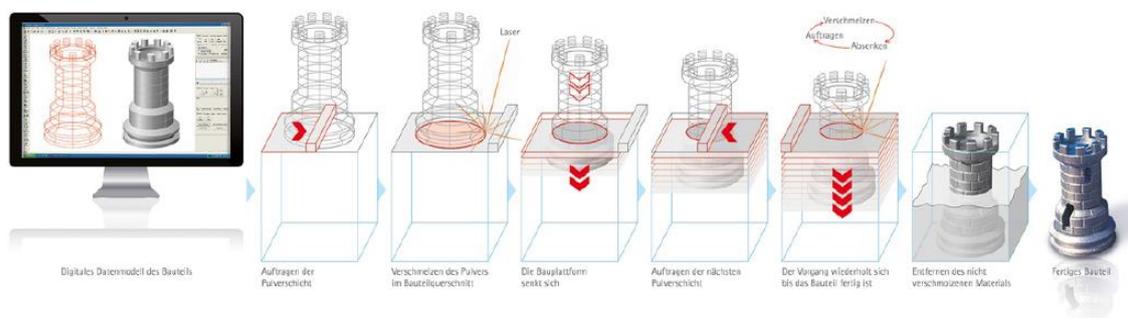


Abbildung 10: Schematischer Ablauf des Laserschmelzverfahrens (GEBHARDT 2016)

Dabei wird, wie in Abbildung 10 dargestellt, aus einem digitalen Datenmodell des Bauteils (Bild 1) ein Schichtmodell erzeugt und auf die Fertigungsanlage übertragen. Jede dieser Schichten stellt einen Belichtungsschritt während der Fertigung dar. Um eine Schicht zu verfestigen, läuft folgender Prozess ab: Der pulverförmige Werkstoff wird in einer Schicht auf die Grundplatte im Bauraum aufgebracht (Bild 2) und durch die Lasereinwirkung lokal vollständig umgeschmolzen (Bild 3). Nach der Abkühlung bildet sich eine feste Materialschicht. Im Anschluss an diesen Belichtungsvorgang wird die Grundplatte um den Betrag der Schichthöhe nach unten gesenkt (Bild 4) und eine neue Schicht Pulver aufgetragen (Bild 5). Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis alle Schichten belichtet wurden und das Bauteil vollständig aufgebaut worden ist (Bild 6). Das fertige Bauteil wird anschließend vom überschüssigen, nicht umgeschmolzenen Material gereinigt und muss von der Bauplatte getrennt werden (Bild 7). Gegebenenfalls verwendete Stützstrukturen müssen anschließend ebenfalls entfernt werden. Im Anschluss kann das Bauteil verwendet werden oder nach Bedarf weiteren Nachbearbeitungen unterzogen werden (Bild 8). (Zäh 2014); (GEBHARDT 2016) Durch das SLM-Verfahren ist es möglich, ohne Werkzeuge oder Formen eine deutlich größere geometrische Freiheit und Bauteilformen zu ermöglichen, die mit formgebundenen oder spanenden Verfahren nicht oder nur sehr aufwendig herstellbar sind. Für dieses Verfahren gibt es ein breites Spektrum von metallischen Pulvern, welche verarbeitet werden können. Laut Literatur und Herstellerangaben können relative Dichten von $> 99\%$ und Materialeigenschaften, welche den Eigenschaften des Werkstoffes mit konventionellen Fertigungsverfahren entsprechen, in Folge eines vollständigen Aufschmelzens des Pulvers erreicht werden. Bei dem Schmelzvorgang wird ein örtliches (selektives) Schmelzbad erzeugt, welches nach dem Erstarren zu einem dichten Bauteil führen soll. So sollen nicht nur die physikalischen, sondern auch die mechanischen Eigenschaften denen gegossener Bauteile entsprechen. (GEBHARDT 2016; Zäh 2014)

Beim FDM-Verfahren werden drahtförmige Materialien in einer beheizbaren Düse knapp oberhalb des Siedepunktes erwärmt und unter einem bestimmten Druck schichtweise auf das Modell aufgetragen. Über ein in x-y-Richtung verfahrbares Bearbeitungskopf wird das drahtförmige Material aufgeheizt und dem Werkstück zugeführt, wo es direkt nach dem Auftragen erstarrt. Durch das Verschmelzen mit der vorhergehenden Schicht entsteht das Schichtmodell. Der Aufbau erfolgt auf einer in z-Richtung verfahrbaren Plattform, welche um die gewählte Schichthöhe abgesenkt wird, um den Vorgang zu wiederholen. Bei den zu verwendenden Materialien besteht theoretisch keine Einschränkung. Allerdings ist das

Verfahren für niedrig schmelzende Werkstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit, speziell für Wachse und Kunststoffe, hervorragend geeignet. (GEBHARDT 2016)

2.4 Akteure des Automotive Aftersales

Folgend werden Akteure des Automotive Aftersales vorgestellt. Da die Anzahl der Akteure und Stakeholder sehr groß ist, erfolgt eine Limitation der Betrachtung auf im Rahmen der späteren Ausarbeitung relevanten Akteure, welche zugleich viele Schnittstellen im Endkundenkontakt aufweisen und als typische Vertreter des Zweiges angesehen werden können. Um die globale Bedeutung des Aftersales verstehen zu können, erfolgt vorab eine Einordnung dessen in die Automobilindustrie. Aus wirtschaftlicher Sicht stellt die Automobilindustrie eine Wertschöpfungskette dar, deren Akteure sich in die Kategorien Zulieferer, Hersteller und das Kraftfahrzeuggewerbe unterteilen lassen. Im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft findet die Wertschöpfung dabei um den Kunden herum statt. (Diez et al. 2016) Zur Einordnung des After Sales in die Automobilwirtschaft wird der Produktlebenszyklus gemäß (Lobeck 2021) herangezogen und der Einfluss des After Sales an diesem erläutert.

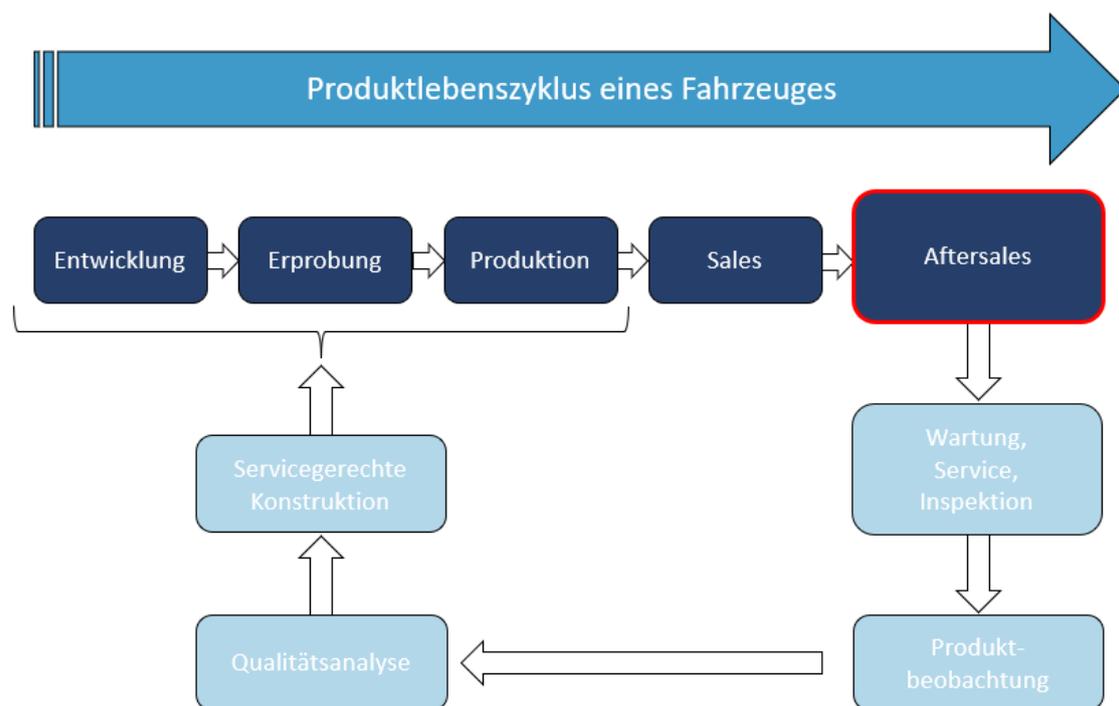


Abbildung 11: Produkt-Lebenszyklus von Automobilen in Anlehnung an (Hecker und Hurth 2017)

Der Lebenszyklus eines Automobils ist in der Abbildung 11 dargestellt. Die eigentliche Entwicklung und Fertigung findet im klassischen Produktentwicklungsprozess statt. Die

Vermarktung und der Verkauf des Fahrzeuges kann unter dem Begriff -Sales- zusammengefasst werden. Alles nach dem Neuwagenverkauf ist dem Begriff -After Sales- zugeordnet. Der Kunde verbindet After Sales in erster Linie mit dem Besuch von Werkstätten. Hier werden die Instandsetzung und Instandhaltung an seinem Fahrzeug durchgeführt. Über die Werkstätten hat der Hersteller die Möglichkeit der Produktbeobachtung, indem er die Auftragsbearbeitung begutachtet und mittels entsprechender Qualitätsanalysen oder Funktionsschwächen erfasst. Die Ergebnisse dieser Analysen haben das Potential direkt in die Produktentstehung zurückgespiegelt zu werden und so für nächste Modellreihen z.B. Entwicklungen servicegerecht zu beeinflussen. (Hecker und Hurth 2017) Neben dem Werkstattservice ist auch das Teilegeschäft ein wichtiger Bestandteil des Automotive Aftersales. Der Markt lässt sich in das Servicegeschäft des OEM und den der freien Werkstattservice und dem Teilehandel IAM (Independent After Market) sowie daran angeschlossene Strukturen gliedern. (Göller und Guffarth 2017)

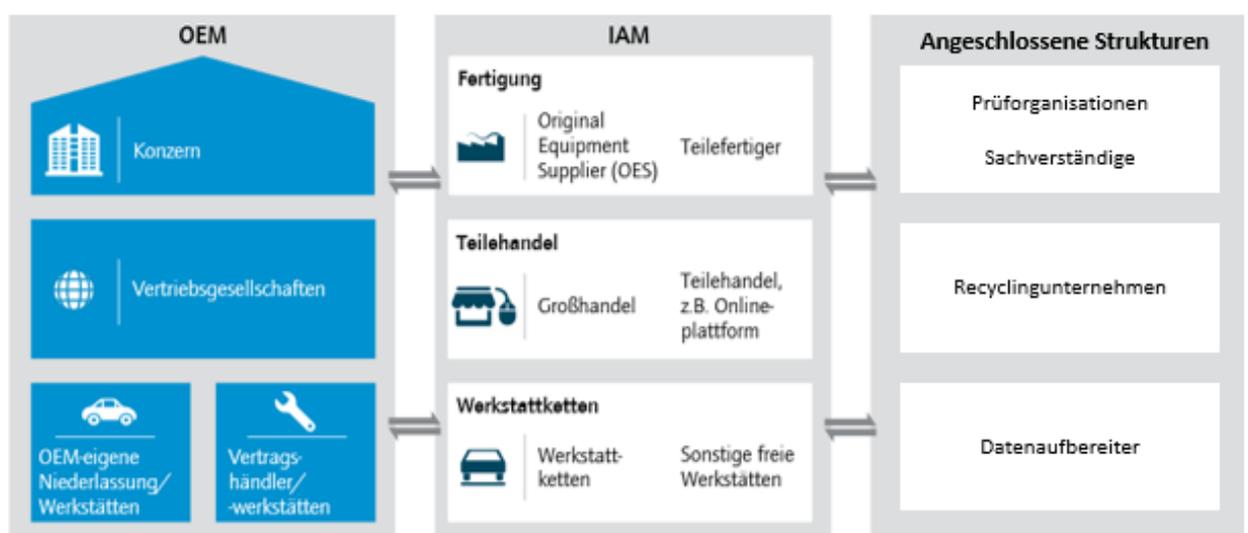


Abbildung 12: Segmentierung des klassischen Automotive Aftersales in Anlehnung an (Göller und Guffarth 2017)

Um dem Leser einen auszugsweisen Einblick in die angeschlossenen Strukturen des Automotive Aftersales zu ermöglichen, sollen relevante Akteure vorgestellt werden:

- KFZ Sachverständige: Unfall- und Schadensbegutachtung (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022b)
- Recyclingunternehmen: Umweltgerechte Entsorgung oder Rückkauf des Gebrauchtwagens (Umweltbundesamt 2022)

- Prüforganisation: gesetzlich vorgeschriebene Untersuchung zur Sicherstellung der Verkehrssicherheit (Wiesinger 2022a)
- Datenaufbereiter: Bereitstellung und Aufbereitung von kontextbezogenen Daten für unterschiedliche Akteure

Die aufgeführte Liste liefert dabei nur einen Extrakt des vielschichtigen Umfeldes des Aftersales und soll vor allem im Kontext der weiteren Teilbetrachtung relevante Akteure untersuchen.

KFZ-Sachverständige werden im Falle eines Schadens an Fahrzeugen aktiv. Hier kann zwischen freien Gutachtern und von der jeweiligen Versicherung abhängigen Gutachtern unterschieden werden. (ADAC 2016) Das Fahrzeug wird nach einer Feststellung von Art und Umfang seiner Bauteile und Systeme eindeutig auf dessen aktuellen Zustand hin untersucht, wobei Vor- und Altschäden ermittelt werden. Abschließend werden die anfallenden Reparaturkosten kalkuliert und überprüft, und ein Schadensgutachten erstellt. (Zwez 2018; Grünewald 2022)

Recyclingunternehmen sind für die Entsorgung von Automobilen verantwortlich. Gemäß der für Deutschland geltenden Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung) ist die durch die Automobilhersteller gesichert zu ermöglichende Entsorgung eines Fahrzeugs mit der halterseitigen Pflicht verbunden, „[...] dieses nur einer gemäß Altfahrzeug-Verordnung anerkannten Annahmestelle, einer anerkannten Rücknahmestelle oder einem anerkannten Demontagebetrieb zu überlassen[...]“, wobei die Demontagebetriebe letztlich im Gegenzug dazu verpflichtet sind, dem Letzthalter einen entsprechenden Verwertungsnachweis auszustellen. (Bundesministeriums der Justiz sowie des Bundesamts für Justiz 1997)

Eine wesentliche Bedeutung haben die Prüforganisationen, welche als unabhängige Organisationen agieren. Gemäß der in Deutschland geltenden Straßenverkehrsordnung müssen Fahrzeuge mit amtlichen Kennzeichen „[...] in regelmäßigen Abständen einer technischen Prüfstelle oder einer Überwachungsorganisation zu einer Hauptuntersuchung vorgeführt werden. Die Fahrzeuguntersuchungen dienen der Sicherheit im Straßenverkehr.“ (Kraftfahrtbundesamt, 2021) Neben dem Prozess der Hauptuntersuchung sind Prüforganisationen auch für die Eintragung von technischen Änderungen verantwortlich. Bei der Hauptuntersuchung erfolgt eine Überprüfung der Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Sicherheit und ihrem Abgasverhalten. Diese Untersuchung wird als Hauptuntersuchung

(HU) bezeichnet, im internationalen Bereich ist auch der Begriff „periodische technische Inspektion“ gebräuchlich. Diese Verpflichtung ist in Deutschland im §29 der Straßenverkehrszulassungsordnung beinhaltet und basiert auf einer Richtlinie der Europäischen Union. (Bundesamt für Justiz 2012)

In Deutschland existiert ein Wettbewerb zwischen verschiedenen Unternehmen, die eine Hauptuntersuchung ermöglichen. Gemessen an der Anzahl der durchgeführten Hauptuntersuchungen, sind die beiden größten Betreiber die TÜV-Organisationen sowie die Dekra. Es gibt darüber hinaus weitere Marktteilnehmer wie die KÜS oder GTÜ, welche ebenfalls befugt sind Hauptuntersuchungen auszuführen. (Wiesinger 2022b)

Der gesamte Prüfprozess stützt sich unabhängig vom durchführenden Akteur auf das Verkehrsblatt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017) Um Untersuchungsabläufe und auch die Einstufung von Fehlern zu vereinheitlichen, wurde durch das BMVI 2004 eine zentrale Stelle (ZS) eingerichtet, deren Aufgabe darin besteht, Prüfvorgaben zu erarbeiten, die in den HU-Stellen im Rahmen der Untersuchung anzuwenden sind. Hierzu wurde eine GmbH gegründet, die Fahrzeugsystemdaten GmbH mit Sitz in Dresden. Gesellschafter sind die HU-Stellenbetreiber. Die Finanzierung erfolgt hierbei durch den Fahrzeughalter im Rahmen der Hauptuntersuchung. Damit stehen die monetären Möglichkeiten zur Verfügung, kontinuierlich den neusten Stand von Prüfvorgaben zu entwickeln. (Hecker und Hurth 2017)

Folgend wird der Prozess der Durchführung einer Hauptuntersuchung vorgestellt. Zur Übersichtlichkeit werden die einzelnen Schritte chronologisch erläutert. Die gewonnenen Erkenntnisse stützen sich auf eine Begutachtung des Prozesses der Hauptuntersuchung beim TÜV Rheinland, TÜV SÜD, der Dekra und der GTÜ. Dem Prozess der Hauptuntersuchung liegt im Allgemeinen die Richtlinie für die Durchführung von Hauptuntersuchungen (HU) und die Beurteilung der dabei festgestellten Mängel an Fahrzeugen nach § 29 zugrunde. (Wiesinger 2022b)

Mit der Fahrzeugannahme erfolgt der erste Kundenkontakt vor Ort. Der Fahrzeugschein des Kunden wird vorgelegt und alle notwendigen Informationen (Kennzeichen, EZ, HSN, TSN, VIN, ...) werden in die Maske übertragen. Diese Tätigkeit erfolgt zum Teil vom Prüfenieur selbst, zum Teil auch von unterstützenden Kräften. Im Anschluss wird auch die Tätigkeit ausgewählt, welche der Prüfenieur am Fahrzeug durchzuführen hat (HU / Eintragung, etc.). Sollte das Fahrzeug im konzerninternen System bereits gelistet sein, ist

ebenso die Historie ersichtlich. Es besteht jedoch keine prüforganisations- oder branchenübergreifende Konnektivität und Historie. (Sander 2022)

Der Prüflingenieur richtet seine Gerätschaften ein (PC oder ggf. Smartphone, OBD-Schnittstellenadapter) und koppelt diese mit dem vorher am PC angelegten Auftrag. Im nächsten Schritt setzt der Prüfer bei einer stationären Prüfung in einer Prüforganisation das Fahrzeug in die Prüfhalle. Zu diesem Zeitpunkt führt der Prüfer bereits eine Funktionsprüfung der Signalanlage sowie der Wischanlage durch. Auch optische Defizite, welche die Sicherheit im Straßenverkehr beeinflussen können, werden zu diesem Zeitpunkt bereits aufgenommen. Die Ablage der gewonnenen Informationen erfolgt handschriftlich oder via Smartphone. (Magnor 2021)

Über eine Kommunikationsschnittstelle kann der Prüflingenieur das Fahrzeug mit seinem PC-System koppeln und Informationen aus dem CAN des Fahrzeuges sowie über das OBD-Protokoll auslesen. Informationen, wie z.B. die Fahrgestellnummer können validiert werden, relevante Fehlermeldungen können aus verschiedenen Steuergeräten ausgelesen werden. Es erfolgt auch eine herstellerspezifische Decodierung. Für diverse Fahrzeugtypen besteht auch eine Möglichkeit, die installierte Software der Steuergeräte hinsichtlich ihrer Aktualität zu überprüfen. Auf Knopfdruck können diese Daten auf den PC des Prüflingenieurs übermittelt werden. Die hier generierten Daten werden gesammelt und sind zeitgleich auch im Smartphone des Prüfers ersichtlich. (Sander 2022)

Das Fahrzeug wird auf den Bremsprüfstand gestellt. Hier wird eine Überprüfung der Fahrzeugbremsanlage sowie der Feststellbremse durchgeführt. Bei einem Bremsprüfstand neuerer Generation werden die Messergebnisse direkt auf das Smartphone des Prüflingenieurs übertragen. Er ist so in der Lage, den Bremsprüfstand zu steuern und Einfluss auf das Messverfahren zu nehmen. Der Prüfer nimmt eine Sichtprüfung des Innenraumes (notwendiger Schalter) vor und testet die Signalanlage. Kommt es hier zu Mängeln, werden diese handschriftlich notiert und später in eine Eingabemaske am PC übertragen. (Sander 2022)

Der Prüflingenieur setzt das Fahrzeug aus dem Bremsprüfstand heraus auf eine Hebebühne/Grube und arbeitet seine Prüfliste ab. Er kontrolliert das Fahrzeug auf Verschleiß, Defekte, usw. Häufige, fahrzeugspezifische Mängel, können vom Prüflingenieur dem PC-System entnommen werden. Ebenso zugelassene Reifengrößen, KBA-Nummern und viele weitere Informationen. Findet der Prüfer einen Mangel, so kann er diesen auf einem Zettel niederschreiben, direkt in der PC-Anwendung hinterlegen oder auf dem Smartphone

ablegen. Während dieses Prozesses können ggf. Fotos zur Dokumentation erstellt werden. Für die Kontrolle des Lichtes ist ein Lichtmessgerät erforderlich. (Lubnau 2021)

Der Prüfenieur koppelt den AU-Tester mit der OBD-Schnittstelle des Fahrzeuges. Es handelt sich hierbei um eine anderen OBD-Stecker als zu Beginn der Prüfung. Hier werden alle Abgasrelevanten Fehler ausgelesen. Ist alles in Ordnung, kann die Abgasmessung starten. Dies kann sowohl über die OBD-Schnittstelle als auch über manuelle Abgassonden im Auspuff erfolgen. (Lubnau 2021)

Nach bestandener Abgasuntersuchung werden die Daten in das PC-System der Prüforganisation übertragen. Ggf. kann der Kunde auch eine Abgasuntersuchung mitbringen. Die hier enthaltenen Daten werden dann in das Prüfsystem übertragen. Sollte das Auto über keine Mängel zu diesem Zeitpunkt verfügt haben, bekommt es die gültige TÜV-Plakette. Der Kunde erhält einen Prüfbericht und begleicht die Rechnung.

Die Datenaufbereiter sorgen in erster Linie dafür, dass die entsprechend notwendigen Daten in konkret nutzbarer Form für die Arbeit der jeweiligen Akteure zur Verfügung steht.

2.4.1 Umfeld des Automotive Aftersales

Nach der Betrachtung der Akteure des Aftersales, soll nun dessen Umfeld und dessen Wandel untersucht werden. Mit Hilfe aktueller Entwicklungen und Trends soll eine Prognose über mögliche Zukunftsszenarien erfolgen. Das Umfeld, in welchem sich der After Sales der Automobilindustrie bewegt, ist von einem stetigen und rasanten Wandel geprägt. Einflussfaktoren positiver wie auch negativer Art lassen sich in verschiedene Teilbereiche unterteilen. (Brandenburg 2016) Die prägnantesten Einflussfaktoren werden im Folgenden auf den Standort Deutschland bezogen vorgestellt und erläutert. Die Corona-Pandemie, politische Konflikte und daraus resultierend gestiegene Rohstoff- sowie Energiepreise zeigen ihren direkten Einfluss auf die Wirtschaft. Der Ausbruch der Corona-Pandemie führte zu einem Rückgang des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts (BIP) um 4,6 %. Die konjunkturelle Entwicklung war auch noch im Jahr 2021 stark von der Corona-Pandemie geprägt, allerdings ist bereits ein positiver Aufwärtstrend zu verzeichnen. Das preisbereinigte BIP war im Jahr 2021 um 2,9 % höher als im Jahr 2020. (Statistisches Bundesamt 2022) Besonders beim Endkunden wirken sich eine hohe Inflation mit einhergehenden Preisanstiegen negativ auf das Konsumentenverhalten aus. Folglich werden große finanzielle Entscheidungen, wie der Kauf eines Neuwagens, verlagert und der Anteil an älteren Fahrzeugen auf dem Markt nimmt zu. (Hecker und Hurth 2017)

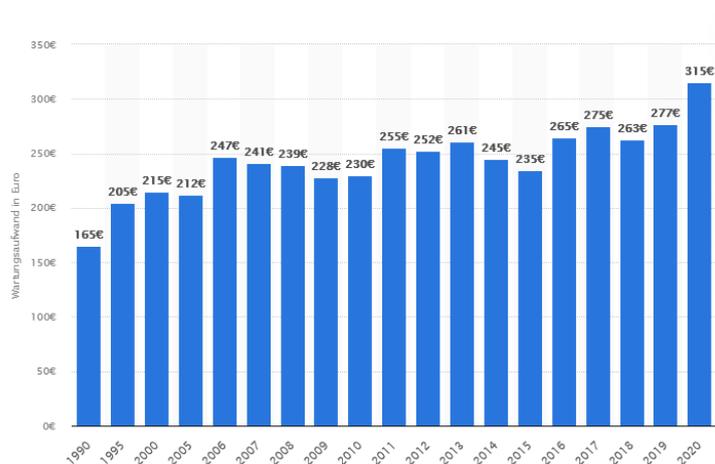


Abbildung 13: Wartungsaufwand pro Pkw in Deutschland 1990 bis 2020 (Kords 2022)

2020 wurde zum ersten Mal die Marke von 300 Euro Wartungsaufwand je Pkw erreicht. (Kords 2022) Dies ist neben einer gestiegenen Preisstruktur auch auf den hohen Bestand älterer Fahrzeuge zurückzuführen. Seit einigen Jahren ist zudem der Trend zu verzeichnen, dass Autofahrer bei nicht sicherheitsrelevanten Reparaturen versuchen zu sparen und Arbeiten bei günstigeren Wartungs- und Reparaturstätten durchführen zu lassen. (Hecker und Hurth 2017) Zu Beginn von 2021 war von den etwa 48,3 Millionen in Deutschland zugelassenen PKW etwa jedes 50. Fahrzeug älter als 30 Jahre. 6,1 Millionen Fahrzeuge waren unter zwei Jahre alt und fast jedes zweite zwischen zwei und vier Jahre. Rund ein Viertel aller PKW war zwischen fünf und neun Jahre alt. Hieraus folgend ergibt sich ein durchschnittliches Alter aller zugelassenen PKW von 9,8 Jahren. (Kraftfahrt-Bundesamt 2021) Auch der technologische Fortschritt in Form von einer verlängerten Teilelebensdauer sowie der zunehmenden Komplexität und Elektrifizierung wirkt sich auf den Aftersales aus. (Hecker und Hurth 2017)

Neben starken aktuellen politischen, gesellschaftlichen und technologischen Problemen, Zielen, Trends und Unsicherheiten sollen dabei auch mögliche Lösungen und Richtungsgeber für das Eintreten spezifischer Entwicklungen identifiziert werden.

2.4.1.1 Agenda 2030

Mit der Agenda 2030 haben sich die vereinten Nationen Ziele für eine sozial, wirtschaftlich und ökologisch nachhaltige Entwicklung gesetzt. Diese richten sich dabei an alle Akteure wie Staaten, Zivilgesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft und Einzelpersonen. (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung 2022) Als gemeinsames Resultat wurden 17 SDGs (Sustainable Development Goals), welche die

Themenbereiche People, Planet, Prosperity, Peace, Partnership zuzuordnen sind, festgehalten. (Martens und Obenland 2017) Die SDGs, also die Ziele und Zielvorgaben für eine nachhaltige Entwicklung, geben allgemein formulierte Maßnahmen vor, welche zu ihrer Umsetzung nötig sind. Allerdings stehen sie teilweise, durch den Widerspruch wirtschaftlicher und ökologischer Ziele, im Konflikt zueinander. (Martens und Obenland 2017) Mit Fokus auf den Schwerpunkt Automotive Aftersales dieser Ausarbeitung lassen sich die wesentlichen SDGs der Agenda 2030 als die Ziele herausfiltern:

- Ziel 7: Nachhaltige und moderne Energie für alle
 - Ziel 8: Nachhaltiges Wirtschaftswachstum und menschenwürdige Arbeit für alle
 - Ziel 9: Widerstandsfähige Infrastruktur und nachhaltige Industrialisierung
 - Ziel 11: Nachhaltige Städte und Siedlungen
 - Ziel 12: Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen
 - Ziel 13: Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen
- (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung 2022)

2.4.1.2 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie

Die Basis der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie liefert die zuvor betrachtete *Agenda 2030* und die durch sie definierten Ziele. (Bundesregierung 2020) Die im Kontext dieser Arbeit relevanten Transformationsbereiche und die diesbezüglich relevanten SDGs beschränken sich dabei konkret auf:

- (2) Energiewende und Klimaschutz (SDG 7, 13)
- (3) Kreislaufwirtschaft (SDG 8, 9, 12)
- (4) Nachhaltiges Bauen und Verkehrswende (SDG 7, 8, 9, 11, 12, 13)

Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie zeigt Schwerpunkte und Handlungsabsichten der Bundesregierung in einzelnen Transformationsbereichen auf. Ein gewisser Spielraum bei der Lösungsfindung wird in den Formulierungen jedoch offen gehalten. Besonders deutlich wird diese Überlegung in Bezug auf die Mobilität, wo verschiedene Antriebs- und Energieträgerarten, als auch verschiedene Mobilitätstypen miteinander konkurrieren und deren Potenzial von der Entwicklung äußerer Umstände wie bspw. dem Ausbau des Stromnetzes oder der erneuerbaren Energien und der Stadtplanung, aber auch von ihrem Einsatzbereich abhängt. (Bundesregierung 2020) Abschließend wird als Überblick eine

Zusammenfassung aller Transformationsbereiche gegeben, welche als besonders relevant bezüglich künftiger Entwicklungen des Automotive Aftersales angesehen werden können.

- **Energieverbrauch**
 - Reduzierung des (Primär)-Energieverbrauchs
 - Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien
- **Energieträger**
 - Bepreisung der CO₂-Intensität von Kraftstoffen
 - Wasserstoffstrategie (NWS)
 - Erzeugungsanlagen für synthetische Kraftstoffe (Elektrolyse/Raffinierung)
 - Innovative Batteriezellenproduktion
 - Elektromobilität
 - Strom aus erneuerbaren Energien speichern
- **Infrastrukturausbau**
 - Energieinfrastruktur
 - Synchron zum Ausbau erneuerbarer Energien
 - Lade- und Tankinfrastruktur
 - Informations- und Kommunikationstechnologien
 - Verkehrsinfrastruktur
 - ÖPNV
 - Schienenverkehr
 - Abfallwirtschaft
- **Digitalisierung**
 - Senkungen von Ressourceninanspruchnahmen
 - Effizienzsteigerung und Innovationen im Bereich der Kreislaufwirtschaft
 - Anreize zur betrieblichen Einführung des Umweltmanagementsystems EMAS
 - Dezentrale Energieversorgung
- **Mobilität**
 - Alternative Antriebstechnologien
 - Autos
 - Schienenverkehr
 - ÖPNV
 - Verstärkung des Radverkehrs

- Intermodale Mobilitätsplattformen
- Baukonzept zur Vermeidung von Verkehr

- **Konsum**
 - Produktdesigns in Richtung Langlebigkeit und Wiederverwertbarkeit
 - Nachhaltige Konsummuster und Lebensstile
 - Bessere Orientierung bzgl. der CO₂-Bilanz und des Energieverbrauchs bei der Herstellung und Nutzung von Produkten bzw. Dienstleistungen (Bundesregierung 2020)

3. Entwicklung des Aftersales und Transformationsziele

Folgend sollen nun unter Berücksichtigung der vorherigen Betrachtung von Akteuren und des Umfeldes des Automotive Aftersales externe sowie interne Entwicklungen untersucht werden. Das Ziel ist es, Transformationsziele abzuleiten, welche sich aus den Entwicklungen ergeben. Diese finden Einzug in die spätere Konzepterstellung.

3.1 Extern getriebene Entwicklung des Aftersales

Für künftige Entwicklungen des Automotive Aftersales konnten auf Basis der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, welche auf der Agenda 2030 beruht, Maßnahmen herausgefiltert werden, um das übergeordnete Umfeld, dessen Wandel und Einflussfaktoren zu identifizieren. Als wesentliche Maßnahmen lassen sich herausfiltern:

- **Energieverbrauch**
 - Erneuerbare Energien
- **Energieträger**
 - Bepreisung der CO₂-Intensität von Kraftstoffen
 - Wasserstoffstrategie (NWS)
 - Erzeugungsanlagen für synthetische Kraftstoffe (Elektrolyse/Raffinierung)
- **Infrastrukturausbau**
 - Lade- und Tankinfrastruktur
 - Abfallwirtschaft
- **Digitalisierung**
 - Senkungen von Ressourceninanspruchnahmen
 - Effizienzsteigerung und Innovationen im Bereich der Kreislaufwirtschaft
- **Mobilität**
 - Alternative Antriebstechnologien
 - Verstärkung des Radverkehrs
 - Intermodale Mobilitätsplattformen
- **Konsum**
 - Produktdesigns in Richtung Langlebigkeit und Wiederverwertbarkeit
 - Bessere Orientierung bzgl. der CO₂-Bilanz bei der Nutzung von Produkten bzw. Dienstleistungen (Bundesregierung 2020)

Durch die Betrachtung der Abhängigkeiten von Maßnahmen können nun wahrscheinliche Zukunftsszenarien abgeleitet werden, die als übergeordnete Transformationsziele für den Automotive Aftersales dienen. Fasst man die strategischen Abhängigkeiten der Maßnahmen zusammen, so ergibt sich zunächst folgende, relativ ungeordnet erscheinende Anordnung.

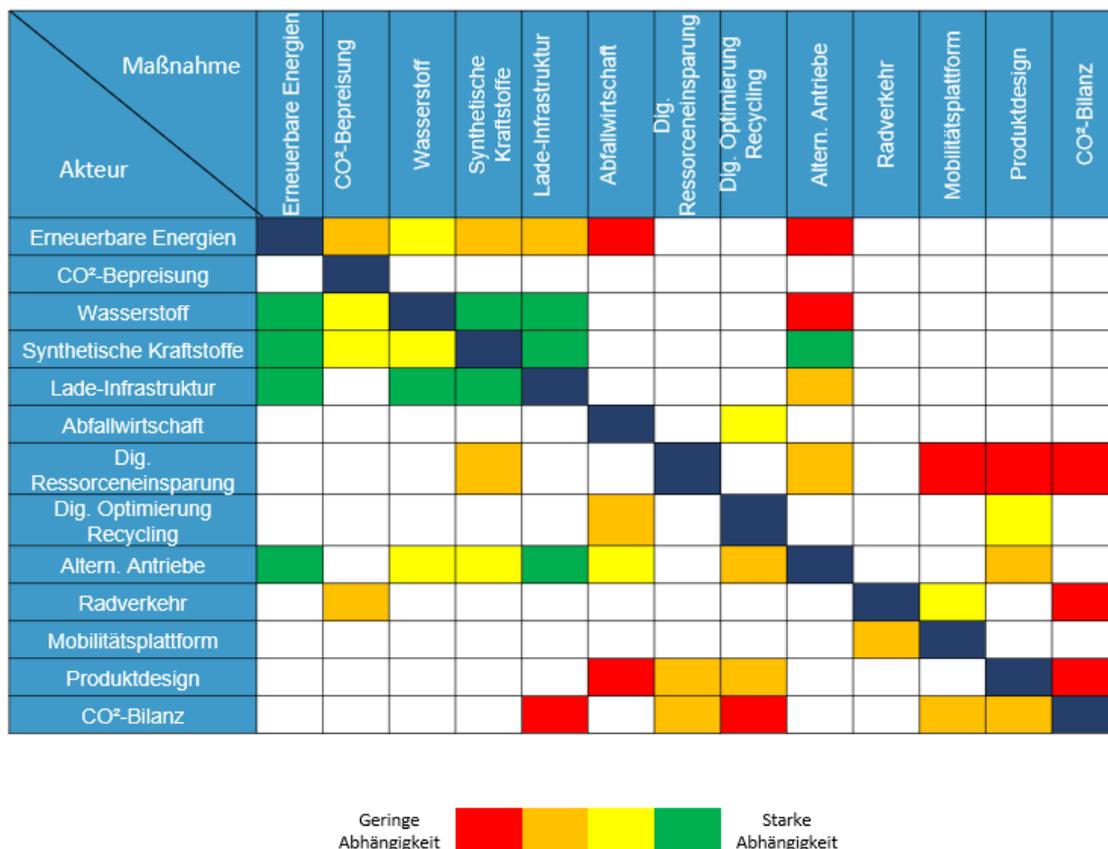


Abbildung 14: Strategische Abhängigkeiten (eigene Abbildung)

Mit Hilfe einfacher Verfahren lässt sich die Form der strategischen Abhängigkeiten in eine für den Leser verständlichere Ansicht überführen. Dieser Zustand stellt die optimale Reihenfolge der Maßnahmenausführung dar, lässt die Identifikation strategischer Module zu und ermöglicht die Ableitung wahrscheinlicher Zukunftsszenarien. Als konkretes Modul ist zunächst „Modul 1“ (blau markiert) zu nennen, welches die Schaffung einer Mobilitätsplattform und die Förderung des Radverkehrs integriert. „Modul 2“ (rot markiert) stellt das komplexeste Modul dar und integriert Maßnahmen bzgl. des Energieverbrauchs und Energieträgern, aber auch solche, welche den Ausbau einer Tank- und Ladeinfrastruktur und den verstärkten Einsatz alternativer Antriebstechnologien realisieren. „Modul 3“ (gelb markiert) integriert Maßnahmen, welche umwelt- und klimafreundlichen Verhaltensweisen dienen, wozu bspw. die Anpassung von Produktdesigns in Richtung Langlebigkeit und Wiederverwertbarkeit zählt.

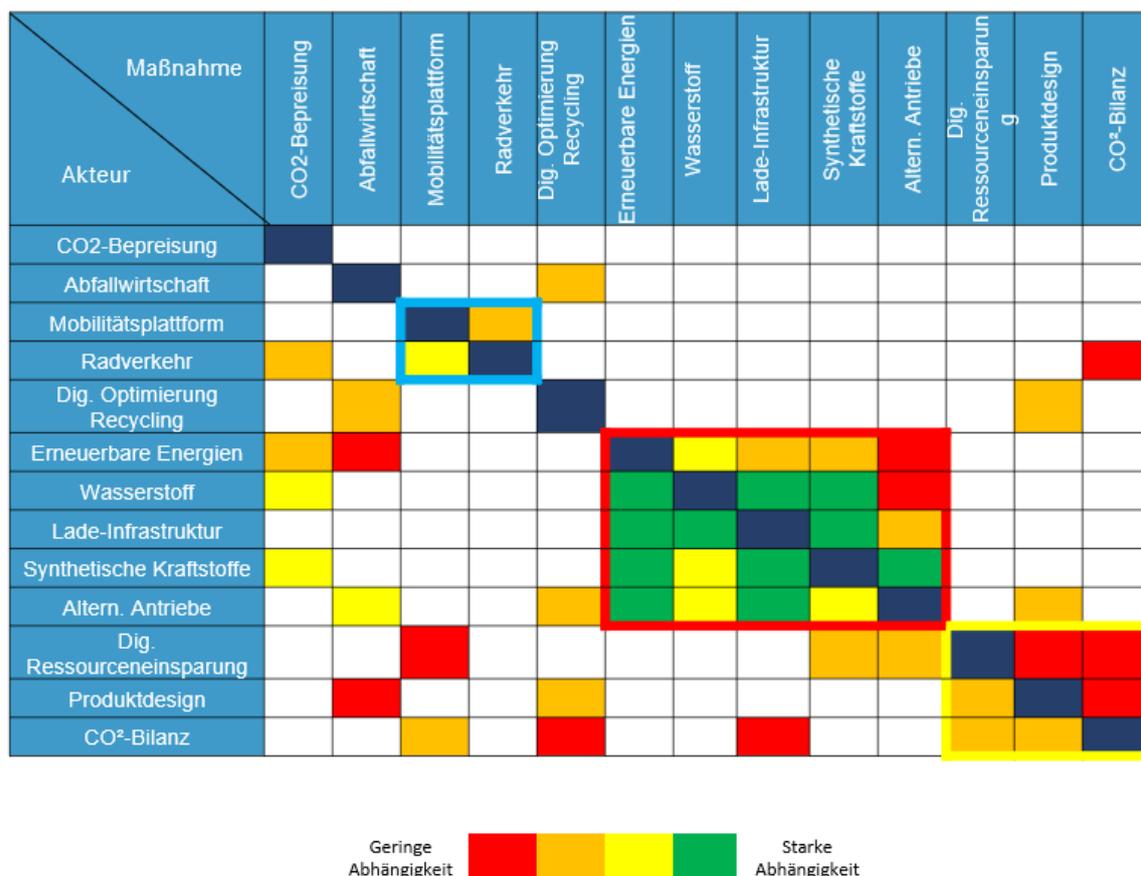


Abbildung 15: Optimierte Form strategischer Abhängigkeiten (eigene Abbildung)

Mit Blick auf die abgeleiteten Module ist von einer Förderung des Radverkehrs und der Schaffung einer Mobilitätsplattform auszugehen (Modul 1). Um die Inanspruchnahme von Ressourcen insgesamt zu verringern, wird neben der Vermeidung von Ressourcenverschwendungen auch auf die Koordination der Ressourcenflüsse in und zwischen den Unternehmen gesetzt. Durch die Integration eines entsprechenden Ansatzes zur Ressourcenschonung bereits direkt in der Produktentwicklung und einer CO₂-Bepreisung lässt sich bereits ein Großteil von Modul 3 abdecken. In Bezug auf das zweite vorgestellte Modul ist künftig mit einer Senkung der Kosten zur Anschaffung und Unterhaltung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien zu rechnen. Deren zunehmende Alltagstauglichkeit durch eine flächendeckende Verfügbarkeit entsprechender Tank- und Ladesäulen, aber auch die zunehmende Bepreisung der CO₂- Intensität von Kraftstoffen und der geringere Servicebedarf elektrischer Antriebstechnologien sind damit einhergehende Effekte. An dieser Stelle sind aufgrund der unterschiedlichen Antriebstechnologien eine Unterscheidung und eine Ableitung von verschiedenen Szenarien notwendig: Im ersten Szenario findet eine Durchsetzung von Fahrzeugen mit Elektromotor statt, welche konventionelle Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor stetig und in immer mehr

Bereichen ablösen. Die Auswirkungen auf die Akteure des Automotive Aftersales sind dabei einschneidend und führen zu einer kategorischen Transformation. Im zweiten Szenario setzen sich weiterhin Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch, werden aber zunehmend mit synthetischen Kraftstoffen betrieben und für diese optimiert. Für den Kurzstreckenbetrieb bzw. innerstädtische Bereiche sind Fahrzeuge mit zusätzlichen Akkus und Elektromotoren ausgestattet (Plugin-Hybride) und werden durch vollelektrische Fahrzeuge ergänzt. Die Auswirkungen auf den Automotive Aftersales sind hierbei weniger stark und für den Wandel in Richtung Elektromobilität verbleibt den Akteuren mehr Zeit. Auch wenn eine Prognostizierung der Zukunft nicht allumfänglich möglich ist, kann festgestellt werden, dass die Akteure im Automotive After Sales eine künftig andere Rolle einnehmen werden. Um auf dem Markt bestehen zu können, stehen die Nachhaltigkeitssteigerung, Effizienzsteigerung und Kostensenkung, Qualitätssteigerung des Service im Fokus. Die sich aus den wesentlichen Merkmalen ergebenden und den Transformationsbereichen zugeordneten Ziele lassen sich somit zusammenfassen als:

1. Nachhaltigkeitssteigerung

1.1. Enger Austausch von Fahrzeugzustand bezogenen Informationen mit anderen Unternehmen

1.2. Enge Einbindung in die Kreislaufwirtschaft

1.2.1. Gemeinschaftliche Verwaltung von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen

1.2.2. Gezielte Wiederverwendung gebrauchter Fahrzeugteile

1.3. Optimierte Inanspruchnahme operativer Ressourcen

1.3.1. Vermeidung direkter Ressourcenverschwendung

1.3.2. Unternehmensübergreifende Koordination von Ressourcenflüssen

2. Effizienzsteigerung und Kostensenkung

2.1. Enger Austausch von Fahrzeugzustand bezogenen Informationen mit anderen Unternehmen

2.2. Beherrschung der Komplexität neuartiger Fahrzeuge

2.3. Optimierte Betreuung älterer Fahrzeuge

2.3.1. Minimierte Servicekosten

2.3.2. Maximierte Servicequalität

2.3.3. Gesicherte Verfügbarkeit von Ersatzteilen

2.4. Optimierte Inanspruchnahme operativer Ressourcen

2.4.1. Vermeidung direkter Ressourcenverschwendung

2.4.2. Unternehmensübergreifende Koordination von Ressourcenflüssen

3. Qualitätssteigerung des Service

3.1. Enger Austausch von Fahrzeugzustand bezogenen Informationen mit anderen Unternehmen

3.2. Beherrschung der Komplexität neuartiger Fahrzeuge

3.3. Gesteigerte Transparenz

3.3.1. Validität durchgeführter Arbeiten

3.3.2. Orientierung zur CO₂-Bilanz von Servicearbeiten und eingesetzter Fahrzeugteile

Im Zusammenhang mit der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie werden diese Ziele als ihre Erweiterung betrachtet.

3.2 Intern getriebene Entwicklung des Aftersales

Nachdem nun Ziele aus externen Einflussfaktoren für die künftige Entwicklung des Aftersales abgeleitet wurden, richtet sich die folgende Betrachtung dem intern getriebenen Wandel des Automotive Aftersales. Zur besseren Veranschaulichung und auch zur Ableitung von Defiziten aus der aktuellen Prozesskette sollen der Automotive After Sales und dessen wichtigste Akteure mit Bezug auf die dort generierten Daten und den Austausch dieser untereinander im Fokus der Betrachtung stehen und näher analysiert werden.

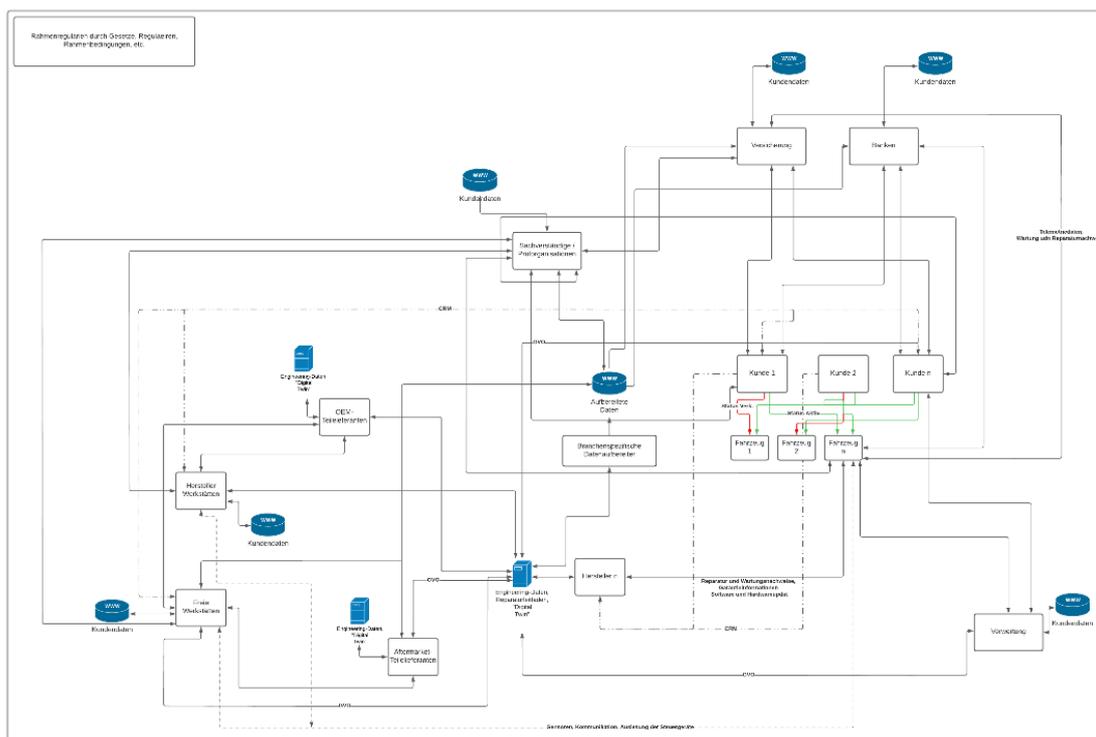


Abbildung 16: Datenfluss im Automotive Aftersales (eigene Abbildung)

Abgebildet ist ein Auszug der Akteure des Automotive Aftersales. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht der Kunde, welcher über eins oder mehrere Fahrzeuge verfügen kann. Hier gilt es auch Besitzerwechsel zu beachten sowie das Ausscheiden von Fahrzeugen, welche z.B. der Verschrottung zugeführt werden. Fahrzeug sowie Kunde sollen vereinfacht als eine Einheit angesehen werden, welche Schnittstellen zu verschiedenen Branchen und Unternehmen des Automotive After Sales aufweisen. Eine zentrale Instanz ist der Hersteller des jeweiligen Fahrzeuges. Er verfügt über die größte Datenvielfalt und das größte Portfolio über das Wissen des Fahrzeuges hinsichtlich seiner Historie, einzelnen Bestandteile, Wartungsanweisungen, etc. Ebenso verfügt er aus dem Produktentwicklungsprozess über 3D-Modelle des Fahrzeuges und seiner Bestandteile, welche zumeist als CAD-Dateien vorliegen. Das hier vorhandene Wissen verbleibt zum Großteil innerhalb der Mauern des Herstellers, sofern eine Weitergabe der Daten, beispielsweise an dritte Instanzen oder auch an Endkonsumenten nicht gesetzlich vorgeschrieben ist. Gemäß der Gruppenfreistellungsverordnung (GVO) dürfen unabhängige Akteure des Aftersales bei der Versorgung von herstellereitigen Daten nicht benachteiligt werden. (Europäische Kommission 28.05.2010) In der Praxis sieht dies jedoch häufig ganz anders aus. Eine Vielzahl von Services im Werkstattgeschäft - zum Beispiel Radio- und Navigationsfunktionen, Interfaces zu Mobiltelefonen, Schiebedach- und

Heizungsfunktionen, Anpassung des Motormanagements und der Reichweite, Licht- und Sichtfunktionspakete, Park- oder Spurhalte- bzw. Spurwechselassistenten ist in direkter Weise nur den Herstellern und deren Werkstatteleistungen zugänglich. (Thiele 2022) Sofern notwendig, kommuniziert der Kunde eines Fahrzeuges in bidirektionaler Weise mit dem Hersteller. So werden neben den genannten Updates und Funktionen vom Kunden wichtige Hinweise im Rahmen der Qualitätsanalyse zurückgeliefert. Diese Prozesskette ist vor allem bei neueren Fahrzeugen wie Jahreswagen und Leasingfahrzeugen stark ausgeprägt, verliert aber mit zunehmenden Fahrzeugalter an Bedeutung und dieser Weg der Kommunikation ebbt ab. (Thiele 2022)

Seitens des Fahrzeugherstellers wird der Kerngedanke des Digitalen Zwillings entlang des Produktlebenszyklus realisiert. Es kommen PLM-Lösungen zum Einsatz, von denen auch der After Sales profitiert (Lobeck 2021). Auch vernetzte Plattformen, an welche das Händlernetz des Herstellers angeschlossen sind, gehören bereits heute zum Alltag. Allerdings werden diese Dienste nur für unternehmensinterne Zwecke genutzt und selten über die Unternehmensgrenzen hinaus publik gemacht. Zum Fahrzeughersteller gehörende Werkstätten und Händler profitieren von diesen Daten, freie Werkstätten sind gemäß der Gruppenfreistellungsverordnung (GVO) bedingt in der Lage, auf diese Daten in spezifisch aufbereiteter Form zurückzugreifen. (Thiele 2022) Dabei stehen die Freien Werkstätten ebenso im direkten Austausch mit Kunden, die ihr Fahrzeug zur Wartung und Inspektion, für Optimierungsmaßnahmen und weitere Prozesse in die Werkstatt geben. Die hier generierten Daten werden gesammelt und in der Werkstatt selbst bzw. bei größeren Ketten auch kettenübergreifend gesammelt und verwaltet. Die Prozesskette, um an notwendige Reparaturanleitungen, herstellerspezifische Informationen und auch Softwareupdates zu gelangen, ist in der Regel mit einigen Hürden verbunden und unterscheidet sich mitunter von Hersteller zu Hersteller stark. Daher gibt es Unternehmen, welche sich auf die Aufarbeitung von herstellerspezifischen Daten für freie Werkstätten spezialisiert haben und diese beispielsweise gekoppelt an eine spezifische Plattform vertreiben. Dieser Schritt wird aufgrund der Vielfalt von Daten und Herstellern oft gewählt, da die Daten so in einer einheitlichen Form über eine Suchmaske den Werkstätten zur Verfügung gestellt werden können. Ein Beispiel hierfür ist das ehemals von Bosch initiierte Drivelog Werkstattportal, welches exklusiv für registrierte Unternehmer zur Ersatzteilebestellung sowie für vernetzte Dienstleistungen und durch weitere Features profitieren können. (Thiele 2020) Ein wichtiger Bestandteil auf dem After Sales Markt sind die Hersteller von Wartungs- und Ersatzteilen. Diese lassen sich unterteilen in OEM-Teilelieferanten mit unterschiedlicher

Fertigungstiefe sowie Aftersales Teilelieferanten. Die OEM-Teilelieferanten arbeiten eng mit den Herstellern sowie den herstellerebenen Werkstätten zusammen und profitieren von den dort generierten Daten. Neben dem Direktvertrieb von Ersatzteilen über das Herstellernetzwerk bieten OEM-Teilelieferanten auch ihre Bauteile unter eigenem Namen auf dem Markt an und bedienen so unter anderem auch freie Werkstätten oder Kunden, welche die Wartung ihres Fahrzeuges in Eigenverantwortung durchführen. Aftersales Teilelieferanten haben sich auf den Nachbau von Ersatzteilen spezialisiert, um für Wartung und Reparaturen kostengünstigere, zeitwertgerechtere Lösungen im Portfolio zu haben und diese dem Kunden anbieten zu können. (Hecker und Hurth 2017) Zu den Abnehmern zählen hier in erster Linie freie Werkstätten sowie auch der Kunde als Direktverbraucher. Die notwendigen Engineering Daten können auch hier gemäß der GVO zum Teil über das Herstellernetzwerk bezogen werden, allerdings liegen auch häufig eigene Konstruktionen oder Reverse-Engineering den jeweiligen Bauteilen zugrunde. Die hier generierten Daten werden dann zum Großteil intern genutzt. Weitere Teilnehmer des Aftersales sind Versicherungen, Banken, Gutachter sowie Prüfstätten. Sie alle eint, dass sie in direkter Weise für den Endkunden essenziell sind, aber eher eine überlagerte Position einnehmen. Hier werden sowohl Daten selbst generiert und gesammelt, aber auch auf aufbereitende Unternehmen wird gesetzt. Diese Teildisziplinen weisen dabei Schnittstellen zu nahezu allen Akteuren auf, was deren Betrachtung durchaus interessant macht. (Hecker und Hurth 2017)

Im Unterschied zu Product-Lifecycle-Management-Lösungen hat die IT nicht mehr nur die Aufgabe, den Produktlebenszyklus von der Konstruktion bis zum Recycling abzubilden. Systemübergreifend denken und handeln können die Akteure erst dann, wenn statt isolierter Produkte gesamte Prozesse im Fokus stehen. Folgend werden weitere Transformationsziele abgeleitet, welche es zu optimieren gilt. Diese Transformationsziele setzen an die extern getriebenen an und folgen in ihrer durchgehenden Nummerierung auf diese.

4. Steigerung des Austausches unternehmens- bzw. Branchenintern

Wie Abbildung 16 zu entnehmen ist, sind generierte Daten meist unternehmensintern bzw. branchenintern aufbereitet und verfügbar. Selbst innerhalb eines Unternehmens kann es noch Unterschiede hinsichtlich der Hierarchie und auch der Abteilung geben, welche Inhalte zugänglich sind. Damit einhergehend werden Insellösungen geschaffen, welche zu den anderen Punkten beitragen und deren Relevanz beschleunigen. Hier gilt es anzusetzen und eine gemeinsame Datenbasis für den Automotive Aftersales zu generieren.

5. Standardisierte Austauschformate + Fokus auf Visualisierung

Standardisierte Formate finden bislang nur wenig Einzug und fokussieren sich hier vor allem auf Text- bzw. Printdokumente (z.B. PDF-Format). (Lobeck 2022) Insbesondere im 3D-Bereich gibt es viele Ansätze zu einem Austausch, wie z.B. das STEP-Format. Jedoch finden generierte Visualisierungsdaten und 3D-Austauschformate nur bedingt Betrachtung. Auch hier sind die Grenzen vor allem unternehmensintern angesiedelt. Ein standardisiertes, neutrales und vielschichtig einsetzbares Format über die Unternehmensgrenzen hinweg ist kein Standard. Die Produkte werden zunehmend komplexer. Bezogen auf Aftersales haben sowohl Wartung als auch Serviceoperationen mit dieser zunehmenden Komplexität umzugehen. Daher ist es ratsam, auch diese Prozesse mit Hilfe von 3D-Visualisierungen zu unterstützen. So können Reparaturleitfäden z.B. interaktiv visualisiert werden, Protokollierungen bidirektional angebunden werden, sodass die generierten Informationen z.B. direkt am PC verfügbar sind.

6. Intuitive Nutzerschnittstellen + Geräteübergreifende Kommunikation

After Sales bedeutet häufig Field Service. Hier geht es darum, im Außendienst direkt an der Maschine (dem Fahrzeug) Wartungsschritte durchzuführen und dieses schnell wieder einsatzfähig zu machen. Moderne, immersive Technologien wie die Extended Reality oder aber auch die generative Fertigung finden bislang keine Betrachtung in diesem Bereich und bieten das Potential, Wartungs-, Service-, oder Inspektionsprozesse wie auch Aus- und Weiterbildungen zu verbessern. Hierbei ist es zudem notwendig, eine geräteübergreifende Kommunikation sowie Nutzbarkeit zu realisieren. So kann sichergestellt werden, dass endgeräteunabhängig Prozesse ablaufen können und die notwendigen Informationen stets zum richtigen Zeitpunkt für einen entsprechenden Kreis von Mitarbeitern zugänglich sind.

7. Minimierung von Redundanten Daten und der Fehleranfälligkeit

In erster Linie bedingt durch den fehlenden Austausch und die fehlende Standardisierung kommt es zu einer mehrfachen Generierung von Daten. Dies führt zum einen zu einer Auslastung von Kapazitäten und erschwert das Finden der richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Bedingt durch fehlende Transparenz und Redundanzen wird auch die Anfälligkeit von Fehlern gesteigert. Besonders die unabhängige Datenerzeugung bei den einzelnen Akteuren ohne Validierung zu bereits bestehenden Umfängen trägt zu einer Fehleranfälligkeit bei. Diese Fehleranfälligkeit kann auch ausgenutzt werden und für Manipulationen genutzt werden. Diese Defizite liefern zugleich auch die notwendigen

Anforderungen an ein Konzept, um die Serviceprozesse im Automotive After Sales zu optimieren.

3.3 Bereits realisierte Ansätze zur Digitalen Transformation im Automotive Aftersales

Die vorgestellten Entwicklungen des Aftersales basieren auf den Anforderungen interner wie auch externer Entwicklungen. Um auf diese zu reagieren, ist die Digitale Transformation eine Handlungsmethode, welche auch bereits in Unternehmen identifiziert und in Konzepten realisiert wurde. Einige Konzepte, welche zum Entstehungszeitpunkt dieser Arbeit bereits publiziert und kommuniziert wurden, sollen im Folgenden vorgestellt werden. Grundsätzlich vollziehen zum Entstehungszeitpunkt der Arbeit ein Großteil der Unternehmen in der Automobilbranche einen Wandel hin zu softwaregetriebenen Dienstleistern mit elektrifiziertem Produktportfolio. Eine verstärkte Software-Kompetenz und ein neues Herangehen in der Produktentwicklung (Systems Engineering) sowie weitere neue Strategien in Fertigung und Vertrieb der Produkte werden realisiert. (Kuhn und Nair 2022) Insbesondere lässt sich dieses Phänomen an den Stellenausschreibungen der Automobilhersteller verifizieren. Der klassische Ingenieurberuf verliert in dieser Branche zunehmend an Bedeutung. (VDI 2022) Der Fahrzeughersteller BMW hat im Werkstattbereich seine Annahmeprozesse optimiert und auch die Kommunikation mit dem Kunden zum Teil über Chatbots automatisiert. Der Kunde ist in der Lage, den aktuellen Stand seines Reparaturauftrages per App einzusehen. Gemäß BMW führt dies zu einer gestiegenen Kundenzufriedenheit bei geringeren Rückrufquoten. (Mehner 2019) Im Rahmen des Programmes „PDM 2020“ arbeitet die Daimler AG daran, seine IT-Systeme so zu verknüpfen, dass sich ein roter Faden durch die komplette Datenbankinfrastruktur zieht. Es gilt für jedes neue Fahrzeug einen digitalen Zwilling anzulegen, welcher eine durchgängige, integrierte Beschreibung der Produktstruktur aller Fahrzeuge, inklusive Hardwarekomponenten und Software beinhaltet. Hierbei stehen rollenbasierte Cockpits zur Verfügung, unabhängig vom vorgelagerten System. Neben Daimler internen Teams soll dies künftig auch vom Händlernetz genutzt werden. (Bretting 2020) Ein weiteres Beispiel für einen Ansatz zur digitalen Transformation liefert die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG. Auch hier steht der digitale Zwilling im Fokus der Betrachtung. Der Digitale Zwilling wird hier mit Echtzeitdaten des realen Objektes versorgt und liefert eine Übersicht über den Zustand des Fahrzeuges. Sollten sich Werte außerhalb eines Norm-Bereiches befinden, so kann direkt ein Termin mit der Werkstatt vereinbart werden, bevor es zum tatsächlichen Schadenseintritt

kommt. (Huber 2021) Auch eingebettete Telematik Lösungen ab Werk wie Audi Connect oder OnStar von Opel sind bereits verfügbar und sorgen für neue Geschäftsmodelle im Aftersales auf Basis der Fahrzeugvernetzung. Für ältere Fahrzeuge, die noch nicht internetfähig sind, gibt es Nachrüstlösungen in Gestalt von ODB-Adapttern. Sie werden z.B. von Herstellern und Zulieferern (z.B. Bosch) angeboten. Über die zugehörige APP können Daten des Anwenders zu bestimmten Servicepartnern übermittelt werden. (Hecker und Hurth 2017)

Die Daimler AG nutzt Mixed Reality Devices zur Optimierung von komplexen Werkstattprozessen im Aftersales. Zur Optimierung von Serviceprozessen wird mit Microsoft Dynamics 365 und der HoloLens 2 eine Remote Assist-Technologie implementiert, um die Effizienz der Servicetechniker zu verbessern, die Zeit bis zur Problemlösung zu verkürzen und die Kosten und Umweltauswirkungen servicebezogener Reisen zu reduzieren. (Microsoft Cooperation 2022)

4. Konzept zur digitalen Transformation des Automotive Aftersales

Die vorgestellten bisherigen Ansätze zur Realisierung der Digitalen Transformation im Automotive Aftersales haben allesamt eines gemeinsam. Sie gehen auf die Besonderheiten und Anforderungen des Automotive Aftersales ein, sie sind dabei allerdings als Nischenlösung für einen individuellen Teilbereich zu verstehen und decken nur einen kleinen Teil des Automotive Aftersales ab. So fokussieren die Ansätze stets eine Problematik im täglichen Geschäftsumfeld der Akteure und liefern hierfür eine Lösung. Es scheitert jedoch sowohl an einem einheitlichen Verständnis der Lösung, welches die Möglichkeit gibt, mehrere Akteure zu adressieren und Probleme zu thematisieren, als auch an einem fehlenden Austausch über die Unternehmensgrenzen hinweg. Auch die im Rahmen der intern- und extern getriebenen Entwicklungen des Automotive Aftersales abgeleiteten Transformationsansätze finden nur bedingt Einzug in bereits realisierte Konzepte. Dies lässt die Vermutung aufkommen, dass der Automotive Aftersales nur bedingt für die Zukunft gewappnet ist und es hier Neuerungen und Konzeptanpassungen bedarf. Die im Stand der Technik erläuterten Werkzeuge und Nutzerschnittstellen, welche zum Großteil dem Themengebiet Industrie 4.0 zugeordnet werden können, finden bislang auch nur bedingt Einzug in die genannten bereits realisierten Transformationsansätze. Ansätze wie der Digitale Zwilling oder auch PLM finden häufig bei den großen OEMs in vorgelagerten Prozessen des Produktlebenszyklus Verwendung, werden jedoch nur selten und unternehmensintern in nachgelagerte Aftersales Prozesse implementiert. Bei kleineren Akteuren des Aftersales sind diese Ansätze nahezu gar nicht zu finden. (Lobeck 2021) Auch Nutzerschnittstellen wie die Virtual – oder Mixed Reality spielen bislang nur eine untergeordnete Rolle. Insbesondere im Kontext des vereinfachten Zugangs zu Informationen oder für Schulungen haben diese ein großes Potential Aftersalesprozesse zu optimieren und zu beschleunigen. Es existieren zwar Untersuchungen und Implementierungsansätze in diesem Bereich, allerdings fehlt hier auch eine brauchbare, mehrwertgenerierende Einbindung in das Gesamtsystem.

Aus diesen Faktoren lässt sich festhalten, dass die bisherigen Konzepte unzureichend sind, um künftigen Entwicklungen des Automotive Aftersales gewappnet zu sein. Deshalb gilt es, ein neues Konzept zu entwerfen, welches einen möglichen Weg zeigt, künftig agieren zu

können. Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Ableitung eines konkreten Konzepts durch die Verdichtung von Informationen beschrieben.

4.1 Vorgehensweise und Hinleitung zum Konzept

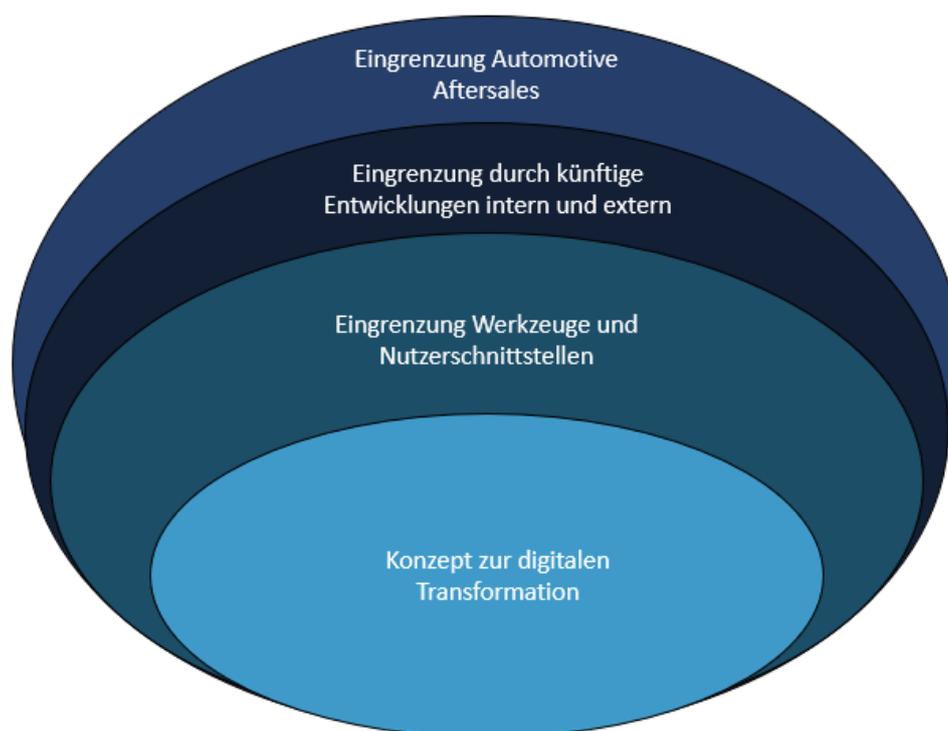


Abbildung 17: Zwiebelprinzip (eigene Abbildung)

Zur Annäherung an ein Lösungskonzept bedarf es einer sukzessiven Herangehensweise und der Verdichtung von Informationen. Hierzu wird das Zwiebelprinzip gemäß Abbildung 17 angewendet. Der Lösungsraum verdichtet sich hierbei immer weiter, bis die Rahmenfaktoren für eine Konzepterstellung abgeleitet werden können. Im von den einzelnen Schalen umrahmten Mittelpunkt ergibt sich das Konzept zur digitalen Transformation. Die äußere Schale in dem Modell bildet der Automotive Aftersales. Die Besonderheiten der Branche, die Akteure und auch das Umfeld wurden bereits im Rahmen der Grundlagen untersucht und finden Berücksichtigung bei der Konzepterstellung. Der Lösungsraum wird entsprechend auf die Bedürfnisse dieser Branche ausgerichtet. Durch die künftigen Entwicklungen des Automotive Aftersales sowohl interner als auch externer Art lässt sich der Lösungsraum weiter verdichten. Diese liefern einen weiteren Eckpfeiler und unterstützen dabei, zielgerecht handeln zu können. Vorgestellte Werkzeuge und Nutzerschnittstellen

grenzen das Lösungskonzept auf der nächsten Ebene ein. Diese zeigen, wie aktuelle Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 Prozesse optimiert werden können und sollen ebenso Einzug in das Konzept finden. Mit diesen Informationen lässt sich das Umfeld soweit verdichten, dass ein Konzept für die digitale Transformation des Aftersales generiert werden kann. Die einzelnen Schalen des Modells werden nun nachgelagert vorgestellt.

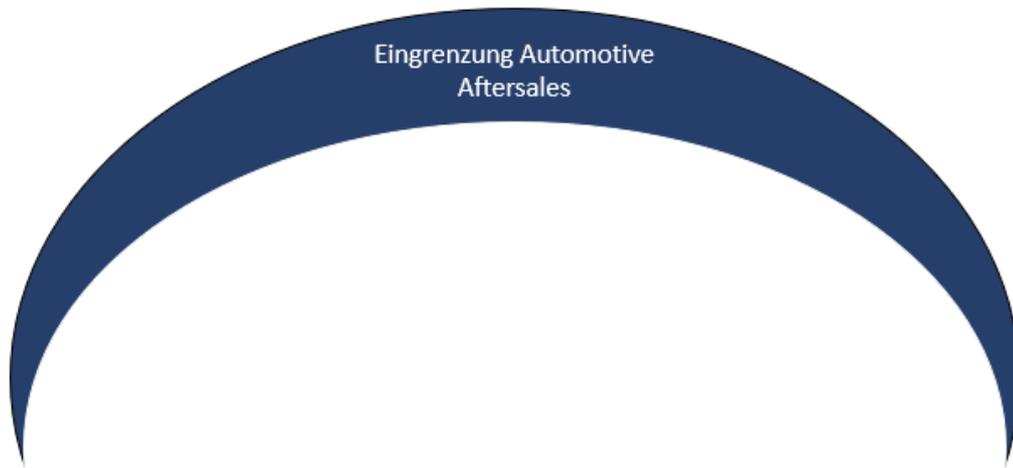


Abbildung 18: Schale Automotive Aftersales (eigene Abbildung)

Die Schale des Automotive Aftersales umfasst das Gesamtkonstrukt als limitierende Eingrenzung des Betrachtungsbereichs. Das Umfeld ist durch eine Vielzahl zum Teil sehr inhomogener Akteure geprägt, welche trotzdem eng vernetzt miteinander im Austausch stehen. Es gilt bei der Konzepterstellung die hohe Varianz dieses Marktes zu berücksichtigen und typische Prozesse und Handlungsketten dieser Branche in das Modell zu implementieren. Wichtig ist es hier, bereits die Entscheidung zu realisieren, eine gemeinsame (Daten)-Basis für alle Akteure zu schaffen.



Abbildung 19: Schale Entwicklungen /Werkzeuge und Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung)

Die Schalen der Eingrenzung durch künftige Entwicklungen sowie die Eingrenzungen durch Werkzeuge und Nutzerschnittstellen werden folgend zusammengefasst betrachtet. Beide genannten Schalen weisen untereinander starke Abhängigkeiten auf und werden in Kombination unter Berücksichtigung der Teildisziplinen der digitalen Transformation betrachtet:

- Kundenspezifische Digitalisierung
- Organisationsspezifische Digitalisierung
- Geschäftsmodellspezifische Digitalisierung

Hierbei steht im Fokus, die Inhalte der jeweiligen Schalen miteinander – und mit dem Konzept der digitalen Transformation in Zusammenhang zu bringen, Relevanzen abzuleiten und den Grundstein für das spätere Konzept zu legen. Es ergibt sich gemäß der durch die Vorbetrachtungen bestehenden Einschränkungen der folgende Arbeitsplan mit Bezug auf die übergeordneten Transformationsziele, den Anforderungen aus dem bisherigen Datenfluss und den Möglichkeiten durch die Implementierung neuartiger Werkzeuge und Nutzerschnittstellen:

- Kundenspezifische Digitalisierung
 - Serviceportal mit Bezug auf den digitalen Zwilling
 - 3D-Visualisierung
 - Innovative Nutzerschnittstellen

- Bezug zu den übergeordneten Transformationszielen 1.1, 1.3, 2.1, 2.4,3.1, 3.3, 4.0, 5.0, 6.0
- **Organisationsspezifische Digitalisierung**
 - Serviceportal mit Bezug auf den digitalen Zwilling
 - 3D-Visualisierung
 - Innovative Nutzerschnittstellen
 - Geräteübergreifende, standardisierte Prozesse
 - Prädiktive Instandhaltung
 - Bezug zu den übergeordneten Transformationszielen 1.1, 1.3, 2, 3, 4.0, 5.0, 6.0
- **Geschäftsmodellspezifische-Digitalisierung**
 - Anbindung und Verknüpfung aller Akteure im After Sales
 - Bezug zu den übergeordneten Transformationszielen 1.1, 1.3, 2, 3.1, 3.3, 4.0, 5.0, 7.0

Zur visuellen Darstellung und Verdeutlichung der Abhängigkeiten werden nun die übergeordneten Transformationsziele in Kombination mit den Maßnahmen des Arbeitsplanes betrachtet, um eine Aussage treffen zu können, welche Maßnahmen sich insbesondere zur Erfüllung der Aufgaben eignen und wie diese ineinander verzahnt greifen können. Hier ergibt sich die Darstellung gemäß der Abbildung 20.

	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.0	5.0	6.0	7.0	Summe
Digitaler Zwilling	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	14
Serviceportal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	13
3D-Visualisierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11
Innovative Nutzerschnittstellen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Geräteübergreifende, stand. Prozesse	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Prädiktive Instandhaltung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	5
Anbindung und Verknüpfung aller Akteure	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
Summe	6	3	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	

Abbildung 20: Abhängigkeiten ÜTZ / Maßnahmen (eigene Abbildung)

Betrachtet man die Abbildung, so ist zum einen eine starke Abhängigkeit aller Transformationsziele vom Digitalen Zwilling sowie zum anderen von einem Serviceportal zu verzeichnen. Beide Maßnahmen bieten daher das Potential, als zentrale Basis künftiger

Unternehmungen angesehen zu werden. So kann beispielsweise ein Serviceportal als Verwaltungsschale für den Digitalen Zwilling dienen und die dortigen Informationen für den Nutzer bzw. die Nutzerzielgruppen zugänglich machen. Um einer weiteren Anforderung gemäß den Transformationszielen gerecht zu werden, muss gewährleistet sein, dass sowohl das Portal als auch der Digitale Zwilling die Anbindung und Verknüpfung aller Akteure des Automotive Aftersales erlauben. So teilen sich alle Akteure des Automotive Aftersales die gleiche Datenbasis und können diese entsprechend nutzen und gemäß ihren Befugnissen erweitern. Hierbei ist zudem auf einen standardisierten Ablauf und auf standardisierte Dateiformate zu achten. Durch eine Implementierung der 3D-Visualisierung lassen sich weitere Anforderungen gemäß der Transformationsziele erfüllen. Insbesondere Betreuungsprozesse älterer Fahrzeuge und die Beherrschung von Komplexität im Rahmen neuartiger Fahrzeuge können diesbezüglich von einer 3D-Visualisierung komplexer Sachverhalte profitieren. Auch lässt sich in direkter Weise ein Bogen zurück zum Digitalen Zwilling spannen, welcher für die Ablage und Verwaltung der entsprechenden Informationen verantwortlich ist. Innovative Nutzerschnittstellen erlauben es, die vorgelagerten, definierten Inhalte einzusehen, mit ihnen zu interagieren und im bidirektionalen Austausch zu stehen. Mit einem ähnlichen Hintergrund lässt sich die prädiktive Instandhaltung implementieren, um insbesondere die Wartung von komplexen Fahrzeugen zu vereinfachen und Werkstattaufenthalte besser planen zu können. Final lässt sich festhalten, dass mit Blick auf die übergeordneten Transformationsziele die ausgewählten Werkzeuge und Nutzerschnittstellen eine Konzepterstellung ermöglichen.

Bevor es an die eigentliche Herleitung eines Konzeptes geht, sollen folgend noch die Abhängigkeiten der Maßnahmen untereinander untersucht werden.

	Digitaler Zwilling	Serviceportal	3D-Visualisierung	Innovative Nutzerschnittstellen	Geräteübergreifende, stand. Prozesse	Prädiktive Instandhaltung	Anbindung und Verknüpfung aller Akteure	Summe
Digitaler Zwilling								6
Serviceportal								5
3D-Visualisierung								4
Innovative Nutzerschnittstellen								4
Geräteübergreifende, stand. Prozesse								5
Prädiktive Instandhaltung								1
Anbindung und Verknüpfung aller Akteure								3
Summe	6	5	4	4	5	1	3	

Abbildung 21: Abhängigkeiten der Maßnahmen untereinander (eigene Abbildung)

Hierzu werden die einzelnen Maßnahmen auf Querverbindungen und Abhängigkeiten untereinander tabellarisch gemäß Abbildung 21 aufgetragen. Auch durch diese Betrachtung lässt sich der hohe Grad der Abhängigkeit aller Maßnahmen vom Modell des Digitalen Zwillingen und eines Serviceportals verifizieren. Auch das Serviceportal benötigt direkten Zugriff auf den Digitalen Zwilling und umgekehrt. So dient das Serviceportal als Verwaltungsschale der entsprechend in den Zwilling implementierten Daten. So können die Inhalte optimal verwaltet und zur Verfügung gestellt werden. Im Umkehrschluss profitiert der Zwilling durch die im Portal zusammenlaufenden Daten und kann durch diese angereichert werden. Ebenso wichtig bei dem Austausch der Maßnahmen untereinander sind geräteübergreifende sowie standardisierte Prozesse.

Dies bestätigt die Notwendigkeit, diese bei der Modellentwicklung in den Fokus der Betrachtung zu rücken und als zentrale Basis für die Anknüpfung weiterer Maßnahmen zu nutzen. Die 3D-Visualisierung kann ein Bestandteil des digitalen Zwillingen sein, ebenso können in dem Bereich Digitaler Zwilling / Serviceportal die Grundsteine für geräteübergreifende, standardisierte Prozesse gelegt werden. Innovative Nutzerschnittstellen können gekoppelt werden und auch die prädiktive Instandhaltung bietet das Potential, Bestandteil einer allumfänglichen Serviceplattform zu sein.

Mit den gewonnenen Kenntnissen gilt es nun ein Konzept zur digitalen Transformation des Automotive Aftersales herzuleiten, bei dem der Digitale Zwilling in Kombination mit einer

Serviceplattform im Fokus steht. Dies erlaubt es, die hergeleiteten übergeordneten Transformationsziele zu realisieren und bietet Akteuren des Automotive Aftersales die Chance, auch in der Zukunft handlungsstark agieren zu können.

4.2 Konzept zur Transformation

Auf Basis des vorgelagerten Kapitels wurde das Fundament geschaffen, um sich der letzten Schale des Zwiebelprinzips zu widmen und das Konzept zur Digitalen Transformation abzuleiten.



Abbildung 22: Schale Konzept (eigene Abbildung)

In Abhängigkeit von den Besonderheiten des Automotive Aftersales, interner wie externer Entwicklungen des Umfeldes sowie dem aktuellen Stand der Technik kann nun ein Konzept entwickelt werden, welches die Handlungsfähigkeit der Akteure auch in Zukunft sichern kann und Prozessschritte optimiert. Um dem Leser den Aufbau und die Struktur dieses Konzeptes näher zu erläutern, erfolgt zunächst eine grafische Darstellung dessen. Folgend werden die einzelnen Bestandteile näher betrachtet und hinterleuchtet. Hierbei erfolgt stets eine Beschreibung der aktuellen Situation, die Erläuterung von Verbesserungsoptionen sowie die Generierung eines Konzeptbausteines.

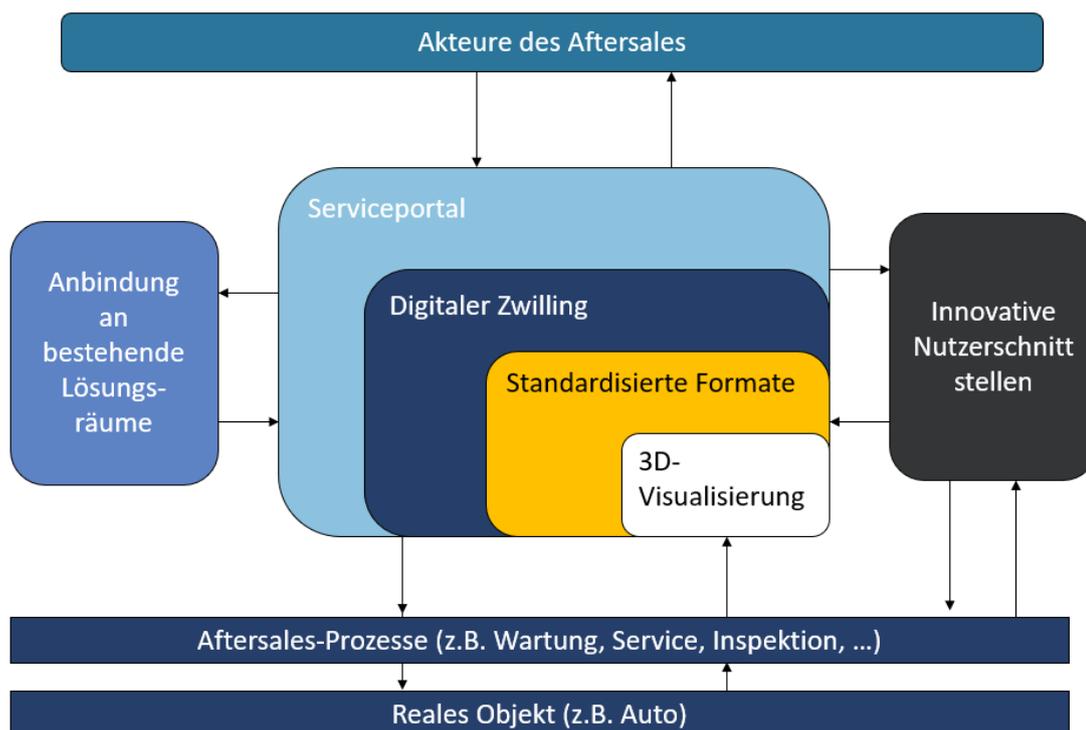


Abbildung 23: Konzeptskizze (eigene Abbildung)

Abbildung 23 zeigt die Konzeptskizze. Bei der Skizze steht der digitale Zwilling, umrahmt von einem Serviceportal als Verwaltungsschale, im Mittelpunkt des Modelles. Der Digitale Zwilling setzt dabei auf standardisierte Formate und erfüllt auch den Teilaspekt der 3D-Visualisierung seiner enthaltenen Informationen bzw. Modelle. Auch die prädiktive Instandhaltung wird künftig als Bestandteil des digitalen Zwillings gewertet und in diesen integriert. Angebunden an dieses Konstrukt finden sich die innovativen Nutzerschnittstellen wieder, welche in direkter Weise von den Daten des digitalen Zwillings profitieren und durch das Serviceportal koordiniert, selektiert und initiiert werden können. Ebenso erfolgt durch offene Schnittstellen eine Anbindung an bestehende Lösungsräume wie z.B. existierende Software- oder Hardwarelösungen. Auch bedingt durch standardisierte Formate und Prozesse wird dies gefördert und vereinheitlicht. Die einzelnen Bausteine sind dabei stets bidirektional gestaltet und erlauben somit sowohl das Lesen als auch das Schreiben von Daten. Wie der Grafik entnommen werden kann, richtet sich dieses Lösungskonzept an alle Akteure des Automotive Aftersales. Diese haben in Abhängigkeit ihrer Branche, ihrer Position und ihrer Befugnis unterschiedliche Rechte, auf das Portal zuzugreifen bzw. Informationen zu schreiben. Hier soll noch einmal vermerkt werden, dass künftig ein Portal für alle Akteure als ganzheitlicher Lösungsansatz im Fokus stehen soll. Aus dem Serviceportal hinaus oder über die innovativen Nutzerschnittstellen können typische

(Arbeits)-Prozesse des Automotive Aftersales initiiert werden. Zusammenfassend setzt das Konzept dabei auf die folgenden Bausteine:

- Digitaler Zwilling mit Serviceportal als Verwaltungsschale: Standardisierte Formate, 3D-Visualisierung und prädiktive Instandhaltung
- Interaktive, intuitive Nutzerschnittstellen
- Einbettung von Schnittstellen zu bereits bestehenden Lösungskonzepten
- Anbindung aller Akteure

Die einzelnen Bausteine des Konzeptes sind hierbei nicht als Insellösungen zu verstehen, sondern greifen ineinander und bilden das Gesamtkonzept. Im Folgenden werden nun die einzelnen Bestandteile des Konzeptes näher beschrieben. Dies erlaubt dem Leser einen detaillierten Einblick in die einzelnen Module und deren vernetzte Funktionsweise.

4.2.1 Kernbaustein

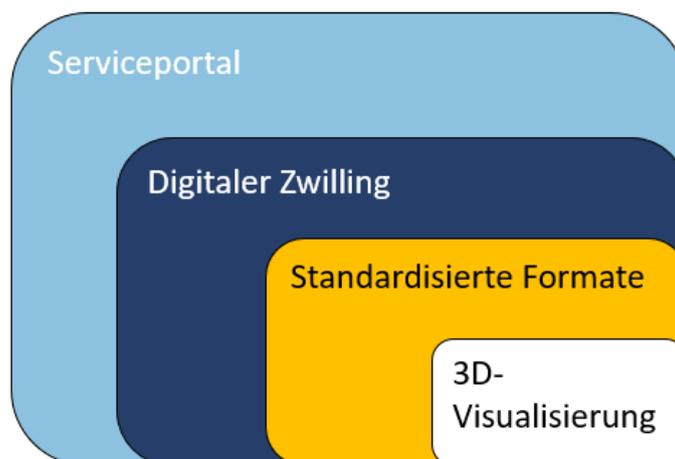


Abbildung 24: Kernbaustein des Konzeptes (eigene Abbildung)

Initial wird der innere Kern des Konzeptes beschrieben. Dieser besteht aus dem Digitalen Zwilling, der einen Baustein mit standardisierten Dateiformaten sowie einen weiteren Baustein mit der 3D-Visualisierung beinhaltet. Eingebettet ist der Digitale Zwilling in einem Serviceportal, welches die optimale Steuerung und Verwaltung des Digitalen Zwillings ermöglicht. Durch verschiedene Nutzergruppen mit unterschiedlichen Rechten im Lese- und Schreibmodus stehen stets die richtigen Informationen zur richtigen Zeit für alle Akteure des Automotive Aftersales zur Verfügung. Die einzelnen Inhalte dieses Modules sollen nun folgend beschrieben werden.

4.2.1.1 Digitaler Zwilling

In den Mittelpunkt künftiger Betrachtungen rückt der Digitale Zwilling. Bei der Digitalisierung im Automotive Aftersales nimmt der Digitale Zwilling eine zentrale Basis für die Verwaltung und Koordination von Daten ein. Der Zwilling dient als zentraler Speicher aller wesentlichen kunden-, fahrzeug- und servicebezogenen Informationen.

Wie sich in den bereits realisierten Ansätzen zur digitalen Transformation entnehmen lässt, existieren Ansätze zur Digitalen Transformation unter Verwendung und Implementierung des digitalen Zwillings. Diese Ansätze zeichnen sich stets durch eine limitierte Reichweite und ein limitiertes Anwendungsszenario aus. So wird zum Beispiel ein digitaler Zwilling innerhalb der Unternehmensgrenzen realisiert und erlaubt es, neben der Produktentwicklung auch beim Hersteller angesiedelten Teilbereichen die Vorteile eines durchgängigen, virtuellen Produktmodelles auszuschöpfen. Allerdings gibt es kaum Ansätze, einen solchen digitalen Zwilling über den kompletten Lebenszyklus hinweg auch unternehmensübergreifend einzusetzen. Auch die Visualisierung von 3D-Daten steht bei bisherigen Ansätzen und Konzepten nicht im Fokus der Betrachtung.

Um den Mehrwert des Digitalen Zwillings zu erhöhen, ist es notwendig, künftig eine vertikale Integration und somit eine Kombination zwischen Performancemodell und Visualisierungsmodell zu realisieren, um ihn auch in einer immersiven Umgebung wie der Extended Reality nutzen zu können. Durch den Digitalen Zwilling ergibt sich eine einheitliche Verwaltungsebene für den gesamten Produktlebenszyklus. Redundante Daten, die z.B. durch das doppelte Pflegen von Kundensätzen bei unterschiedlichen Akteuren des Automotive Aftersales entstehen, können so vermieden werden. Auch wird eine neue Ebene von Transparenz geschaffen. Daten, welche innerhalb des virtuellen Produktmodelles abgelegt werden, können so abgespeichert und verschlüsselt werden, sodass eine Manipulation nahezu ausgeschlossen ist. Es gilt ein neues Verständnis zu kreieren und eine gemeinsame Datenbasis zu schaffen, welche von allen Akteuren gemeinsam genutzt und auch gepflegt werden kann. Neben der reinen Ablage steht auch die Visualisierung von 3D-Modellen als ein Bestandteil im Mittelpunkt.

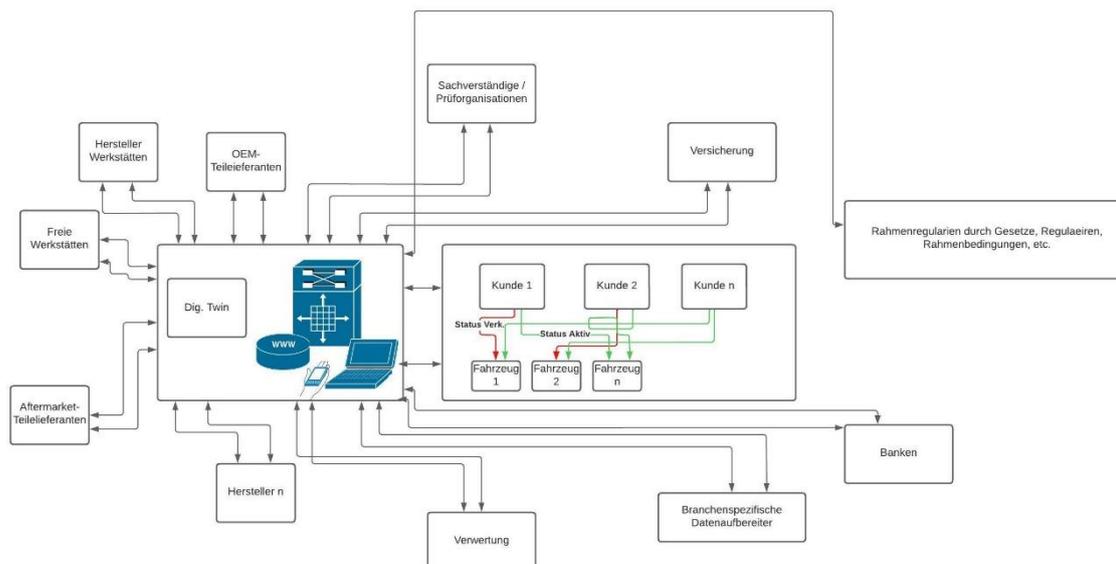


Abbildung 25: Verbesserter Datenfluss (eigene Abbildung)

Abbildung 25 zeigt, dass der durch die Abhängigkeiten zwischen den Beteiligten bedingte Datenfluss durch das Konzept verschlankt werden kann. So bietet der Digitale Zwilling einen zentralen Sammel- und Verwaltungspunkt für die anfallenden Daten. Redundanzen können so vermieden und Fehler reduziert werden.

Der Aufbau des Zwillings im Sinne des Konzeptes erfolgt dabei nach dem Prinzip der erläuterten Verwaltungsschichten (siehe Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0). Analog zu den industriellen Assets innerhalb des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 werden hierbei Kunde und Fahrzeug als Assets betrachtet. Eine Unterteilung des Service-Modells erfolgt hinsichtlich Wartung, Reparatur und Begutachtung, sodass sowohl reguläre als auch zufällige Ereignisse abgedeckt werden. Zur Erreichung einer unabhängigen Verifizierung und einem Schutz vor Manipulation kann beispielsweise eine Smart Contract fähige Blockchain angebunden werden. Auch das durchgängige Tracking von Komponenten im Rahmen der Wiederverwendung von Gebrauchtteilen wird hierdurch ermöglicht. Darüber hinaus werden über Smart Contracts automatisierte Änderungen der Modelle realisiert, welche einen historisch nachvollziehbaren Ablauf der Geschäftsprozesse mit Bezug zum Digitalen Zwilling unterstützen. In bisherigen Konzepten und Realisierungsansätzen des Digitalen Zwillings spielt die Visualisierung bislang eine untergeordnete Rolle. Folgend wird dargestellt, wie die Visualisierung von 3D-Daten in direkter Weise in die Gesamtbetrachtung des digitalen Zwillings implementiert werden kann. Die in den digitalen Zwilling integrierten Visualisierungsdaten können dabei vielschichtigen Ursprungs sein. Im Optimalfall liegen CAD-Daten vor, welche im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses

generiert worden sind und Bestandteil des virtuellen Produktmodelles sind. Diese können für nachgelagerte Prozesse genutzt und in ein einheitliches, für verschiedenste Akteure nutzbares Format konvertiert werden. Sollten keine solche Daten vorliegen, so können diese neu erzeugt werden, beispielsweise durch 3D-Scans oder andere Reverse Engineering-Verfahren. Eine weitere Möglichkeit liefert die Nutzung von unabhängigen, parametrisch konstruierten Modellen, welche schemenhaft die Geometrien unter der Berücksichtigung von modellabhängigen Ausprägungen, am Beispiel des Automobils Radstand, Motorposition etc., zur Verfügung stellen. Bei vorhandenen CAD-Daten stehen die geometrischen Informationen im Vordergrund, da sie für die maßgetreue Bearbeitung und Abbildung ausgelegt sind. Diese werden durch geeignete Datenstrukturen wie z.B. B-Rep und CSG im System abgebildet und ermöglichen eine Bearbeitung der Geometrie unter Einhaltung der Maßgenauigkeit und gegebenenfalls der Parametrik. Zur visuellen Darstellung und Nutzung dieser Daten hat eine Umwandlung der Geometrie in ein Polygonmodell oder in Rastergrafiken zu erfolgen. Bei der Erstellung von CAD-Modellen erfolgt diese Umwandlung zur Darstellung des Modells im Hintergrund, ohne dass der Konstrukteur etwas davon mitbekommt. Für die Entwicklung von 3D-Anwendungen im Kontext der Visualisierung liegt es jedoch in der Verantwortung des Entwicklers, für die Anwendung optimierte Polygonmodelle zu verwenden. Je besser nun die Qualität bzw. der Grad der Annäherung an die wahre Geometrie sein soll, desto mehr Datenpunkte zur Abbildung des Modells müssen erzeugt und dargestellt werden. Unter einer allzu hohen Anzahl an Datenpunkten leidet parallel allerdings die Performance. Neben der reinen Geometriedarstellung müssen auch vorhandene Verknüpfungen im Rahmen der Baugruppenerstellung konvertiert werden, sodass diese bei der späteren Visualisierung nicht erneut generiert werden müssen. Auch Animationen und Texturen sollen auf die Polygonebene überführt werden. Zur Abdeckung der Anforderungen wird das .glTF-Format gewählt. Dabei handelt es sich um ein standardisiertes, lizenzfreies Dateiformat für Szenen und Modelle. Dabei stehen eine minimale Dateigröße, die Implementierung von Assets sowie eine optimierte Laufzeitverarbeitung im Mittelpunkt. (The Khronos Group 2020) In dieses Format konvertierte CAD-Modelle können anschließend in einen 3D ModelViewer oder in die Extended Reality eingebunden werden und besitzen den Vorteil, plattformunabhängig zu sein. Um CAD-Modelle möglichst automatisiert in dieses Format zu überführen, bedarf es Tools, welche direkt in den digitalen Zwilling integriert werden und die Daten automatisch für das entsprechende Endscenario konvertieren. Da solche Tools auf dem Markt nicht verfügbar sind, bedarf es der Entwicklung eines dafür geeigneten

Konverters, welcher CAD-Dateien samt zugehöriger Bewegungsanimationen und Texturierung in das .glTF-Format exportiert und sich in das Konzept des digitalen Zwillings integriert.

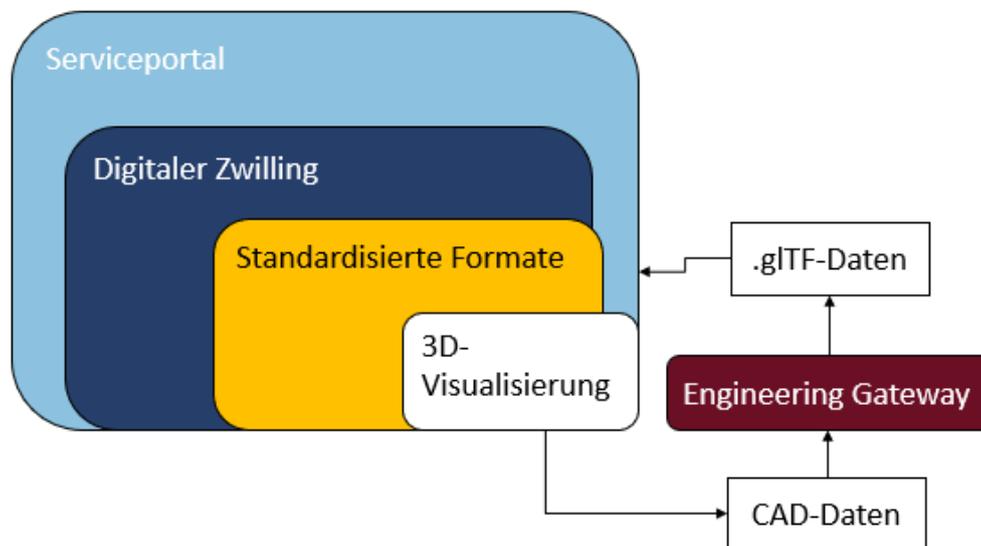


Abbildung 26: Kernmodul mit Engineering Gateway (eigene Abbildung)

Abbildung 26 zeigt den in das Kernmodul integrierten Konverter, das sogenannte Engineering Gateway. Mit dieser Vorgehensweise und dem neutralen .gltf-Format wird als Baustein innerhalb des digitalen Zwillings die Basis geschaffen für eine geräteunabhängige und plattformübergreifende 3D-Visualisierung. So können die hier geschaffenen Daten in verschiedensten Prozessen, beispielsweise auch bei der Verwendung von innovativen Nutzerschnittstellen eingesetzt werden. Die Ausarbeitung des Konverters ist Bestandteil der Konzeptvalidierung und wird im Rahmen des Kapitels 5 vorgestellt.

Die prädiktive Instandhaltung soll den letzten Baustein des Kernmoduls liefern. Sie zielt auf die Vorhersage des Auftretens kritischer Fahrzeugzustände auf der Basis historischer Daten des Digitalen Zwillings sowie Sensordaten des realen Objekts, wodurch deren tatsächliches Auftreten mit Hilfe entsprechender Maßnahmen verhindert werden kann. Dies kann insbesondere durch die Implementierung von KI-Ansätzen direkt in den Zwilling realisiert werden. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, klassische Servicepläne zu ergänzen, um die Wahrscheinlichkeit kritischer Fahrzeugzustände zu reduzieren, zum anderen aber auch Servicepläne hinsichtlich einer Effizienzsteigerung und damit die Vermeidung von Ressourcenverschwendung zu optimieren. Die hier generierten Daten können in direkter Weise Einzug in die Verwaltungsebene des Digitalen Zwillings finden und die dortigen Systeme bereichern.

Viele Unternehmen wie Microsoft, Amazon oder SAP bieten Lösungen zur praktischen Realisierung eines digitalen Zwillings an. Typischerweise basieren diese Lösungen auf einem IOT-Hub, der in der Lage ist, Echtzeitdaten von einer großen Anzahl von Geräten zu integrieren. Diese IOT-Hubs können so konfiguriert werden, dass sie physische Geräte ohne Programmieraufwand verwalten. Auf Basis von HTTP und MQTT stehen standardisierte Kommunikationsschnittstellen zur Verfügung, die eine bidirektionale Kommunikation realisieren können.

4.2.1.2 Serviceportal

Ein essenzieller Bestandteil bei dem Konzept zur digitalen Transformation im Automotive Aftersales ist die Realisierung eines Serviceportals, auf welches alle Akteure des Automotive Aftersales Zugriff haben. Der vorab vorgestellte Digitale Zwilling steht im Fokus der Betrachtung bei der Erstellung des Gesamtkonzeptes. Allerdings kann dieser nicht zum Selbstzweck eingesetzt werden, sondern soll bestehende Prozesse erleichtern und optimieren. Hier liefert das Serviceportal eine entsprechende Verwaltungsschale, die den Zwilling umrahmt und das Interagieren mit diesem erlaubt. So kann der Nutzer über verschiedene Übersichten und Modi den Zwilling einsehen, Informationen lesen und schreiben, aber auch durch Schnittstellen zu bestehenden Systemen und innovativen Nutzerschnittstellen beispielsweise eine Verlinkung zu realen Objekten herstellen.

Auf dem Markt verfügbare Serviceportale sind bis dato vor allem als Insellösungen in verschiedenen Branchenzweigen des Automotive Aftersales im Einsatz. Hier wird zum Großteil auf fertige Lösungskonzepte gesetzt, welche dann auf die jeweiligen Bedürfnisse der Akteure angepasst werden. Hier steht allerdings stets eine branchen- und problemspezifische Lösung im Mittelpunkt. Sollte der Lösungsansatz eines Digitalen Zwillings bereits in solche Portale integriert worden sein, so erfüllt dieser die Mindestanforderung zur Lösung des anfallenden Geschäftsprozesses. Ein Lösungsansatz mit einem einheitlichen, branchen- sowie unternehmensübergreifenden Zwilling ist bis dato nicht gegeben. Auch die 3D-Visualisierung spielt bislang in solchen Serviceportalen eine nahezu untergeordnete Rolle und auch eine Endgeräte übergreifende Nutzung ist nur bedingt möglich.

Der Aufbau eines solchen übergreifenden Portals, bei welchem die Beseitigung der angesprochenen Defizite im Fokus steht, wird im Folgenden beschrieben. Grundsätzlich

dient ein solches Portal vorrangig als Verwaltungsebene des Digitalen Zwillings und liefert in Abhängigkeit der jeweiligen Zugangsrechte mit einem Dashboard die relevanten Informationen zu einem spezifischen Anwendungsfall. Ebenso liefert es die Anbindung zu verschiedenen Nutzerschnittstellen und stellt auch Schnittstellen zu bereits bestehenden Lösungsräumen. Verschiedene Workflows und Abläufe lassen sich mit einer solchen Plattform als zentrale Basis realisieren. Sichergestellt wird hierdurch zum einen die stete automatische Verfügbarkeit relevanter Funktionen der Plattform und Informationen des Digitalen Zwillings und anderer Informationsquellen innerhalb entsprechender Arbeitsprozesse, zum anderen aber auch deren einfaches Überwachen und die Rückführung wesentlicher Informationen, welche innerhalb der Arbeitsprozesse generiert und verarbeitet werden. Bei der Erstellung der Plattform gilt es, die Anzahl unterschiedlicher Endgeräte zu berücksichtigen. Um dem Leser einen Einblick in den Aufbau einer solchen Plattform zu geben, soll im Folgenden der Workflow anhand von nachfolgenden Arbeitsprozessen definiert werden. Im Rahmen einer Auftragserstellung innerhalb der Plattform können herkömmliche Computer als Endgeräte eingesetzt werden, um den jeweiligen Auftrag zu definieren und dabei alle erforderlichen Daten für die anschließende Vorbereitung und Durchführung von Service-, Wartungs- oder Inspektionsarbeiten zu sammeln. Ergänzend zu herkömmlichen Computern als Endgeräten können bei der nachgelagerten Vorbereitung z.B. Virtual Reality Brillen eingesetzt werden, sodass über den Workflow und den digitalen Zwilling eine Kopplung zwischen unterschiedlichen Endgeräten realisiert wird. Analog hierzu wird im Rahmen der Durchführung von Service-, Wartungs- oder Inspektionsarbeiten auf herkömmliche Computer und Augmented Reality Brillen als Endgeräte zurückgegriffen. Die Definition der Aufträge erfolgt dabei mit Hilfe des Digitalen Zwillings und dem dort integrierten Kunden-, Fahrzeug- und Servicemodell. Festgestellte Schäden und Mängel sind dabei entweder bereits mit entsprechenden Informationen dem Fahrzeug Modell des Digitalen Zwillings zugeordnet oder können dort ergänzt und beschrieben werden. Im Falle einer Beschreibung erfolgt deren Interpretation und Zuordnung zum Fahrzeugmodell des Digitalen Zwillings sowie die anschließende Definition entsprechender Reparaturmaßnahmen. Ein Bestandteil der Plattform stellt der interaktive 3D-Fahrzeugviewer dar. Durch das Setzen von mit Notizen versehenen Markierungen an ein an das Fahrzeug Modell des digitalen Zwillings gekoppeltes Visualisierungsmodell, werden individuelle Reparaturmaßnahmen räumlich zugeordnet, wobei zwischen Maßnahmen des Service Modells und freien Maßnahmen unterschieden wird. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung von Service-, Wartungs- oder

Inspektionsarbeiten vom ausführenden Personal eine einfache und überblickende räumliche Zuordnung am realen Fahrzeug erfolgen kann. Wurden alle Maßnahmen definiert, so können ihnen innerhalb eines in die Plattform integrierten Konfigurator für Aufträge ausführende Ressourcen zugewiesen werden, welche für die Vorbereitung und Durchführung von Service-, Wartungs- oder Inspektionsarbeiten zuständig sind. Die Vorbereitung erfolgt zunächst mit Hilfe eines Ansichtsassistenten für Aufträge mit direktem Bezug auf den digitalen Zwilling. Zur Übersicht des Auftrags bietet dieser eine optische Übersicht der Soll- und Ist-Zustände des Fahrzeugs mit Hilfe eines 3D-Viewers. Beim 3D-Modell werden hierbei vom Auftrag betroffene interaktive Fahrzeugbestandteile visuell hervorgehoben und bieten die Möglichkeit, durch deren Auswahl genauere Informationen zum entsprechenden Fahrzeugbestandteil bzw. zu diesbezüglichen erforderlichen Reparaturmaßnahmen aufzurufen. Auch im Rahmen der Konfiguration von Aufträgen gesetzte Markierungen werden im 3D-Modell angezeigt und bieten eine analoge Funktionalität. Zur Ermöglichung eines vom konfigurierten Auftrag unabhängigen Überblicks vom Fahrzeug lässt sich der durch den Auftrag vordefinierte Filter für den Digitalen Zwilling deaktivieren, wodurch im Rahmen der Auflistung und des 3D-Viewers ein Zugriff auf alle Bestandteile des Fahrzeuges und dessen Ist-Zustand geboten wird. Nicht vom Auftrag betroffene Bauteile sind hierbei entsprechend visuell gekennzeichnet. Zur Überführung vom aktuellen Fahrzeugzustand in den definierten Soll-Zustand wird der erforderliche Arbeitsplan definiert. Die Reihenfolge erfolgt hierbei zum einen automatisch durch im Service Modell enthaltene Abhängigkeiten zwischen den Maßnahmen, zum anderen frei definierbar durch individuelle Maßnahmen oder vorhandene Freiheitsgrade im Service Modell. Eine Zuordnung von zur Vorbereitung (Virtual Reality Fahrzeug-Viewer) bzw. Durchführung von Arbeiten nötigen Dokumenten wie Reparaturanleitungen und Bildern kann sowohl bzgl. Arbeitsvorgangsabfolgen und einzelner Maßnahmen als auch in Bezug auf durch diese referenzierte Fahrzeugbestandteile erfolgen. Weiterhin können den Arbeitsvorgangsabfolgen und Reparaturmaßnahmen, analog zu den ausführenden Ressourcen, operative Ressourcen zugebucht werden. Neben Ersatzteilen aus dem Werkstattlager, dem Großhandel und Gebrauchtteilen aus Demontagebetrieben, zählen hierzu auch Werkzeuge, Hilfsmittel und Hilfsstoffe sowie Fachpersonal, welches bei der Durchführung von Aufträgen unterstützen kann. Auch eine Schnittstelle zur generativen Fertigung ist innerhalb der Plattform vorgesehen. So können die aufbereiteten, in den digitalen Zwilling integrierten 3D-Visualisierungsdaten auch für die generative Fertigung genutzt werden und im Falle eines nicht verfügbaren Bauteils kann der Prozess der generativen Fertigung direkt initiiert werden. Über das Portal kann hierbei

eine entsprechende Planung, Koordination und Initialisierung erfolgen. Als Abschluss der Vorbereitung von Service-, Wartungs- und Inspektionsarbeiten dient der von mehreren Personen parallel nutzbare Virtual Reality Fahrzeug-Viewer mit an das Fahrzeugmodell des Digitalen Zwillinges gekoppeltem spezifischem 3D-Modell des Fahrzeugs. Dieser bildet die Verknüpfung zu einer weiteren Nutzerschnittstelle. Hier können Arbeitsvorgänge und Besonderheiten des jeweiligen Fahrzeuges begutachtet werden, Reparaturen geübt werden und Vorbereitungen getroffen werden. Dieser Schritt eignet sich auch insbesondere für das Trainieren von Lehrkräften oder das Anlernen unabhängiger Hilfskräfte, bevor diese am realen Objekt Arbeiten ausführen. Durch den kooperativen Gedanken dieser Lösung können auch Experten hinzugeholt werden und Arbeitsschritte vorbereitend virtuell überprüft werden. Das hierdurch geschaffene Verständnis des Fahrzeugs bzw. der Arbeitsmaßnahme in der virtuellen Umgebung kann dazu beitragen, mögliche Probleme im Voraus zu klären und deren Auftreten im Rahmen der Durchführung dieser Arbeiten zu vermeiden, wodurch insgesamt Zeit und Kosten eingespart werden.

Bei der Durchführung von Arbeiten kann aus dem Portal hinaus der Augmented Reality Assistent gestartet werden. Dieser bildet die Verknüpfung zu einer weiteren Nutzerschnittstelle. Mit deren Hilfe wird das Fahrzeugmodell des Digitalen Zwillinges dem realen Fahrzeug überlagert. So können Reparaturleitfäden, Echtzeitinformationen und Fehlerlösungsansätze in interaktiver, dreidimensionaler Form aus dem Digitalen Zwilling auf das reale Objekt mit direktem Bezug zur korrekten Position übertragen werden. Im Rahmen der Extended Reality Nutzerschnittstelle wird hierauf weiterführend eingegangen. Wurde der Auftrag erledigt, erhält der Kunde sein Fahrzeug zurück. Mit Bezug auf den Digitalen Zwilling kann über das Portal eine Abrechnung erfolgen, welche alle den Auftrag betreffenden, wesentlichen Informationen beinhaltet. Auch die Wiederverwendung von Gebrauchtteilen kann über eine Serviceplattform gesteuert und optimiert werden. So können zu recycelnde Fahrzeugbestandteile einem virtuellen Fahrzeug gleichen Typs zugeordnet und entsprechend umgebucht werden. Über einen dezentralen Marktplatz werden Fahrzeugbestandteile angeboten und transferiert. Sobald diese im Rahmen eines Kundenauftrags im betroffenen Fahrzeug eingebaut wurden, erfolgt deren entsprechende Zuordnung und Umbuchung. Eine Anbindung von freien Gutachtern und Prüforganisationen besteht zum einen zur Übermittlung aller erforderlichen Maßnahmen und diesbezüglicher Informationen an die kooperierenden Werkstätten, zum anderen aber auch hinsichtlich des gezielten Bezugs von Informationen zur unterstützten Durchführung von Hauptuntersuchungen und der Begutachtung von Fahrzeugen. Der gezielte Bezug von

Informationen hinsichtlich der unterstützten Durchführung einer Hauptuntersuchung erfolgt ebenso über das Portal und die dort integrierten Informationen des Digitalen Zwillings. Hauptuntersuchungen können so zielgerichtet und somit ressourcenschonender durchgeführt werden. Der Assistent in der Augmented Reality kann analog zum Einsatz in den Werkstätten dazu genutzt werden, Prüfprozesse zielgerecht zu beschleunigen und die richtigen Informationen am richtigen Ort zugänglich zu machen. Analog hierzu wird auch freien Gutachtern ein Zugang zu dieser Serviceplattform ermöglicht, wo unter Zuhilfenahme der im Digitalen Zwilling abgelegten Informationen die Ermittlung von Vor- und Altschäden vereinfacht wird und der allgemeine Fahrzeugzustand hinsichtlich des Fahrzeugwerts besser beurteilt werden kann. Wurden schließlich von einer Prüforganisation erhebliche Mängel am betroffenen Fahrzeug festgestellt, so können diese als entsprechende Maßnahme an das Fahrzeug bzw. Service Modell des Digitalen Zwillings übermittelt werden. Ermöglicht wird hierdurch zum einen ein fälschungssicherer digital verwertbarer Untersuchungsbericht, zum anderen aber auch die anschließend diesbezüglich nachvollziehbare und effiziente Beseitigung festgestellter Mängel durch die Werkstätten, durch welche die Relevanz einer nochmaligen Fahrzeugvorführung sinkt und entsprechende Ressourcen eingespart werden können.

Umgesetzt wird die Anwendung in der Programmiersprache C# und basiert auf der .NET-Framework Technologie. Sie besteht aus einer Dokumentenverwaltung für die verschiedenen Dateien des Digitalen Zwillings, die dynamisch in die Anwendung geladen werden. Die Metadaten werden in einer SQL-Datenbank verwaltet. Die Kommunikation der Anwendung ist in Webservices implementiert und die Integration von IOT-bezogenen Informationen und Echtzeitdaten physikalischer Geräte kann über verschiedene Protokolle wie MQTT, OPC-UA, OBD-2 und CAN erfolgen. Bei Verwendung des Portals wird immer auf dieselben Daten zurückgegriffen, aber der Nutzer kann über unterschiedliche Endgeräte wie z.B. PC, Smartphone oder HoloLens arbeiten. Die jeweiligen Front Ends unterscheiden sich dabei in dem Informationsgehalt und Immersionsgrad.

Insgesamt zeigt sich, dass mit Hilfe eines Serviceportals die Inhalte des Digitalen Zwillings optimal verwaltet und zugänglich gemacht werden können. Nutzer können mit unterschiedlichen Zugriffsrechten auf ein solches Portal zugreifen und abhängig von ihren Rechten Lese- und Schreibaktionen durchführen. Typische Prozesse des Automotive Aftersales können mit Hilfe des beschriebenen Portals interaktiv abgedeckt werden und mit dem zusätzlichen Aspekt der 3D-Visualisierung angereichert werden. Dabei steht bei dem

Portal nicht der Selbstzweck im Mittelpunkt. Vielmehr generiert es einen Mehrwert und hilft dabei, bestehende Prozesse zu optimieren und Arbeitsschritte und Abläufe zu erleichtern. Auch der Aspekt der angebundenen Nutzerschnittstellen ist in der Betrachtung hervorzuheben. Durch neue, interaktive Benutzerschnittstellen, die über ein solches Portal koordiniert und initiiert werden, bietet sich ebenso die Möglichkeit, Einfluss auf Arbeitsschritte zu nehmen. Diese Nutzerschnittstellen profitieren vorrangig von den Daten des Digitalen Zwilling, welche es jedoch aufzubereiten gilt, sodass diese innerhalb der Verwaltungsschale Serviceplattform erst optimal zugänglich für die Nutzerschnittstellen werden. Die Realisierung eines solchen Serviceportales kann unter Zuhilfenahme der in den Grundlagen vorgestellten Webanwendung erfolgen. Eine konkrete Realisierungsmaßnahme wird in Kapitel 5 – Umsetzung und Validierung des Konzeptes – erläutert.

4.2.2 Anbindung an bestehende Lösungsräume

Die Anbindung an bestehende Lösungsräume ist eine notwendige Voraussetzung für die vollständige Funktion und auch die Schaffung einer Nutzerakzeptanz für den Kernbaustein. Nur so kann das Lösungskonzept als vollständige, einheitliche Lösung angesehen werden und dient nicht nur der Optimierung für unterschiedliche Nischen. Insbesondere PLM-Systeme, welche bei den Unternehmen zum Einsatz kommen, bieten das Potential, mit der dortigen Wissensbasis den Digitalen Zwilling anzureichern und mit den notwendigen Informationen zu verknüpfen. So können diese vorgelagerten Systemlösungen, welche bislang in der Produktentwicklung eingesetzt werden, auch sinnvoll in Aftersales Prozesse integriert werden und auch unter dem Aspekt der Bedienerfreundlichkeit für entsprechende Zielgruppen aufgearbeitet werden. Der Digitale Zwilling muss mit dem bisherigen Konzept PLM zu einer Einheit verschmelzen, welche abteilungs- wie auch unternehmensübergreifend eingesetzt wird. Durch intelligente Machine-Learning Ansätze kann so ein allumfängliches virtuelles Produktmodell mit allen notwendigen Informationen generiert werden. Auch die direkte Anbindung von 3D-Produktentwicklungsprogrammen wie beispielsweise CAD oder Unity sollten mit einer direkten Schnittstelle vorgesehen werden, damit dort stattfindende Prozesse in direkter Weise integriert werden können. Die Integration von weiteren Systemlandschaften ist denkbar und über einheitliche Datenaustauschformate und offene Schnittstellen über verschiedene Protokolle wie MQTT, OPC-UA, OBD-2 und CAN realisierbar. Auch aftersalesseitig genutzte Auftragssysteme, Apps oder weitere Softwarelösungen bieten das Potential, sofern sie durch den Einsatz des

Serviceportals nicht redundant sind, in die Systemlandschaft mit einzufließen. Auch Nutzerschnittstellen, die bereits Bestandteil des Automotive Aftersales sind, haben das Potential, weiter verwendet zu werden. So werden beispielsweise für das Auslesen von Emissionswerten komplexe Diagnosegeräte verwendet, welche per Schnittstelle angebunden werden können.

4.2.3 Innovative Nutzerschnittstellen

Folgend auf den Kernbaustein des Konzeptes soll nun der Fokus auf die innovativen Nutzerschnittstellen gelegt werden, welche als Mensch-/Maschineschnittstelle des Konzeptkernes gesehen werden können.



Abbildung 27: Modul Innovative Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung)

Im Rahmen der Betrachtung von verschiedenen Nutzerschnittstellen im Kapitel Stand der Technik lag die Fokussierung auf der Extended Reality und der generativen Fertigung. Beide Nutzerschnittstellen können das Umfeld des Automotive Aftersales in einer unterschiedlichen Art und Weise bereichern, vom Konzept des Digitalen Zwillinges und der Serviceplattform profitieren und sollen daher in direkter Weise auch Einzug in das Konzept finden. Hierbei gilt es, die Nutzerschnittstellen nicht aus einem Fokus auf Technologien als Insellösung zu realisieren, sondern diese in das Gesamtkonzept einzubinden und so zu implementieren, dass sie aktuelle Prozesse verbessern und beschleunigen.

4.2.3.1 Extended Reality

Extended Reality Anwendungen finden zum Teil bereits in der Automobilbranche Einsatz. Insbesondere in der Produktentwicklung wird beispielsweise in der Designfindung die Extended Reality genutzt, um erste Entwürfe in Lebensgröße zu erleben und zu begutachten.

Auch in Aftersales-Prozessen und im Fieldservice gibt es bereits, auch unabhängig von der Automobilbranche, Realisierungsansätze, die Extended Reality zielführend einzusetzen.

Auch im Rahmen der Extended Reality muss vorrangig darauf geachtet werden, dass der Digitale Zwilling der zentrale Verwaltungspunkt aller Daten ist. Der im Rahmen dieses Konzeptes entwickelte Digitale Zwilling ermöglicht es, dass auch die Prozesse der Extended Reality bereichert und mit einer dynamischen Anbindung an das Gesamtkonstrukt die richtigen (Visualisierungs-)Daten an der richtigen Position zur Verfügung gestellt werden. Eine Serviceplattform bietet im Rahmen verschiedener Workflows und Prozesse bereits Schnittstellen zur Extended Reality. So kann diese beispielsweise im Rahmen eines Auftragsviewers die richtigen Informationen in der Virtual Reality bereitstellen und erlaubt es neben dem Abarbeiten von Aufträgen auch Schulungsszenarien zu generieren. In Anbetracht steigender Komplexität im Rahmen von neuartigen Fahrzeugkonzepten, schärferen Emissionsgesetzen und der Elektromobilität bieten virtuelle Umgebungen die optimale Ausgangslage für Trainingsszenarien. So können neben Auszubildenden auch bestehende Mitarbeiterkreise an sich ändernde Konzepte herangebracht werden. Der Einsatz der Virtual Reality ist dabei ressourcenschonend und kann durch einen spieleartigen Charakter, beispielsweise mit einem inkludierten Belohnungssystem auch dazu beitragen, eine hohe Lernkurve zu kreieren. Durch die Augmented-Reality-Benutzerschnittstellen behält der Nutzer im Gegensatz zur Virtual Reality den Bezug zur Realität. Hier kann er sich die 3D-Visualisierungsdaten vielschichtig direkt in die reale Umgebung einblenden lassen. Dies erlaubt einen besseren Zugang der Daten, nicht nur für Experten. So können komplexe Reparaturschritte oder auch Echtzeitdaten direkt am realen Produkt angezeigt werden. In Kombination mit der 3D-Visualisierungskomponente des digitalen Zwillings ergibt sich so die Möglichkeit, auch remote auf Daten und Informationen zurückzugreifen und Prozessschritte, Informationen oder auch Fehler vor- oder nachgelagert mit direktem Bezug zur Bauteilgeometrie durchzugehen. So können Durchlaufzeiten reduziert und Fehler minimiert werden. Diese Integration ermöglicht eine bessere Qualität und effizientere Prozesse. Auch hier können Mitarbeiter gezielt geschult werden, da sie das reale Objekt gekoppelt mit virtuellen Komponenten ebenso als optimales Trainingsszenario parallel zur Virtual Reality nutzen können. Auch das Hinzuschalten eines Experten ist realisierbar. Der konkrete Fokus liegt hierbei auf einer nutzerfreundlichen und zudem intuitiven Visualisierung und Benutzung des digitalen Zwillings. Hier gilt es eine Anwendung zu entwickeln, welche in Abhängigkeit des jeweiligen Zweiges des Automotive Aftersales die Daten des digitalen Zwillings aufbereitet und zur Verfügung stellt. Die Technologie soll

hierbei eine Bereicherung darstellen und nicht nur zum Selbstzweck eingesetzt werden. Intuitive Bedienbarkeit, Zeitersparnis, Transparenz und interdisziplinäre Zusammenarbeit stehen neben der direkten Steuerung aus dem vorgestellten Serviceportal im Hauptfokus.

Das angesprochene im Digitalen Zwilling unterstützte .glTF-Format bietet die Basis für die Visualisierungsebene der Extended Reality Anwendungen. Die 3D-Daten des digitalen Zwillings können dazu genutzt werden, interaktive Anleitungen, Prüfprozesse oder Fehlersuchen auf einem neuen Level zu realisieren. Der Nutzer hat die Möglichkeit, sich die richtigen Informationen direkt an Ort und Stelle einblenden zu lassen oder sich auch vorgelagert auf etwaige Aufträge und Diagnoseprozesse vorzubereiten. Die generierten Daten fließen dabei stets bidirektional. So kann sowohl der Digitale Zwilling als Informationsquelle im Umfeld der Extended Reality genutzt werden als auch durch Informationen aus der realen Welt z.B. durch Fotos, markierte Stellen etc. angereichert werden. Neben dem reinen Visualisierungscharakter ist die Anwendung plattformunabhängig und skalierbar. Hierbei gilt es, auf eine intuitive Bedienung für unterschiedlichste Zielgruppen zu achten und stets den Mehrwert der Extended Reality hervorzuheben. Auch Schnittstellen zur bestehenden Architektur müssen gewährleistet sein. Nach der konzeptuellen Beschreibung einer solchen Anwendung sollen nun in direkter Weise der mögliche Aufbau und die dazu notwendigen Vorgehensschritte gezeigt werden. Die Umsetzung des digitalen Zwillings mit interaktiven, dreidimensionalen Modellen in der Extended Reality weist einige Herausforderungen auf. Zunächst ist, wie bereits im Kapitel des digitalen Zwillings beschrieben, die Erstellung der Geometrie für die Visualisierung mit hohem Aufwand verbunden. Die direkte Verwendung der geometrischen Modelle aus den CAD-Systemen ist nicht möglich, da die Dateiformate der beiden Systeme unterschiedlich sind und die Engineering-Daten vielschichtiger als die reinen Geometrieinformationen sind.

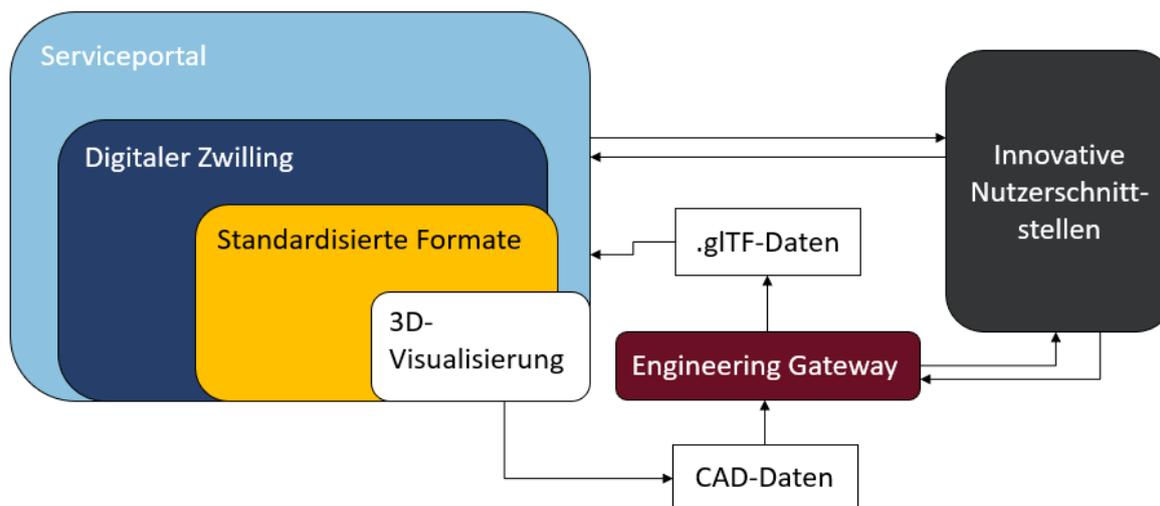


Abbildung 28: Engineering Gateway mit innovativen Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung)

Die Abbildung 28 zeigt die Anbindung des Engineering-Gateways an den Digitalen Zwilling / das Serviceportal und an die innovativen Nutzerschnittstellen, in diesem Fall der Extended Reality. Das Engineering Gateway lässt sich in zwei Hauptfunktionalitäten unterteilen. Die erste Hauptfunktion liegt in der Aufbereitung der 3D-CAD-Daten. Die in den Digitalen Zwilling inkludierten 3D-Daten können nach einer entsprechenden Konvertierung in das .glTF-Format für die Visualisierung verwendet werden (siehe Kapitel 4.2.1). Der Prozess der Konvertierung wird durch eine definierte Pipeline so optimiert, dass der Aufwand für die Erstellung der Visualisierungsmodelle minimiert werden kann. CAD-Modelle enthalten neben der reinen Geometrie zusätzliche Informationen, wie zum Beispiel Informationen über die Produktstruktur oder verschiedene Konfigurationen von Baugruppen oder Bauteilen. Moderne CAD-Systeme enthalten auch Feature-Informationen und Informationen über die Farbe und das Material der Teile sowie Animationen der Kinematik. Um diese Informationen exportieren zu können, wird eigens für das Engineering-Gateway eine Content-Pipeline als Add-in für CAD-Systeme entwickelt. Dieses Add-in ist in der Lage, Baugruppen-Strukturen zusammen mit Materialien und Animationen in das .glTF-Dateiformat zu konvertieren. Die Ausarbeitung dieses Plugins ist Teil der praktischen Umsetzung und Validierung des Konzeptes. Die exportierten Dateien werden automatisch in den digitalen Zwilling implementiert und an das Engineering Gateway zur weiteren Bearbeitung oder zur direkten Verwendung in Extended Reality Anwendungen übergeben. Der zweite Bestandteil des Engineering-Gateways ist für das Anwendungsprogramm und die Verbindung zu anderen Teilbereichen des digitalen Zwillings zuständig. So wird die

Integration von Echtzeitdaten oder der Zugriff auf weitere Informationen wie z.B. Reparaturanleitungen möglich. Das Front End des Engineering Gateways legt den Fokus auf Performance bei der Darstellung von Extended Reality Inhalten. Für die Erstellung der eigentlichen Anwendung, in der die 3D-Inhalte zur Verfügung gestellt werden sollen, werden so genannte 3D- oder Grafik-Engines wie die Unreal Engine oder Unity 3D eingesetzt. Das als Unity Anwendung erstellte Front End Modul führt alle zuvor erstellten und verarbeiteten Daten zusammen. Für die Erstellung eines solchen Projektes wird die 3D-Engine Unity 3D ausgewählt. Sie unterstützt eine Vielzahl der gängigsten Geräte und Plattformen, darunter auch die Microsoft HoloLens. Das Skripting-System erlaubt ein ereignisbasiertes C#-Scripting und ist in der Lage, eine Visual Studio Projektdatei zu erzeugen, die mit einer Vielzahl von Softwarekomponenten erweitert werden kann und die kompilierte App direkt auf die entsprechenden Nutzerschnittstellen veröffentlichen kann. Das Back End des Engineering Gateways kann in das Serviceportal implementiert werden. Anwendungen lassen sich hierbei in der Programmiersprache C# verfassen und basieren auf dem .NET-Framework. Eine Dokumentenverwaltung für die verschiedenen Modelldateien, die dynamisch in die Front-End-Anwendung geladen werden können, ist Bestandteil der Anwendung. Die Metadaten werden in einer SQL-Datenbank verwaltet. Die Kommunikation mit der Front-End-Anwendung kann in Webservices implementiert werden und die Integration von IOT-bezogenen Informationen und Echtzeitdaten physikalischer Geräte kann über verschiedene Protokolle wie MQTT, OPC-UA, OBD-2 und CAN erfolgen. Die Nutzerschnittstelle ist dabei skalierbar, damit eine möglichst große Zahl von Nutzern mit dem System arbeiten kann.

4.2.3.2 Generative Fertigung

Auch die generative Fertigung soll als Nutzerschnittstelle in das Konzept aufgenommen werden. Die generative Fertigung wird heute bereits in Unternehmen integriert und genutzt. Basis für die Fertigung liefern auch hier die CAD-Daten, welche entsprechend aufbereitet und konvertiert das Potential bilden, generativ gefertigt zu werden. Die Problematik bei der Implementierung ist jedoch, dass es bislang keine automatisierten Ansätze zur Einbindung in Werkstattprozesse gibt, bei denen dem Nutzer eine Entscheidungshilfe über die Vorteilhaftigkeit der generativen Fertigung gegeben wird. Nur so kann die generative Fertigung als echte produktive und Mehrwert generierende Alternative zum Bauteilebezug über konventionelle Liefer- und Versorgungsketten genutzt werden. Auch müssen die CAD-

Daten manuell konvertiert und aufbereitet werden, um für den Prozess der generativen Fertigung genutzt zu werden.

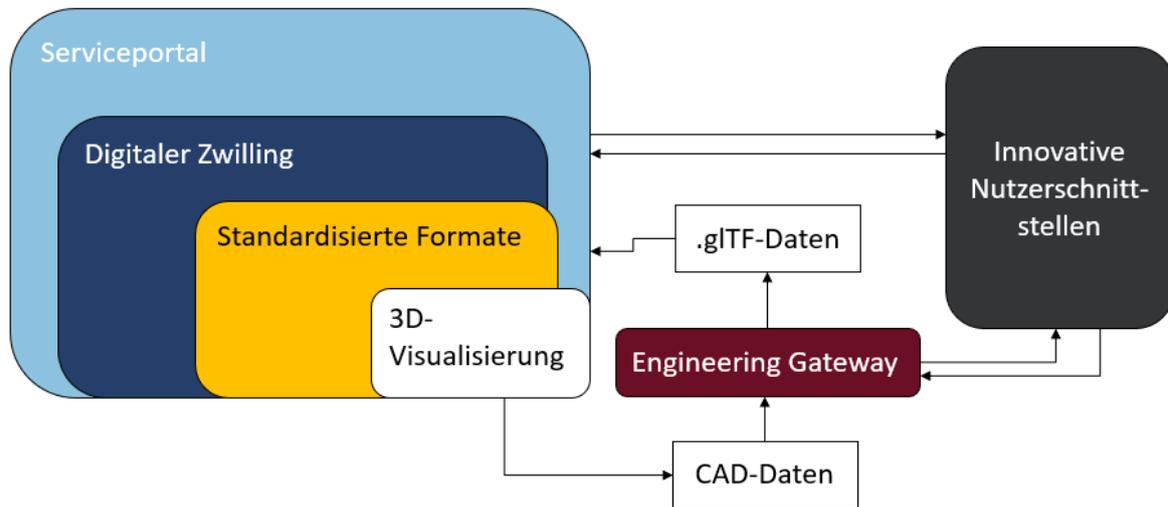


Abbildung 29: Engineering Gateway mit Innovativen Nutzerschnittstellen (eigene Abbildung)

Erneut wird auch für die generative Fertigung das bereits vorgestellte Engineering-Gateway herangezogen. Die Funktionalität der Aufbereitung von 3D-CAD-Daten kann neben der Visualisierung auch für die generative Fertigung genutzt werden. Hierdurch lässt sich ein zeitlicher wie auch arbeitstechnischer Vorteil schaffen. Die konvertierten Daten sind bereits trianguliert und können so direkt für die generative Fertigung eingesetzt werden. Für den Prozess der generativen Fertigung müssen diese Daten als nächstes in einen maschinenlesbaren Code, welcher Anweisungen zum Verfahren der Achsen, zur Zustellung usw. gibt, überführt werden. Hierfür kommen sog. Slicer zum Einsatz. Slicer-Lösungen lassen sich direkt in das Engineering-Gateway implementieren bzw. über Schnittstellen ansteuern. Fertigungsprozesse können direkt in Workflows integriert werden und aus dem übergeordneten Serviceportal heraus gestartet werden.

Neben dem vereinfachten Prozess der Datenaufbereitung für die generative Fertigung gilt es, die Akteure des Automotive Aftersales bei der Grundsatzfrage zu unterstützen, welche Bauteileumfänge sich im alltäglichen Umfeld überhaupt für die generative Fertigung eignen und unter welchen Teilaspekten diese Fertigungsform sinnvoll bzw. vorteilhaft gegenüber konventionellen Bezugsmöglichkeiten ist. Folgend wird eine Herangehensweise definiert, welche eine Entscheidungshilfe bei der Identifizierung von generativ fertigmachen Ersatzteilen liefert. Diese hat das Potential, integriert in das Engineering Gateway auf Basis

von Machine-Learning-Modellen automatisiert Entscheidungen treffen zu können, ob sich ein Bauteil zur generativen Fertigung eignet. Eine Identifikationskette zur Findung solcher Teileumfänge wird folgend vorgestellt.

Es gilt Bauteile zu identifizieren, die sich potenziell für eine Umstellung der Fertigungsmethode eignen. Dazu werden verschiedene Anlaufstationen innerhalb des After Sales hinsichtlich ihrer Vorteilhaftigkeit untersucht. Es besteht die Handlungsmöglichkeit, das komplette Produktportfolio an Ersatz- und Verbrauchsteilen des After Sales hinsichtlich seiner wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit bei einer Umstellung auf die generative Fertigung hin zu überprüfen. Allerdings zeigen vorherig durchgeführte Untersuchungen, dass eine konventionelle, intakt funktionierende Fertigung von Produktumfängen der generativen wirtschaftlich überlegen ist. (Audi AG 2016) Sonderfälle wie beispielsweise Bauteile, welche keiner intakten Lieferkette unterliegen oder bezüglich der Versorgungskette Besonderheiten aufweisen, besitzen das höchste Potential generativ gefertigt zu werden. Automobilhersteller sind gesetzlich dazu verpflichtet, die Versorgung mit Ersatzteilen über einen Zeitraum von zehn Jahren nach Ende der Serienproduktion sicherzustellen. Diese Zeitspanne wird jedoch nicht selten auf 20 bis 30 Jahre ausgedehnt, da sich entsprechend lange Versorgungszyklen positiv auf die Kundenzufriedenheit auswirken beziehungsweise vom Kunden vorausgesetzt werden. (Frese und Heppner 1995) Die Nachserienbetreuung ist nach dem Auslauf der Serienproduktion für die Sicherstellung der Ersatzteileversorgung zuständig. Kommt es zu einem Lieferantenwechsel, zu einer Bauteiländerung durch verschlissenes Werkzeug, ist ein Material nicht mehr verfügbar oder treten ähnliche Szenarien auf, so wird der Prozess im Rahmen des Änderungsgremiums eines jeweiligen Herstellers untersucht und eine Lösung gefunden. Eine anstehende Bauteiländerung, eine Standortverlagerung oder der Wechsel des Lieferanten sind stets mit Kosten, Zeit und weiteren Aufwendungen verbunden. Zudem treten oft Bauteile in den Fokus, welche eine zeitlich schnelle Abarbeitung erfordern, sei es die Versorgung von priorisierten Fahrzeugen mit nicht verfügbaren Teilen oder die Versorgung von Kunden im Ausland. Bauteile, welche in einem Änderungsgremium untersucht werden, haben also das Potential, bezüglich ihrer künftigen, generativen Fertigung geprüft zu werden. Auch nach dem Ende der Produktion eines Fahrzeuges werden die Ersatzteile im Rahmen einer kontinuierlichen Nachserienfertigung üblicherweise weiterhin über den Serienlieferanten bezogen, der diese auf den bereits vorhandenen Anlagen fertigt. Unterschreiten die zu fertigenden Losgrößen im Zeitverlauf einen gewissen Grenzwert, ist die Kleinserienfertigung aufgrund erhöhter Stückkosten nicht mehr wirtschaftlich. In diesem Fall wird der Gesamtbedarf für einen

festgelegten Zeitraum definiert und die Ersatzteilversorgung über eine Langzeit- oder Endbevorratung sichergestellt. Während bei einer Langzeit- oder auch Übergangsbevorratung die Möglichkeit einer Nachbestellung weiterhin gegeben ist, wird bei der Endbevorratung ein so genannter Allzeitbedarf letztmalig bestellt, bevor der Lieferant seine Maschinen und Anlagen verschrottet oder für andere Produkte umrüstet. Der Hersteller ist dadurch gezwungen, Bestände mit einer sehr langen Reichweite auf Lager zu halten. Als Ergebnis trägt diese Besonderheit der Ersatzteillogistik zu einer Erhöhung des gebundenen Kapitals und der Lagerkosten bei. Dieser Effekt kann im Falle einer Überdeckung noch verstärkt werden. Gleichmaßen kann jedoch eine mögliche Unterdeckung eine hohe finanzielle Belastung zur Folge haben, denn aktuell besteht die einzige Lösung in einer kostenintensiven Einzel- oder Kleinserienfertigung.

Im Folgenden geht es darum, innerhalb der geschilderten Anlaufstationen die geeigneten Bauteile für die generative Fertigung zu identifizieren. Hierzu ist es notwendig, das vorhandene Produktportfolio innerhalb der Gebiete Allzeitbevorratung und Änderungspremieum zu filtern. Vorerst werden Kriterien definiert, welche Einzug in den Filter halten:



Abbildung 30: Filterung des Bauteileportfolios (eigene Abbildung)

- **Bauvolumen:** Die Betrachtung des verfügbaren Bauraumes ist notwendig. Aktuell auf dem Markt verfügbare Druckeranlagen für das SLM-Verfahren weisen einen Bauraum von maximal 800 x 400 x 500 mm auf. (Concept Laser 2016) Der 3D-Druck-Dienstleister FKM-Laser Sintering ist in der Lage, Kunststoffbauteile bis zu einer Größe von 66 x 360 x 550 mm im SLS-Verfahren zu liefern. (FKM Laser Sintering 2016) Bauteile, welche generativ gefertigt werden sollen, müssen sich innerhalb dieser Toleranz bewegen.

- *Baugruppen / Materialkomponenten:* Es werden lediglich Bauteile betrachtet, welche aus einer Materialkomponente bestehen und sich direkt mit generativen Fertigungsmethoden erzeugen lassen. Bei diesen Komponenten ist ein direkter Bauteiledruck möglich. Betrachtet man beispielsweise einen Stoßdämpfer als Vertreter der Baugruppe, so ist die generative Fertigung nicht ohne Weiteres realisierbar.
- *Stückzahlen:* Im Vergleich zur konventionellen Fertigung können mit generativen Fertigungsverfahren keine Skaleneffekte erzielt werden, was bedeutet, dass sich die Stückkosten mit steigendem Produktionsvolumen kaum verändern. Dies hat zur Folge, dass bei großen Stückzahlen konventionelle Fertigungsverfahren kostengünstiger ausfallen. In der generativen Fertigung erhöhen sich die Kosten bei steigender geometrischer Komplexität deshalb nicht (s. Abbildung 31). Hier liegt ein entscheidender Nachteil der konventionellen Fertigung, deren Kosten mit steigender geometrischer Komplexität des Bauteils überproportional steigen und die zudem deutlich früher an Machbarkeitsgrenzen stößt. (Jochem und Menrath 2015)

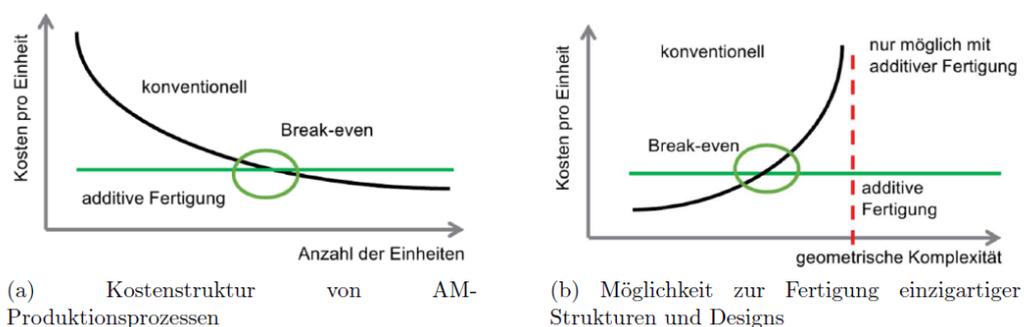


Abbildung 31: Vergleich konventioneller mit generativer Fertigung (Jochem, et al.)

- *Materialkennwerte:* Sowohl bei Kunststoff- als auch bei Metallbauteilen ist auf einen annähernd passenden Materialkennwert gemäß der Bauteilezeichnung bzw. des Serienbauteiles zu achten, sodass ein späterer Freigabeprozess gewährleistet werden kann.
- *Sicherheitsaspekte:* In die Betrachtung werden Bauteile aufgenommen, welche keinen direkten Einfluss auf die Sicherheit und Funktion des Fahrzeuges nehmen. Dazu werden im Flugzeugbau die Bauteile in drei Klassen unterteilt: Klasse-3-Bauteile verursachen beim Ausfall keine Einschränkungen für den weiteren sicheren Betrieb des Flugzeuges. Es könnte ggf. zu einer wirtschaftlichen Einschränkung kommen. Hierbei handelt es sich um statische Anbauteile, die keine direkte Funktion

für den Flugbetrieb mit sich bringen. Beim Ausfall von Klasse-2-Bauteilen kommt es zu einer starken Beschädigung bis hin zum Teilausfall von Komponenten. Der momentane Betrieb des Flugzeuges wird jedoch nicht gefährdet. Beim Versagen eines Klasse-1-Bauteiles kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Absturz des Flugzeuges. Hierbei handelt es sich um höchstbelastete Bauteile. (Lakomic 2016) Die hier getroffenen Annahmen lassen sich auf die Automobilindustrie übertragen und in einem ersten Schritt sollen nur Komponenten der Klasse 3 in die Betrachtung aufgenommen werden.

- Oberflächenbeschaffenheit: Die Oberflächenbeschaffenheit ist neben der visuellen Erscheinung ebenfalls bei den funktionalen Eigenschaften an Bauteilschnittstellen von Bedeutung. Im Idealfall spiegeln sich dort nur die Belichtungsparameter der letzten Schicht bzw. der Bauteilkonturen wider. Die Oberflächenbeschaffenheit der 3D-gedruckten Bauteile muss dem geforderten Niveau entsprechen bzw. dieses mit Nacharbeiten erreichen können.

Mit den vorgestellten Prozessschritten lassen sich Bauteilumfänge untersuchen und hinsichtlich ihrer generative Fertigbarkeit eingrenzen. In Bezug auf das Gesamtkonzept kann bei einer mangelnden Verfügbarkeit von Teileumfängen ein Workflow aus dem Serviceportal heraus initiiert werden. Liegen die entsprechenden 3D-Daten für ein nicht verfügbares Bauteil vor, so kann anhand der definierten Punkte untersucht werden, inwieweit sich dieses für die generative Fertigung eignet. Die im Vorfeld definierten Punkte lassen sich entweder direkt auf die im Digitalen Zwilling implementierten Daten des jeweiligen Bauteils anwenden, oder es wird unter Verwendung eines Machine-Learning-Ansatzes eine dynamische Herangehensweise kreiert, welche eine automatisierte Fallunterscheidung vornehmen kann. Schlussendlich lässt sich festhalten, dass hiermit eine Entscheidungshilfe für die Identifizierung von generativ fertigen Bauteilen gegeben werden kann. Mit Hilfe des Engineering-Gateways lässt sich zudem der Prozess der Datenaufbereitung und Konvertierung für die generative Fertigung verbessern.

4.3 Bewertung der Ergebnisse

Nach der Herleitung und Untersuchung der einzelnen Konzeptbausteine lässt sich festhalten, dass diese sich vor allem in Kombination als fähig zeigen, den Automotive Aftersales zu optimieren. So wird der Branche des Automotive Aftersales ein Konzept geliefert, sich künftigen Herausforderungen zu stellen und auf interne sowie externe Änderungen

einzugehen. Dabei können die einzelnen Bausteine des Konzeptes sukzessiv, nacheinander und nach Bedarf und Abhängigkeit des agierenden Akteurs realisiert werden. Das Konzept als Integrationsmittelpunkt über Unternehmensgrenzen hinweg erlaubt eine nahezu vollständige Erfüllung der vorherig definierten übergeordneten Transformationsziele. Insbesondere das neue Verständnis von Technologien sowie die neue Anordnung und Kombination derer trägt zum Mehrwert bei. Durch die übergeordnete Verfügbarkeit der Lösung für alle Akteure des Automotive Aftersales wird der bisherige Trend zu Insellösungen, welche sich durch redundante Datengenerierung und auch durch Fehleranfälligkeit auszeichnen, minimiert.

Der Digitale Zwilling bietet in Kombination mit einer Serviceplattform die Möglichkeit, die notwendigen Daten für das Durchführen von aftersalespezifischen Reparatur-, Wartungs- und Serviceprozessen zielgruppenabhängig und dabei für den jeweiligen Prozess aufbereitet zur Verfügung zu stellen. Hierbei steht die bidirektionale Anbindung im Fokus. So können die Daten nicht nur gelesen, sondern auch geschrieben werden. Auch die vertikale Erweiterung des Digitalen Zwillings durch die Integration der 3D-Visualisierung bietet einen Mehrwert, von dem verschiedene Prozesse profitieren können. So wird hierdurch der Grundstein für Trainingsszenarien und die Vereinfachung z.B. von Reparaturanleitungen durch die 3D-Visualisierungskomponente geschaffen. Auch die Integration eines neutralen Datenformates in den digitalen Zwilling trägt zum vereinfachten Austausch zwischen den Akteuren bei. Die prädiktive Instandhaltung erlaubt zudem die gezielte Planung und Vorbereitung von Wartungs-, Reparatur- und Inspektionsmaßnahmen. Durch die Integration in den digitalen Zwilling sind diese Informationen umfangreich für unterschiedlichste Akteure verfügbar. So können hier generierte Informationen unternehmensübergreifend genutzt und eingesetzt werden. Eine Blockchain-Anbindung sorgt zusätzlich für die einmalige Zuordnung und die sichere Kombination im Sinne einer Rekombination oder Reparatur.

Auch die innovativen Nutzerschnittstellen erleichtern und verbessern bisherige Prozesse. So wurde vorgestellt, wie Extended Reality in Workflows und Prozesse integriert werden kann und dabei in direkter Weise auf Daten aus Portal und Zwilling zurückgreift. Beispielsweise lassen sich Trainingsszenarien, interaktive Reparaturanleitungen, Expertenkonsolidierungen und weitere Anwendungsfälle mit dieser Technologie realisieren. Auch für die generative Fertigung wird im Rahmen des Konzeptes ein einsatzfähiges Anwendungsszenario erstellt, wie Akteure bei der Frage einer Eignung von Bauteilen für die generative Fertigung entlastet

werden können. Auch die Aufbereitung der Daten für die generative Fertigung kann durch die Implementierung des Engineering-Gateways beschleunigt werden.

Durch die Anbindung an bisherige Lösungsräume können bestehende Daten, Softwarelösungen und auch Nutzerschnittstellen über offene Schnittstellen integriert werden. So kann eine Implementierung, insbesondere der dort generierten Daten, gewährleistet werden. Hierdurch wird das Konzept durch bestehende Lösungsansätze erweitert. Es lässt sich festhalten, dass sich dieses Konzept insbesondere mit Blick auf die übergeordneten Transformationsziele für den Automotive Aftersales eignet, um auch zukünftig handlungsstark aufgestellt zu sein und sich den sich ergebenden Herausforderungen zu widmen. Folgend soll nun das Konzept mit Praxisbezug am Beispiel eines Prototyps im Umfeld des Automotive Aftersales realisiert werden.

5. Umsetzung und Validierung des Konzeptes

Nachdem nun ein Lösungskonzept für die digitale Transformation des Automotive Aftersales vorgestellt wurde, gilt es, dies anhand einer prototypischen Umsetzung zu validieren. Der Automotive Aftersales zeichnet sich durch eine hohe und zudem inhomogene und vielschichtige Anzahl von Teilnehmern aus. Da eine komplette Realisierung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird die Gültigkeit des Konzeptes durch die Realisierung ausgewählter Komponenten nachgewiesen. Dafür werden verschiedene Akteure des Aftersales hinsichtlich einer Implementierung eines Teilaspektes des Konzeptes näher betrachtet. Die Teilnehmer sollen dabei so gewählt werden, dass sich Rückschlüsse auf die Sinnhaftigkeit des Gesamtkonzeptes ziehen und zudem auch Hürden identifizieren lassen, auf welche man bei der Konzeptumsetzung trifft.

Bezugnehmend auf Kapitel 4 wird nun das Modell zur Digitalen Transformation des Automotive Aftersales herangezogen und praxisbezogen untersucht.

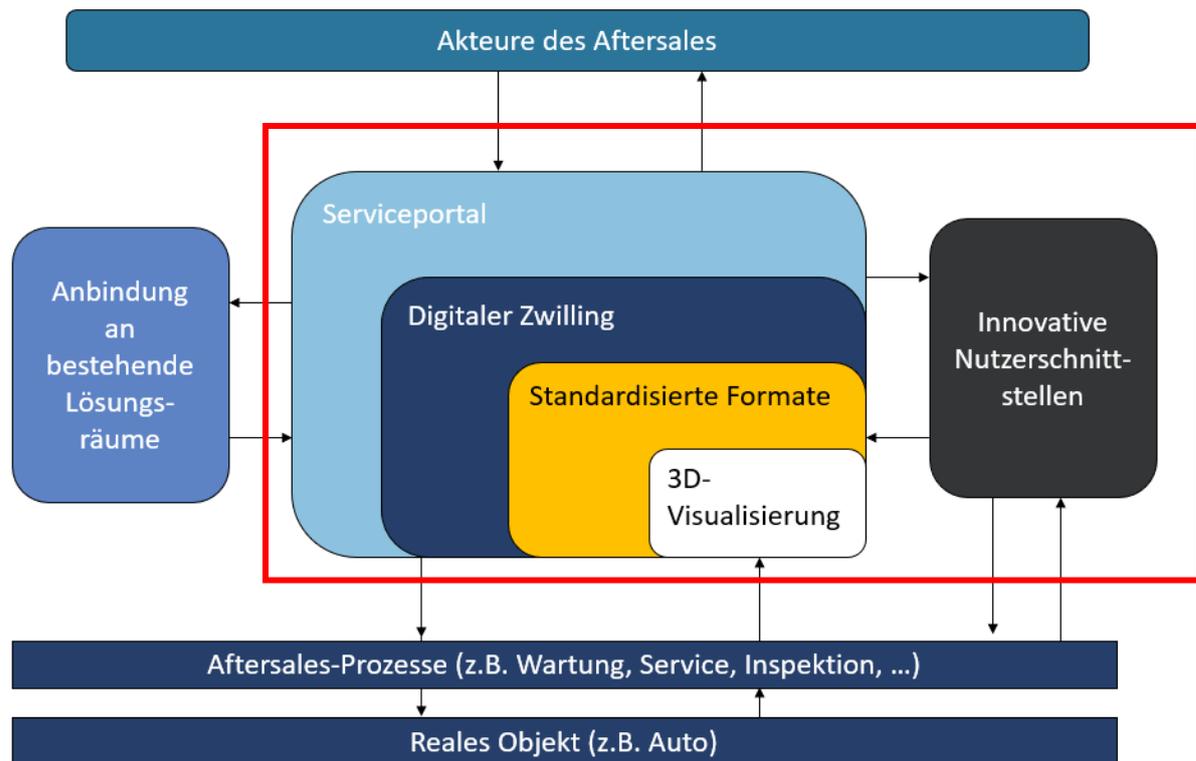


Abbildung 32: Konzept zur Digitalen Transformation (eigene Abbildung)

Die Realisierung des Konzeptes wird hierbei in drei Teilschritte aufgespalten. Der erste Schritt widmet sich der Realisierung des Konzeptkernmoduls. Hier repräsentiert der Digitale Zwilling kombiniert mit einem Serviceportal als entsprechende Verwaltungsschale der dort

generierten und gespeicherten Informationen eine Lösungsplattform für Wartungs-, Service- und Inspektionsprozesse. Der Fokus liegt hierbei zudem auf der Integration von 3D-Visualisierungsdaten und dem sogenannten Engineering Gateway, welches bei der Aufbereitung dieser Daten zu standardisierten Formaten und Prozessen hilft. Hierbei wird auch ein Plugin für die CAD-Software SolidWorks entwickelt, welches eine direkte Überführung von Engineering-Daten in ein neutrales Dateiformat ermöglicht.

Der zweite Schritt widmet sich der Mixed Reality als einer der beiden vorgestellten innovativen Nutzerschnittstellen. Hier erfolgt der Aufbau und die Realisierung einer Mixed Reality Anwendung am Beispiel des Prozesses der Hauptuntersuchung bei einer Prüforganisation. Hier wird auf die Besonderheiten dieser Teildisziplin des Aftersales eingegangen und ein Implementierungsansatz der Mixed Reality zur Optimierung der dortigen Prozesse dargelegt. Hierbei liegt der Fokus auf einer Erleichterung der Arbeitsprozesse des Prüfindenieurs, der bidirektionalen Anbindung des Lösungsraumes, der Erstellung von Konzepten zur Identifizierung von Gegenständen sowie einer Nutzung bereits vorhandener, aufbereiteter Daten.

Schritt drei der Betrachtung widmet sich der Implementierung einer weiteren innovativen Nutzerschnittstelle. Hierbei steht die Realisierung der generativen Fertigung im Fokus. Es erfolgt eine praktische Umsetzung des vorgestellten Bausteins zur Identifizierung von Teileumfängen, welche sich zur generativen Fertigung eignen am Beispiel des Produktportfolios eines großen OEM-Herstellers. Auch die Einbettung der generativen Fertigung in das Gesamtkonzept des Digitalen Zwillings und die automatisierte Konvertierung und Aufbereitung der notwendigen Daten im Kontext des Engineering-Gateways werden hierbei thematisiert.

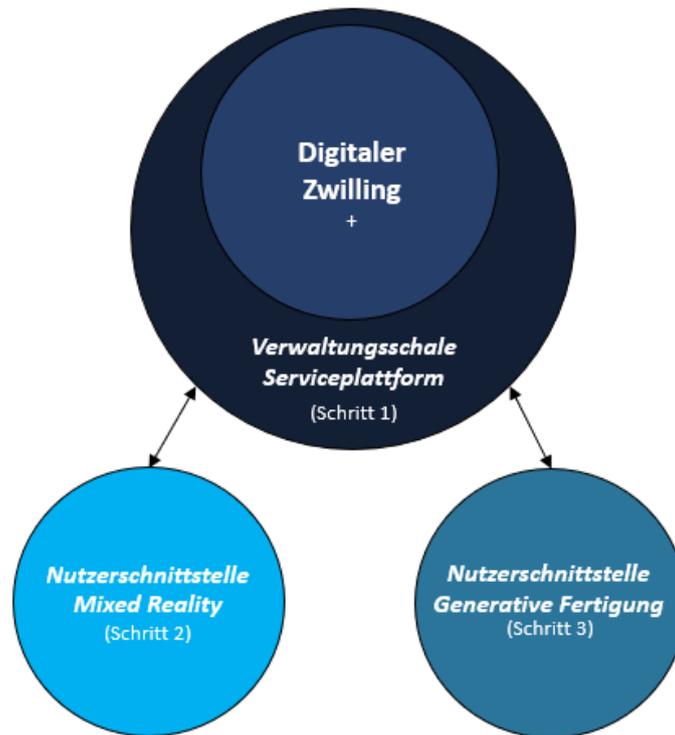


Abbildung 33 Definition der Teilschritte (eigene Abbildung)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei allen drei Teilschritten das Modell des digitalen Zwillings mit der Fokussierung auf die Visualisierung von Engineering Daten im Mittelpunkt steht. Der Digitale Zwilling dient als zentrales Werkzeug zur Bewältigung der digitalen Transformation für den Automotive Aftersales. So bietet sich die Möglichkeit eines geschlossenen vernetzten Systems, welches eine Lösung für Konfliktszenarien in der Zukunft liefert.

5.1 Optimierung der unternehmensübergreifenden Datenverwaltung mit Fokus auf den Digitalen Zwilling und eine Serviceplattform

Die Erstellung eines Branchen- und unternehmensübergreifenden Digitalen Zwillings zur Speicherung und Verwaltung aller für die Geschäftsprozesse des Aftersales notwendigen Daten soll nun nach der theoretischen Herleitung und Beschreibung mit einem praktischen Bezug validiert werden.

Im Folgenden wird zunächst am Beispiel von Amazon Web Services (AWS) eine auf dem Markt gängige Lösung zur Realisierung des digitalen Zwillings betrachtet und überprüft, wie

diese im Kontext des Konzeptes zur Optimierung des Automotive Aftersales mit dem Schwerpunkt der 3D-Visualisierung weiterentwickelt werden kann.

AWS ist ein US-amerikanischer Cloud-Computing-Anbieter, der 2006 als Tochterunternehmen des Online-Versandhändlers Amazon gegründet wurde. 2017 stufte Gartner AWS als führenden internationalen Anbieter im Cloud Computing ein. (Gartner 2022) AWS hat automobilspezifische Services und Lösungen entwickelt, die softwaredefinierte Fahrzeuge, vernetzte Mobilität, autonome Mobilität, digitales Kundenengagement, Fertigung, Lieferkette und Produktentwicklung abdecken. Das Lösungskonzept des AWS IoT Twin Makers erlaubt es, digitale Zwillinge realer Systeme zu erstellen und zu verwenden, um Prozesse wie auch Produkte, während deren Betrieb zu überwachen und zu optimieren. Dabei werden Digitale Zwillinge als virtuelle Darstellungen physischer Systeme, die regelmäßig mit realen Daten aktualisiert werden, um die Struktur, den Zustand und das Verhalten der von ihnen repräsentierten Systeme nachzuahmen, betrachtet. Das Lösungskonzept von AWS erlaubt die Kombination von Daten aus verschiedenen Datenquellen wie Gerätesensoren, bestehenden Anwendungen oder Schnittstellen, ohne die Daten in ein einziges Repository verschieben zu müssen. Auch die Speicherung von Engineering Daten und Daten aus Geschäftsanwendungen können implementiert werden. (Amazon Web Services, Inc. 2022)

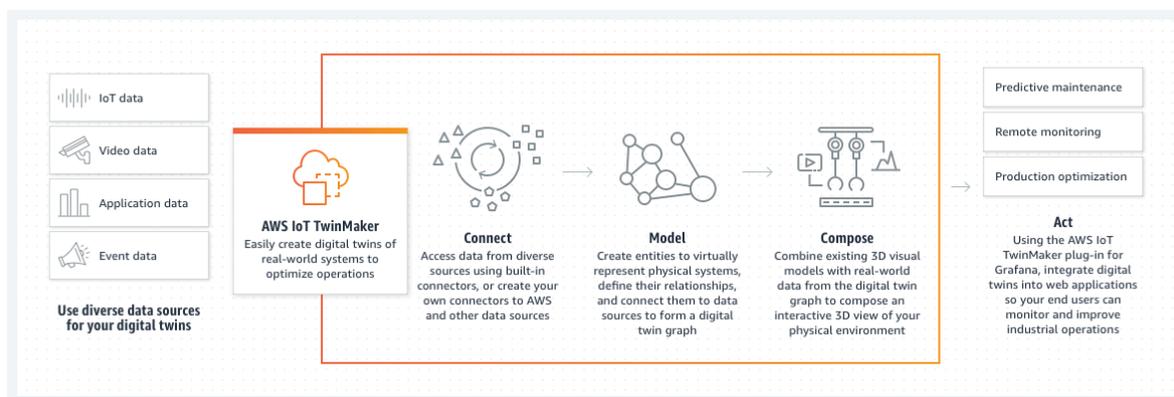


Abbildung 34 Konzept des AWS Twinmakers (Amazon Web Services, Inc. 2022)

Ebenso wird ein Framework zum Erstellen von Anbindungen eigener Datenquellen integriert. Auch Erkenntnisse aus vernetzten Machine-Learning- (ML) und Simulationsservices sowie Wartungsaufzeichnungen und Handbücher können direkt implementiert werden. Für die Erstellung einer Nutzerschnittstelle wie beispielsweise eine Serviceplattform als Verwaltungsschale, wird ein Plug-In für solche Einsatzzwecke geboten. Nutzer sind so in der Lage, den digitalen Zwilling einzusehen und mit ihm zu interagieren,

um Prozesse anzustoßen und zu optimieren. (Amazon Web Services, Inc. 2022) Angelehnt an das in Kapitel 4 vorgestellte und auf den Automotive Aftersales übertragene Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 lässt sich der Basiskern des digitale Zwilling unter Verwendung der dortigen Services realisieren.

Die Visualisierung von Engineering Daten und die Anreicherung des digitalen Zwillings mit diesen stellt einen wichtigen Punkt in der Prozesskette zur digitalen Transformation dar und wird in auf dem Markt verfügbaren Lösungsansätzen wie auch am Beispiel von AWS nur unzureichend vertreten. Reine CAD-Daten sind beispielsweise für Serviceportale oder Extended Reality Anwendungen unbrauchbar und benötigen eine komplexere Aufarbeitung. Hierzu bedarf es einer vertikalen Integration des Digitalen Zwillings mit der Visualisierungskomponente. Hierzu soll das sogenannte Engineering Gateway als Lösungsansatz in das Modell des Digitalen Zwillings implementiert werden. Der Prozess der Konvertierung von 3D-CAD Daten hin zu plattformunabhängigen Visualisierungsmodellen wird durch eine definierte Content-Pipeline optimiert, so dass der Aufwand für die Erstellung der Visualisierungsmodelle minimiert werden kann.

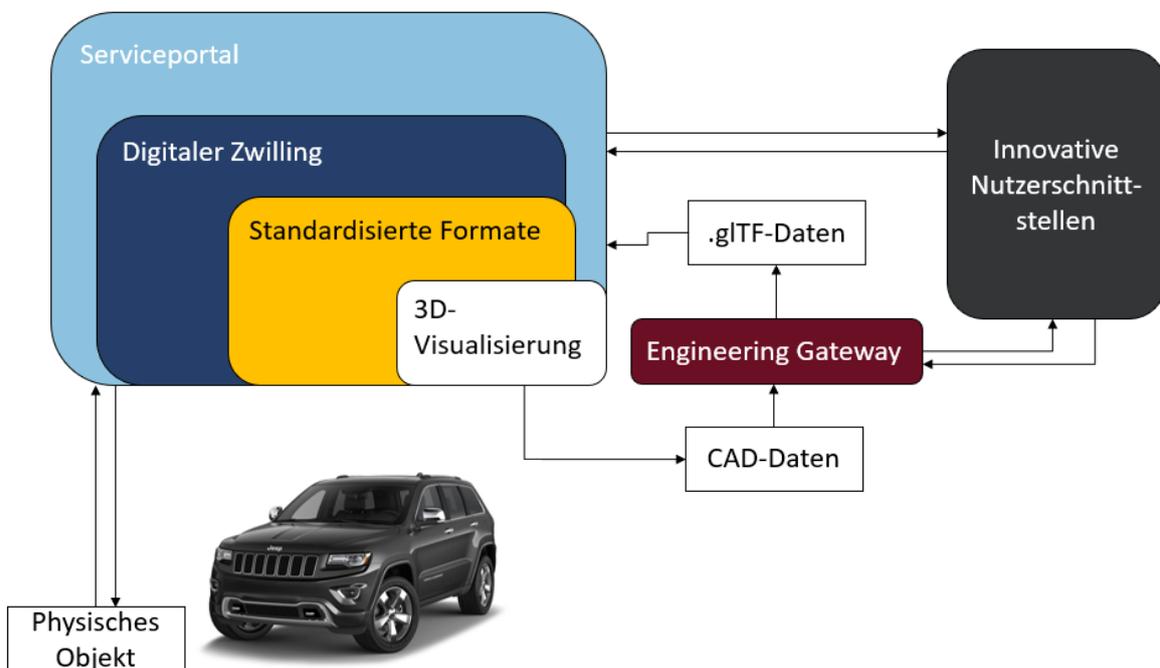


Abbildung 35: Architektur des Engineering Gateways (eigene Abbildung)

Visualisierungssysteme verwenden tessellierte Geometriebeschreibungen und unterstützen zugehörige Dateitypen. Da das Datenmodell von CAD-Systemen meist auf anderen Strukturen basiert, wie z.B. BREP-Modellen, die parametrisierte Flächen verwenden, hat initial eine Konvertierung in Polygonmodelle zu erfolgen.

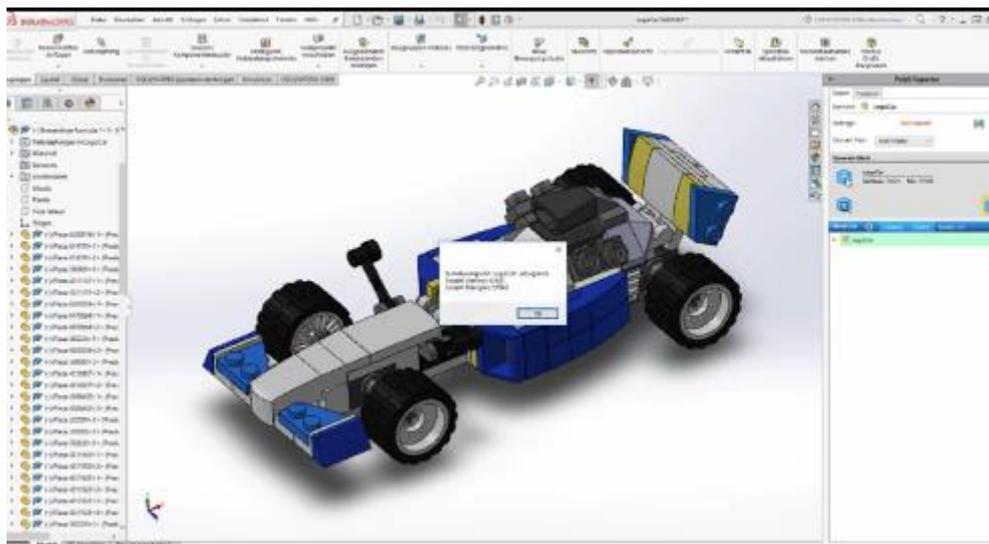


Abbildung 36: CAD-Add-in des Engineering Gateways (eigene Abbildung)

Weiterhin enthalten die CAD-Modelle zusätzliche Informationen. Zum Beispiel ist die Produktstruktur ebenso Teil des Modells wie verschiedene Konfigurationen von Baugruppen oder Teilen. Moderne CAD-Systeme enthalten auch Feature-Informationen und Informationen über die Farbe und das Material der Teile sowie Animationen der Kinematik. Unter Verwendung des SolidWorks Application Programming Interface (API) wurde ein Add-in entwickelt, welches in der Lage ist, Baugruppen-Strukturen zusammen mit Materialien und Animationen in das Dateiformat .glTF zu konvertieren. Das Add-in erlaubt einen Zugriff auf die Datenstruktur und analysiert CAD-Modelle hinsichtlich ihrer Modellhierarchie und sammelt Informationen über deren Aufbau. So werden Baugruppen, Unterbaugruppen und deren jeweilige Bauteile und Komponenten untersucht. Auf kleinster Ebene werden nun gemäß des in CAD verbreiteten BREP-Modelles „Bodies“ und zugehörige „Faces“ identifiziert. Jeder Fläche kann dabei eine entsprechende Texturierung zugeordnet werden. Nun kann eine Konvertierung der Faces in das .glTF-Format erfolgen. Dies geschieht vollkommen automatisch. Vorteil bei dieser Vorgehensweise ist, dass die Strukturen und somit der Modellaufbau auch im .glTF-Format parallel zu dem in CAD gestaltet ist und alle wichtigen Informationen somit erhalten bleiben. Auch Informationen im Kontext der Baugruppe bzw. die Kombination der einzelnen Bauteile bleiben nach der Konvertierung erhalten. Neben der Texturierung von Oberflächen können auch grafische Informationen wie Beschriftungsfelder oder Aufkleber exportiert werden. Animationen und Bewegungsstudien können ebenso aus dem CAD-System direkt in das .glTF-Format übertragen werden. Durch die direkte Programmierung in C# unter Verwendung der Programmierungsumgebung Visual Studio lässt sich der Konverter in verschiedene

Programme einbetten und kann als Bestandteil des Engineering Gateways direkt aus der künftigen Plattform hinaus gestartet werden. Die generierten Daten eignen sich so zur Implementierung in den Digitalen Zwilling, zur Verwendung in der Extended Reality, der Visualisierungen im Kontext der Plattform und für die Verwendung innerhalb der generativen Fertigung. Durch die Pflege des Digitalen Zwillings mit stets aktuellen Daten und Querverbindungen zur CAD/CAM-Welt ist auch sichergestellt, dass stets aktuelle Datensätze für die Konvertierung zur Verfügung stehen.

Es muss eine Zugriffskontrolle mit skalierbarer Benutzer- und Gruppenverwaltung geben. Hierbei muss sichergestellt werden, dass der Datenzugriff an Nutzerrechte gebunden ist und die Anbindung bidirektional ausfällt. Der Datenzugriff muss dabei einfach und intuitiv erfolgen können. Um dem Aftersales eine umfangreiche, aber skalierbare und kostengünstige Lösung zur Visualisierung und Interaktion mit dem Digitalen Zwilling anbieten zu können, soll ein als Webanwendung erstelltes Portal als allgemeine Basis dienen. Zur Realisierung eines solchen Portals wird unter Verwendung der Programmierumgebung Visual Studio eine neue, servergerenderte ASP.NET Core Web-UI-Anwendung generiert. Sie erstellt den HTML- und CSS-Code der Seite serverseitig dynamisch als Reaktion auf eine Browseranfrage. An den Client werden so minimale Anforderungen gestellt, da vor allem der Server Arbeit und Logik bei der Seitenerstellung übernimmt. Hierdurch ergeben sich schnelle Seitenladezeiten und dadurch auch eine gute Eignung für verschiedenste Endgeräte sowie eine browserunabhängige Darstellung. Für die Umsetzung ist die Verwendung von sogenannten Razor-Pages ausgewählt worden, da bei dieser Technologie insbesondere die Skalierbarkeit und auch die geräteübergreifende Nutzbarkeit gewährleistet sind. Die jeweiligen Frontends, beispielsweise für eine Ansicht auf dem Desktop PC, einem Tablet oder einem Mixed Reality Device unterscheiden sich dabei in dem Informationsgehalt und Immersionsgrad, können aber auf derselben Technologie beruhen. Der Code zur Darstellung für die Seite wird zusammen mit der Seite aufbewahrt, während UI und Geschäftslogik hier von getrennt bleiben. So können ansichtsspezifische Logik und Modelle zusammen in einem Namespace und Verzeichnis verwaltet werden. Auch Gruppen zusammengehöriger Seiten werden in einem eigenen Namespace und Verzeichnis untergebracht. Auch die Verfügbarkeit einer Nutzerverwaltung bietet einen weiteren Vorteil dieser Herangehensweise.

Bei Erstellung der konkreten Anwendung wurde in einem ersten Schritt mit Hilfe von Visual Studio ein neues Projekt angelegt. Hierzu gilt es eine ASP.Net Core Web App als neues

Projekt zu starten. Folgend sind Klassen für die Verwaltung in einer Datenbank hinzugefügt worden. Die Modellklassen der App verwenden Entity Framework Core (EF Core), um mit der Datenbank zu arbeiten. EF Core ist ein objektrelationaler Mapper (O/RM), der den Datenzugriff vereinfacht. Es werden zuerst die Modellklassen geschrieben. Anschließend erstellt EF Core die Datenbank. Die Modellklassen werden als POCO-Klassen (von „Plain-Old CLR Objects“) bezeichnet, da sie keinerlei Abhängigkeit von EF Core aufweisen. Sie definieren die Eigenschaften einer Datei, die in der Datenbank gespeichert ist. (Anderson 2022) Mit der automatisierten Funktion, seinem Projekt sogenannte Gerüste hinzuzufügen, können mit Bezug auf die vorher generierten Modellklassen Seiten für die Vorgänge „Create“ (Erstellen), „Read“ (Lesen), „Update“ (Aktualisieren) und „Delete“ (Löschen), kurz CRUD-Vorgänge, automatisiert erstellt werden. (Lobeck 2022) Durch das Hinzufügen von weiteren Funktionalitäten wie einer Suche, Validierungen etc. kann die Nutzerergonomie auf einfachen Wegen verbessert werden. Unter Verwendung eines Plugins zur Visualisierung von .glTF-Dateien können diese auch innerhalb des Portals zur Anzeige von Arbeitsschritten, Protokollen wie auch Echtzeitdaten genutzt werden. In Anlehnung an die konzeptuelle Beschreibung des Portals sollen die dort generierten Inhalte als Ausgangsbasis der Realisierung dienen.

Hierzu erfolgt eine Unterteilung des Portals in folgende, sich an das Konzept anlehrende Hauptbestandteile:

- Dashboard
- Stammdaten
 - Kunde
 - Fahrzeug
- Aufträge
 - Konfigurator
 - Ansichtsassistent
 - Durchführungsassistent
 - Abrechnungsassistent
- AR-Assistent

Die entsprechende Struktur und auch Menüführung lassen sich mit der vorgestellten Razor-Pages Technologie umsetzen. Bereits bei der Erstellung der Plattform kann ein sogenanntes Identity-Gerüst implementiert werden. Damit lassen sich Nutzungs- sowie Zugriffsrechte für verschiedene Zielgruppen und Benutzer steuern. Einzelnen Nutzern können verschiedene

Rollen zugeordnet werden. Zudem können sie einer Branche und / oder einem konkreten Unternehmen zugeordnet werden. So kann gewährleistet werden, dass nur Nutzer mit entsprechender Befugnis Zugriff auf Informationen zu Aufträgen bzw. Inhalten des Digitalen Zwillings bekommen.

article about setting up this ASP.NET application to support logging in via external services.'"/>

CarServicePlatform Home Stammdaten Aufträge AR-Assistent

Register

Create a new account.

Email

Password

Confirm password

Register

Use another service to register.

There are no external authentication services configured. See this [article about setting up this ASP.NET application to support logging in via external services.](#)

Abbildung 37: Registrierfunktion der Serviceplattform (eigene Abbildung)

Nach erfolgreicher Registrierung sowie Anmeldung auf der Seite des Portals wird der Nutzer zum Dashboard geleitet. Das Dashboard liefert eine visualisierte Übersicht in Bezug auf den Bereich der Aufträge. Hier können anfallende, aktuelle und abgeschlossene Aufträge in Abhängigkeit des jeweils eingeloggteten Nutzers angesehen werden. Zur optischen Visualisierung ist dieses Dashboard in Form eines Kanban-Boards realisiert und mit der Implementierung für den jeweiligen Nutzer relevanter grafischen Auswertungen aufgebessert.

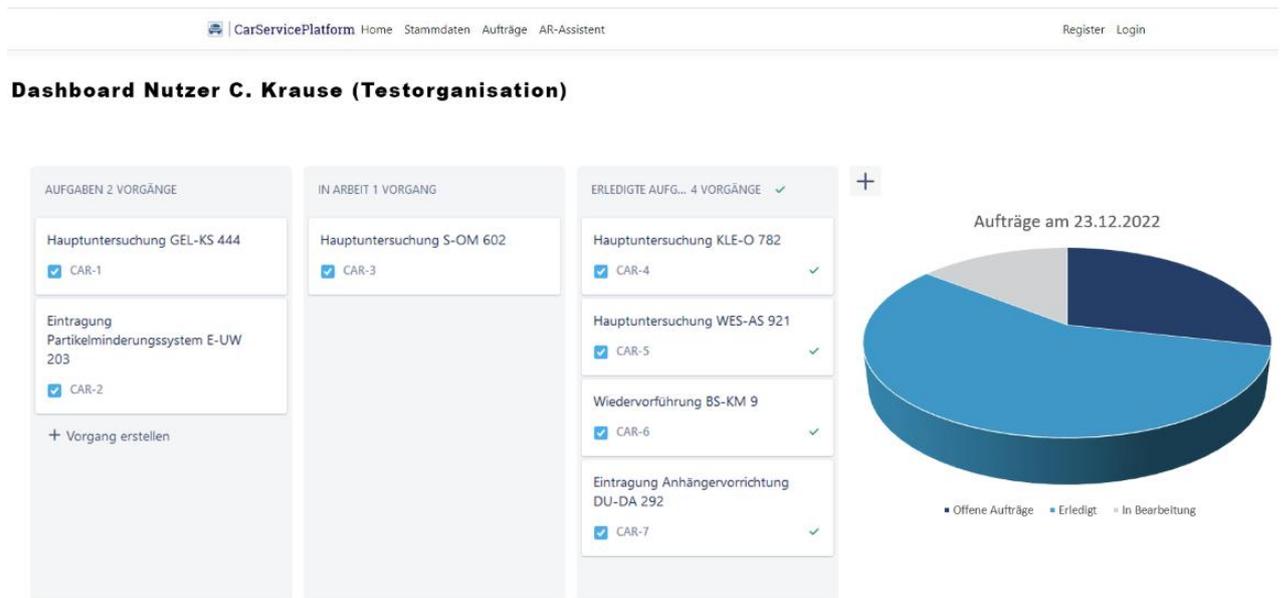


Abbildung 38: Dashboard der Plattform (eigene Abbildung)

Die in Abhängigkeit des jeweils an der Plattform angemeldeten Nutzers relevanten Daten des Digitalen Zwillinges finden sich auftragsunabhängig im Bereich der Stammdaten wieder. Hier gibt es eine Unterteilung der Daten nach Kunden / Fahrzeugen. Zwischen diesen beiden herrscht dabei eine 1: n Beziehung. Dies bedeutet, ein Kunde kann über mehrere Fahrzeuge verfügen, jedes Fahrzeug ist aber stets einem Besitzer zugeordnet. Besitzerwechsel oder Verschrottungen können über diese Stammdaten gepflegt werden. Über Schnittstellen zu bestehenden Lösungsräumen, wie beispielsweise der Datenbank von Straßenverkehrsämtern, können diese Informationen auch automatisiert angepasst werden. Auch innerhalb der Stammdaten spielt die Funktion der 3D-Visualisierung eine wichtige Rolle. So kann, bezogen auf ein Fahrzeug, ein virtuelles Produktmodell mit Hilfe eines 3D-Viewers und dem .glTF-Format integriert werden. Hier lassen sich Informationen aus dem Modell des Digitalen Zwillinges auch visuell anzeigen und werden dem Nutzer zur Verfügung gestellt.

CarServicePlatform Home Stammdaten Aufträge AR-Assistent Register Login

Fahrzeugübersicht - Kunde 4711

file name... Jeep_Grand_Cherokee_Overland_2014 file type...

Choose File Update MachineType delete machine type

Hersteller	Modell	Baujahr	
sadss	asdsa23	13.10.2022	Edit Details Delete
sadss	asdsa23	13.10.2022	Edit Details Delete
sadss	asdsa23	13.10.2022	Edit Details Delete
Mercedes	S310	01.10.2020	Edit Details Delete



Abbildung 39: Fahrzeugübersicht im Reiter Kunde mit 3D-Visualisierungskomponente (eigene Abbildung)

Der Bereich Aufträge mit den dort integrierten Bestandteilen des Konfigurators für Aufträge, dem Ansichtsassistent für Aufträge und dem Durchführungsassistenten ist mit entsprechenden Nutzerrechten und Zugängen ausgestattet. So kann innerhalb eines Unternehmens eine definierte Zielgruppe zur Konfiguration von Aufträgen vorgesehen werden und hat entsprechende Rechte, diese anzulegen, zu editieren und auch zu löschen. Bereits bei der Konfiguration lässt sich erneut der Bogen zu den Stammdaten und den damit verknüpften Inhalten des Digitalen Zwilling spannen. Innerhalb der Konfiguration können Hersteller und Besitzer einem Auftrag zugeordnet werden und in den digitalen Zwilling implementierte Visualisierungsinformationen, Informationen zur prädiktiven Instandhaltung oder aber auch Reparatur- und Wartungshinweise einem Auftrag zugeordnet werden. So lassen sich Aufträge transparent im Hinblick auf die bisherige Historie des Fahrzeuges und den verfügbaren Daten anlegen. Der Assistent zur Ansicht von Aufträgen erlaubt es Personal, welches für die spätere Durchführung des Auftrages zuständig ist, sich diesen vorab anzusehen. Hierzu wird in dem Portal eine Übersicht des Auftrages mit den konkreten Arbeitsschritten und notwendigen Teileposten aufgeführt. Auch Anleitungen und Leitfäden sowie weiterführende Informationen aus dem Digitalen Zwilling stehen hier den ausführenden Kräften bereits zur Verfügung. Mit einer direkten Schnittstelle zu Augmented Reality lassen sich auch mit Hilfe der 3D-Visualisierungskomponente direkt dem 3D-Modell zugeordnet die Prozessschritte in dieser immersiven Umgebung ansehen. Neben der Visualisierung wird so auch das Potential für Trainingsszenarien oder Schulungen geboten. Zusätzlich lassen sich die Informationen des Auftragsviewers auch an einem Standard PC

einsehen. Innerhalb des Durchführungsassistenten wird dem Nutzer eine assistierte Abarbeitung des Auftrages ermöglicht. Dies kann zum einen über eine mit einem Wizard realisierte Schritt für Schritt Folge über die Plattform erfolgen, zum anderen aber auch über die angebundene Mixed Reality Schnittstelle. Insbesondere die Schnittstelle bietet den Vorteil, Reparaturleitfäden und auch 3D-Visualisierungskomponenten interaktiv und direkt am Fahrzeug zu erleben und sich die richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort einblenden zu lassen. Die Realisierung dieser Schnittstelle wird im nachfolgenden Kapitel 5.2 thematisiert.



Abbildung 40: Mixed Reality Schnittstelle (eigene Abbildung)

Der Kunde hat die Möglichkeit, sich in das Portal einzuloggen und sich Informationen über den aktuellen Arbeitsstand der beauftragten Maßnahme anzusehen sowie auch die Daten des Digitalen Zwillings seines Kundenprofils sowie auch seiner Fahrzeuge zu begutachten.

Um dem Leser eine optische Übersicht der jeweiligen Abhängigkeiten und Verknüpfungen der durchgeführten Maßnahmen zu vermitteln, werden diese noch einmal grafisch zusammengefasst.

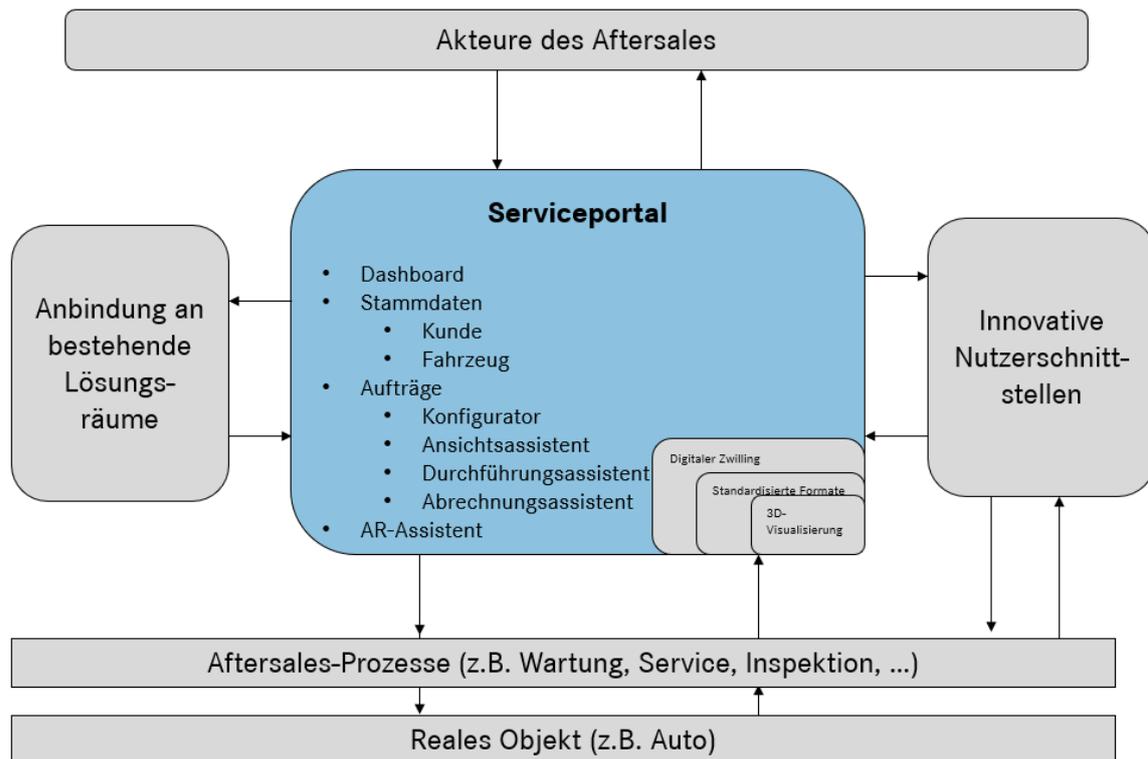


Abbildung 41: Bestandteile und Einbettung der Plattform (eigene Abbildung)

An diesem Punkt kann festgehalten werden, dass sich mit Hilfe der vorgestellten Lösungen das vorab definierte Konzept auch praxisnah umsetzen lässt. Hierbei ist es wichtig, vorhandene Lösungsansätze, wie der vorgestellte Lösungsraum des Digitalen Zwillings über AWS, zu nutzen und durch entsprechende „Customizing“-Lösungen individuell an den Automotive Aftersales und dessen Bedürfnisse anzupassen. So kann durch die Integration des Engineering Gateways ein echter Mehrwert und ein Alleinstellungsmerkmal für die 3D-Visualisierung geschaffen werden, um künftigen Herausforderungen gut gerüstet gegenüberzustehen und das Konzept des Digitalen Zwillings vertikal zu erweitern. Nun steht nicht das alleinige Sammeln von Daten und dessen Aufbereitung im Fokus, vielmehr können die Inhalte auch zur interaktiven Gestaltung von Wartungs- und Reparaturszenarien genutzt werden und somit auch in nachgelagerten Prozessen eingesetzt werden.

Die realisierte Plattform als Verwaltungsschale des Digitalen Zwillings zeigt die Möglichkeit der Realisierung einer ganzheitlichen Lösung auf, bei der alle Akteure eine gemeinsame Schnittstelle zur Pflege, Verwaltung und Interaktion mit dem Zwilling nutzen. Die ASP.NET Umgebung bietet hierfür die notwendigen Grundvoraussetzungen. Durch die Offenheit dieser Plattform, die Möglichkeit der Schnittstellenimplementierung sowie der problemlosen Skalierbarkeit ergeben sich die Möglichkeiten eines produktiven Einsatzes. Die vorgestellte Lösung deckt dabei jedoch nur einen Teilbereich des Automotive Aftersales

ab und geht nur bedingt auf Detaillösungen und Sonderfälle ein. Bei den künftigen Ansätzen und Implementierungsszenarien sollte zudem die im Konzept vorgestellte Blockchain-Anbindung zur eindeutigen Identifizierung und Validierung von Aufträgen sowie der Wiederverwendung von Gebrauchtteilen implementiert werden.

5.2 Optimierung des Prozesses der Hauptuntersuchung mit Fokus auf die Mixed Reality

Im Folgenden wird die Realisierung des Konzepts für den Anwendungsfall der Hauptuntersuchung gezeigt. Es wird geprüft, wie die Mixed Reality Prozesse beschleunigen und Arbeitsabläufe optimieren kann. Als Realisierungsszenario wird der Prozess einer Hauptuntersuchung bei einer Prüfstelle für Kraftfahrzeuge gewählt. Dieses Szenario bietet die Vorteile eines in sich geschlossenen Ablaufes, die Möglichkeit im hohen Grad von den Daten des Digitalen Zwillinges profitieren zu können und auch eine hohe Varianz durch den stetigen Wechsel des Kundenkreises. Das Modul ist an das Serviceportal mit implementiertem Digitalen Zwilling gemäß Kapitel 5.1 angebunden.

Initial sollen Anforderungen und Defizite, die sich beim Prozess der Hauptuntersuchung gemäß des Grundlagenkapitels ergeben, erläutert werden. Diese gilt es dann mit möglichen Verbesserungsszenarien des Transformationskonzeptes im Bereich Extended Reality zu verknüpfen und so eine optimierte Lösung für den Prüfablauf zu realisieren.

Der Prozess der Hauptuntersuchung wurde in Kapitel 2.4 vorgestellt und der allgemeine Ablauf eines solchen Prüfprozesses geschildert. Als Grundlage einer jeden Hauptuntersuchung wird ein einheitlicher Mängelkatalog herangezogen, dessen Punkte der jeweilige Prüfenieur sukzessiv gemäß seines individuell festgelegten Prüfablaufes und den Gegebenheiten vor Ort abarbeitet. Begutachtungen des Prozesses bei verschiedenen Prüforganisationen sowie Experteninterviews haben gezeigt, dass dem Prüfenieur in der Art und Weise seines Herangehens insbesondere eine freie Handhabe in der Prozessreihenfolge wichtig ist. In Abhängigkeit des zu untersuchenden Objektes möchte er in der Lage sein, Prozessschritten in sich unterscheidenden Reihenfolgen ablaufen zu lassen, um so auf individuelle Besonderheiten des Prüfobjektes eingehen zu können. Auf diesen Aspekt muss bei der Prozessoptimierung zwingend Rücksicht genommen werden.

Ein großes Manko bei der Betrachtung des aktuellen Prozessablaufes ist die Dokumentation von Daten. Der Prüflingenieur arbeitet den entsprechenden Mängelkatalog ab, den er bei Unsicherheiten IT-gestützt auf seinem PC oder Smartphone einsehen kann. Nach der Begutachtung eines Teilaspektes dieses Kataloges vermerkt er sich die Untersuchungsergebnisse handschriftlich oder spielt diese direkt in das System ein. Aufgrund der Vielschichtigkeit einer Hauptuntersuchung und vielen unterschiedlichen, zum Teil parallel ablaufenden Prozessschritten, kann es zu Fehlern kommen. So können Mängel falsch zugeordnet oder schlichtweg vergessen werden. Auch die Verwendung von wenig immersiven IT-Lösungen sorgt für eine Ablenkung vom eigentlichen Prüfprozess der Hauptuntersuchung und bedeutet für diesen Prüfer in diesem Fall belastende, kontextferne Mehrarbeit. Zudem ist während der Hauptuntersuchung gemäß der betrachteten Prozesse ein hoher Grad an Beherrschung von technischer Komplexität durch den Einsatz unterschiedlicher Endgeräte notwendig. So gilt es neben dem persönlichen Smartphone auch noch einen PC zur Auftragskonfiguration zu bedienen und mit einem weiteren Gerät mit eigenem Bedieninterface eine Verbindung zum Fahrzeug herzustellen, um dort etwaige, für die Hauptuntersuchung relevante Fehler auszulesen. Eine Verknüpfung zu historischen Daten z.B. aus vorherigen Hauptuntersuchungen erfolgt dabei zwar konzernintern, aber nicht über die Unternehmensgrenzen hinweg. So fehlt es zudem an Transparenz und Konsistenz, die durch eine Implementation eines virtuellen Produktmodelles über die Unternehmensgrenzen hinweg erreicht werden könnten. Auch die Vernetzung der Teilnehmer des Aftersales spielt in der aktuellen Prozesskette eine untergeordnete Rolle. So macht der Prüflingenieur seine Arbeit und im Anschluss wird das Ergebnis in Form eines Ausdrucks an den Kunden übermittelt.

Durch die Implementierung dieser Ergebnisse in eine Aftersales übergreifende Plattform und das Auslösen einheitlicher Prozesse können direkt Reparaturaufträge in Anlehnung an die beim Prüfprozess ermittelten Ergebnisse erstellt werden. Dem Kunden ist dabei freigestellt, welche Werkstatt er aufsucht. Hierdurch wird ein Zeitvorteil geschaffen und die kollaborative Zusammenarbeit gewährleistet.

3D Visualisierungsdaten sowie die allgemeine Visualisierung von Daten spielen innerhalb des Prozesses der Hauptuntersuchung bislang keine Rolle. Dabei bieten diese das Potential, den Prozessablauf immersiver zu gestalten, Fehler besser zu identifizieren und zu analysieren. Durch die Mixed Reality-Technologie kann eine Nutzerschnittstelle implementiert werden, die es erlaubt, sich direkt am Fahrzeug – und mit direktem Bezug zu

diesem – Visualisierungsdaten anzeigen zu lassen. So können Prozesse optimal unterstützt und bisherige Arbeitsabläufe verbessert werden. Der Prüfenieur trägt während des Prozesses der Hauptuntersuchung das Mixed Reality Device auf seinem Kopf und hat daher die Möglichkeit, ohne Einschränkung seiner Hände zu agieren und seiner Arbeit nachzugehen. Das Mixed Reality Device kann als zusätzliche Informationsquelle Prozesse vereinfachen und verschlanken. Mit einer direkten Anbindung an den Digitalen Zwilling eines jeweiligen Fahrzeuges, lassen sich so direkt Informationen zu seiner Historie, zu seinem Soll- wie auch zu seinem Istzustand dort im Blickfeld des Nutzers einblenden, wo sie benötigt werden. Im Rahmen der 3D-Visualisierung kann auch Bezug zur bestehenden Fahrzeuggeometrie hergestellt werden. Auch das Hinzufügen von gewonnenen Daten und Erkenntnisse aus vorherigen Prüfprozessen, vor- oder nachgelagerten Instanzen ist möglich und erlaubt es, die allgemeine Arbeit des Prüfenieurs und Prozessabläufe der Hauptuntersuchung zu verbessern. Wird ein Mangel festgestellt, so kann dieser direkt vermerkt werden und wird bidirektional in das System zurückgespiegelt. Häufige Fehlerpunkte und ähnliche Informationen können dem Prüfenieur direkt in sein Sichtfeld eingeblendet werden.

Nach der Erläuterung von Defiziten des aktuellen Prozesses und möglichen Lösungsansätzen gemäß dem Konzept der Digitalen Transformation aus dem Teilbereich der Extended Reality steht nun der notwendige Aufbau einer solchen Anwendung im Mittelpunkt. Hier soll unter Berücksichtigung der genannten Teilaspekte auf angewandte Bedienkonzepte sowie die notwendige Architektur und weitere Besonderheiten in der Realisierung eingegangen werden. Folgend werden Lösungskonzepte wie die Identifizierung der realen Bauteilgeometrie, die Überlagerung dieser mit Geometriemodellen, der bidirektionale Austausch zwischen dem Mixed Reality Device sowie der Plattform / dem Digitalen Zwilling adressiert und ein praxisbezogener Aufbau eines Prototyps vorgestellt.

Der Hauptbestandteil einer solchen Anwendung ist ein für die Mixed Reality geeignetes Endgerät, welches es erlaubt, in das Blickfeld des Nutzers Daten einzublenden und somit die Umgebung immersiv anzureichern. Die Wahl bei der Prozessumsetzung fällt auf die eignet von Microsoft vertriebene HoloLens in der zweiten Generation. Dieses Gerät stellt eine in sich geschlossene Einheit aus Rechner und Visualisierungsgerät dar und erlaubt eine immersive Anwendungsgestaltung. (Microsoft Cooperation 2023) Dabei sollte das Gerät nicht eine reine Standalone-Lösung darstellen, sondern in der Lage sein, mit entsprechenden

weiteren Gerätschaften sowie einem virtuellen Produktmodell zu kommunizieren. Bei der Interaktion des Benutzers mit der Mixed Reality Umgebung bedarf es zunächst einer Benutzeroberfläche, die es erlaubt, den Prozess zu steuern und relevante Informationen wiederzugeben. An dieser Stelle ist es wichtig, eine benutzerfreundliche, intuitive und komfortable Oberfläche zu entwickeln, die dem Benutzer die Arbeit erleichtert und somit die Effizienz des Prozesses steigert. Abgesehen von den klassischen Schaltflächen, welche direkt in die Entwicklungsumgebung der MR-Devices integriert sind, können hier zusätzliche Funktionen wie Spracherkennung und Gestensteuerung mitbenutzt werden. Um dem Anwender etwas Vertrautes beim Bedienkonzept zur Seite zu stellen, soll die Einbindung eines virtuellen Tablets in die Anwendung erfolgen. Hierbei soll das virtuelle Tablet an die offene Handfläche des Benutzers angebunden werden, was mit Gestenerkennung realisiert wird. So wird das Tablet angezeigt, sobald die offene Handfläche vor die HoloLens gehalten wird, und wieder verborgen, sobald die Hand wegbewegt wird. Zudem soll das Tablet mit einer weiteren Geste beliebig im Raum fixiert oder wieder an die Hand angebunden werden. Die Benutzeroberfläche soll an ein Tablet aus dem alltäglichen Gebrauch angelehnt werden, um so eine vertraute Handhabung für den Benutzer zu gewährleisten. Die Schaltflächen können wie auch beim realen Tablet durch das Berühren mit der Fingerspitze ausgeführt werden. Es soll alle Steuerungselemente beinhalten sowie in der Lage sein, alle für den Prozess relevanten Informationen anzuzeigen.



Abbildung 42: Virtuelles Tablet (eigene Abbildung)

Die Schaltflächen müssen durch den Benutzer als solche erkannt werden. Zudem müssen diese groß genug sein, um sie ausführen zu können. Dazu kann entweder die Berührung mit der Fingerspitze, der Handstrahl der HoloLens 2 oder die Sprachsteuerung verwendet werden. Grundlegend besteht das virtuelle Tablet zunächst aus einem Rahmen mit einer

transparenten Displayoberfläche. Oberhalb davon sind Statussymbole angebracht, die den Verbindungsstatus anzeigen. Auf der rechten Seite befindet sich eine Seitenleiste mit Schaltflächen, mit denen die Auswahl der einzelnen Bereiche stattfindet. Beispielsweise wird in der nachstehenden Abbildung die Oberfläche für Positionsbestimmung angezeigt.

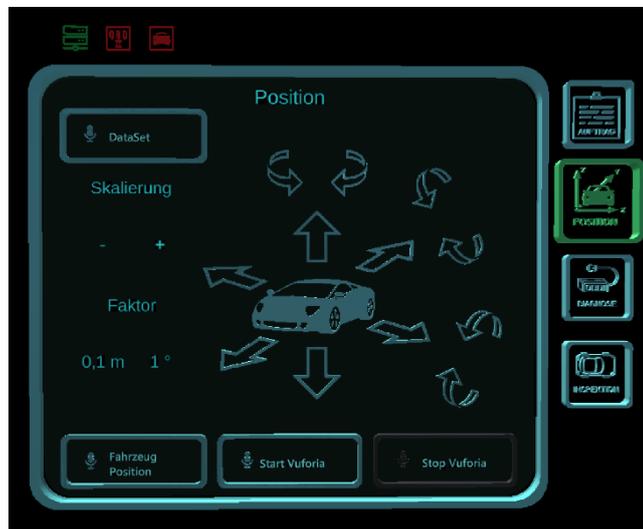


Abbildung 43: Primäres Tablet (eigene Abbildung)

Zur Darstellung situationsbezogener Informationen wird zusätzlich ein sekundäres Tablet eingeführt, in Abbildung 44 dargestellt mit den für die Hauptuntersuchung relevanten Informationen.

Hauptuntersuchungen	Ergebnisanforderungen	#	Grund ID: Messwertbelegung	Werkung	%
Zustand Auffälligkeiten	Zustand	1	5.2.2 a) Bruch sehr defekte Scheinwerfer	VU	0,5
Ausführung Zubehören		2	5.2.2 c) Fragen (Sonstige) unterschätzt erachtet	EM	1,2
			Gefahr des Lebens	VU	0,2
			5.2.2 d) Halbeschlag, stark verrotten, angelehnt, ungelockertes, korrosionsgeschützt	EM	0,8
			D 5.2.2 e) unzulässig offen oder beschriftet	EM	2,2
			Scheiben Einbringung an der Radnabe		
			5.2.2 g) beschränkt sichere Befestigung des Systems einstellbar	VU	0,1

Abbildung 44: Sekundäres Tablet (eigene Abbildung)

Das Mixed Reality Device soll wie zu Beginn vorgestellt in den Prüfungsablauf integriert werden eine Verbesserung gegenüber bisherigen Abläufen mit sich bringen. Hierfür ist eine einfache und intuitive Bedienbarkeit notwendig. Zur Handhabung des virtuellen Tablets wird die Entwicklung einer benutzerdefinierten Gestensteuerung vorgestellt. Dabei soll das virtuelle Tablet an die Handfläche des Benutzers angebunden werden, um die Handhabung

der Steuerungs- und Informationselemente möglichst effektiv und nutzerorientiert zu gestalten. Die HoloLens 2 ist generell in der Lage, Hände sowie einzelne Finger und Gelenke des Benutzers zu erkennen und deren Position in Form von Koordinaten im Raum festzulegen. Diese Koordinaten sowie ein Machine Learning Verfahren werden im Weiteren benutzt, um die Funktionalität der Gestenerkennung zu erweitern. Sobald eine spezifische Geste erkannt wird, soll das virtuelle Tablet der Handbewegung folgen und stets in Richtung des Benutzers zeigen. Anderenfalls soll das Tablet verborgen werden, um die Sicht auf den Arbeitsbereich nicht zu verdecken. Des Weiteren wird die offene Handfläche mit dem geknickten Daumen als eine Art Trigger verwendet, mit dem das Tablet entweder im Raum fixiert oder wieder an die Handfläche angebunden wird.

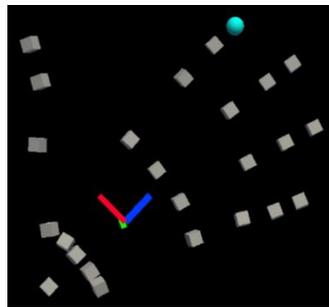


Abbildung 45: Offene Handfläche mit erkannten Handelementen (eigene Abbildung)

Der Prüflingenieur hat die Möglichkeit, eine Sprachsteuerung zu nutzen, um Prozessschritte zu durchlaufen. Innerhalb des Mixed Reality Toolkits ist Spracherkennung bereits ein Bestandteil und wurde in den Prototypen integriert. Um einen neuen Befehl zu erstellen, wird innerhalb des Mixed Reality Toolkits ein neues Keyword deklariert. Das Keyword kann beispielsweise „Weiter“ lauten und wird später innerhalb der Menüführung zur nächsten Menüseite wechseln. Jeder Befehl, der später verwendet wird, muss hier eingetragen sein. Dabei kann ein Befehl aus einem oder mehreren Wörtern bestehen. Um mögliche Fehlinterpretationen bei der Spracherkennung zu vermeiden, sollte darauf geachtet werden, dass die deklarierten Sprachbefehle sich deutlich voneinander unterscheiden oder zumindest nicht gleichzeitig aktiv sind.

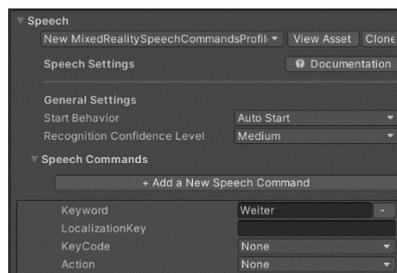


Abbildung 46: Definition der benutzerdefinierten Sprachbefehle in MRTK (eigene Abbildung)

Sprachbefehle, die in der jeweiligen Situation verwendet werden können, sind generell an Schaltflächen gebunden, die gerade aktiv sind. Als Hinweis für den Benutzer sind solche Schaltflächen mit einem Mikrofon Symbol gekennzeichnet.

Eines der Schüsselemente bei der Realisierung der Mixed Reality stellt die Integration der Lösung in ein Gesamtsystem dar. So soll die Anwendung nicht als losgelöste Stand-Alone-Anwendung betrachtet werden, sondern sich insbesondere unter Bezug auf den Digitalen Zwilling in vorhandene Lösungsräume einbetten. Zur Realisierung dessen wird daher die Kommunikation zwischen den einzelnen Geräten betrachtet. Das Mixed Reality Device dient als Visualisierungswerkzeug von Daten, die innerhalb des Prozesses auf unterschiedlichen Wegen gesammelt werden. Zu diesem Zweck soll eine Server - Client Architektur aufgebaut werden, die das Übertragen jeglicher Daten zwischen den Geräten über das WLAN-Netz bzw. über das TCP-/IP-Protokoll ermöglicht. So kann ein direkter Zugriff auf das Modell des Digitalen Zwillings gewährleistet werden und notwendige Daten können auftragspezifisch in die Mixed Reality übertragen werden. Im Weiteren wird im Detail auf die einzelnen Netzwerkkomponenten eingegangen. Der schematische Aufbau des Netzwerksystems ist in folgender Abbildung zu sehen:

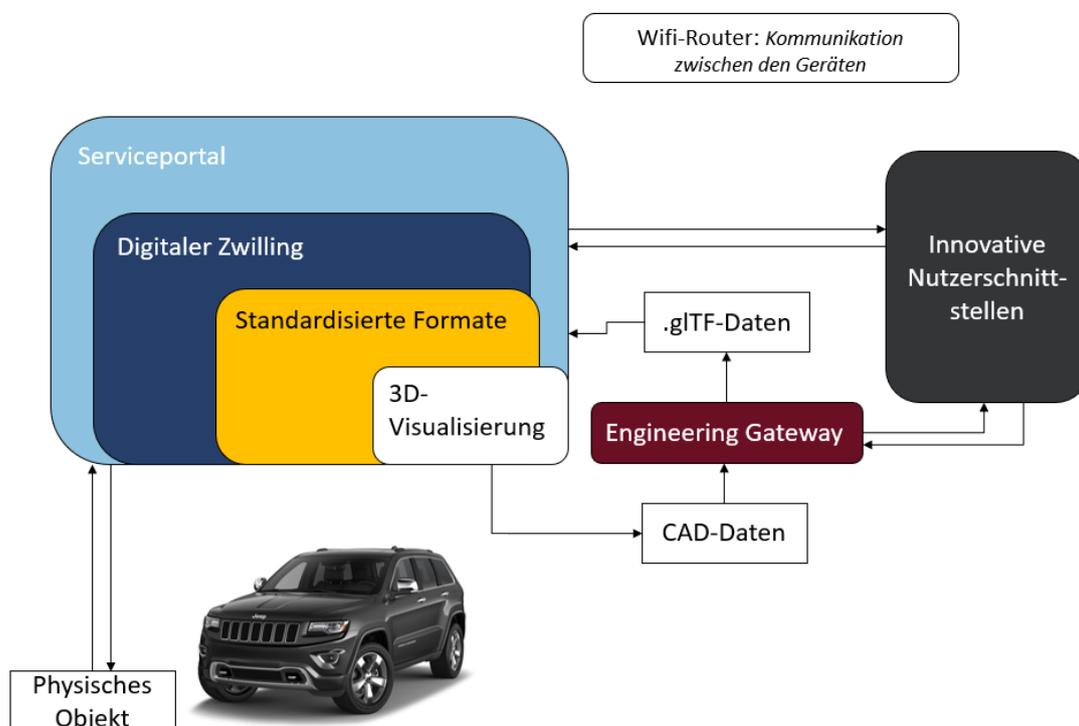


Abbildung 47: Netzwerkarchitektur (eigene Abbildung)

Die Plattform übernimmt die Koordination der Datenübertragung zwischen den einzelnen Geräten. Zudem soll ein plötzlicher Verbindungsverlust eines Clients keine Folgen für das

System haben. Bei einem erneuten Verbindungsaufbau soll der entsprechende Client automatisch verbunden und eindeutig identifiziert werden. Zudem sollen verschiedene Client-Anfragen voneinander unterschieden werden, um entsprechende Antworten zurückzusenden. Das Mixed Reality Device muss als Teil des Gesamtnetzwerks auf die prüfrelevanten Daten zugreifen können sowie am Datenaustausch mit anderen Netzteilnehmern beteiligt sein. Hierfür muss sich das Gerät als Client mit dem Server verbinden können und entsprechend in der Lage sein, Daten zu empfangen und an den Server zurückzusenden.

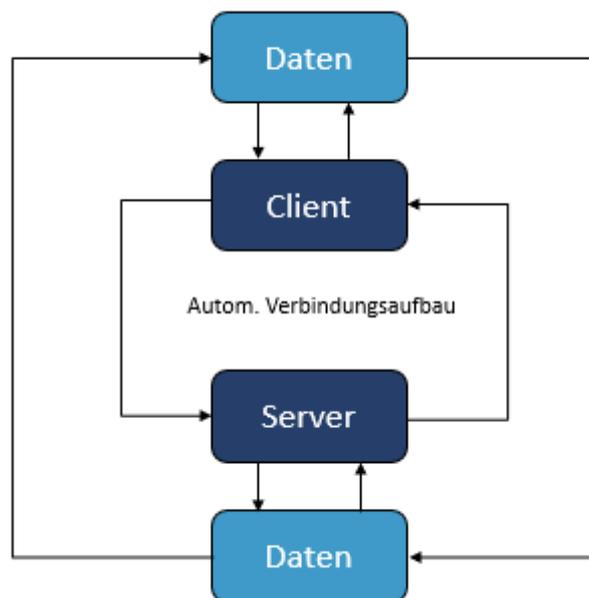


Abbildung 48: Datenübertragung (eigene Abbildung)

Bevor der Datenaustausch stattfinden kann, muss eine Socket Verbindung zwischen dem Client und dem Server aufgebaut werden. Dies soll automatisch im Hintergrund ablaufen, wobei der Nutzer über den Verbindungsstatus in Form eines visuellen Symbols informiert wird. Nachdem der Verbindungsaufbau erfolgreich abgeschlossen worden ist, soll der Datenaustausch ermöglicht werden. Hierbei werden Anfragen an den Server gesendet und anschließend die entsprechende Antwort empfangen. Dies kann in Form einer einmaligen Anfrage erfolgen oder auch kontinuierlich mit einem bestimmten Intervall, um beispielsweise Echtzeitdaten zu erhalten. Über eine weitere in die Architektur eingebettete Schnittstelle wird auch die direkte Kommunikation mit dem jeweiligen Fahrzeug bzw. Prüfobjekt realisiert. Die Fahrzeugdaten sollen nach dem Verbindungsaufbau an den Server geschickt werden, wobei dies entweder auf Anfrage, einmalig oder kontinuierlich stattfinden soll. Die Datenübertragung soll für alle Teilnehmer einheitlich gestaltet werden, um beliebig

viele Geräte anschließen zu können, ohne dass die Datenstruktur angepasst werden muss. Grundlegend handelt es sich bei der Datenübertragung zunächst um Anfragen, die in eine Antwort resultieren. Prüfrelevante Daten können unterschiedliche Formate aufweisen wie beispielsweise Text, Zahlen, Listen, Koordinaten und Bilder, aber auch 3D-Visualisierungsdaten z.B. im .glTF-Format. Es sollen Möglichkeiten gefunden werden, diese Formate beim Versenden in Byte-Arrays und beim Empfangen wieder zurück in die ursprüngliche Form zu konvertieren.

Prototypisch wird zu diesem Zweck eine Client - Server Architektur aufgebaut, die das Übertragen jeglicher Daten zwischen den Geräten über das WLAN-Netz bzw. über das TCP-/IP-Protokoll ermöglicht, vorausgesetzt alle Netzteilnehmer befinden sich im demselben lokalen Netzwerk. Die lokale IPv4 Adresse, die dem Servergerät zugewiesen wurde, wird automatisch ermittelt, indem alle Verbindungen des Hosts abgefragt werden. Der Port der Verbindung wird festgelegt und bleibt für alle Netzteilnehmer zunächst unverändert. Sobald der Server gestartet wurde, wird auf eingehende Verbindungen gewartet. Da zunächst nur zwei Clients vorhanden sind, werden ihre Verbindungen innerhalb separater Threads gestartet, die speziell für die entsprechenden Geräte und deren Verbindungen erstellt werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die einzelnen Geräte nur die Verbindungen nutzen, die für sie vorgesehenen wurden und die auch eindeutig voneinander zu unterscheiden sind. Über den HU-Adapter werden Fahrzeugdaten ausgelesen und übertragen. Generell werden Nachrichten über das TCP-/IP-Protokoll als Byte-Arrays gesendet und empfangen. Die Nachrichten in dieser Anwendung haben folgende Zusammensetzung, wie auf dem nachfolgenden Bild zu sehen ist.



Abbildung 49: Zusammensetzung der Nachrichten (eigene Abbildung)

Der erste Teil der Nachricht, bestehend aus den ersten beiden Bytes, beinhaltet den Kopf (Head) der Nachricht. Dieser muss beim Empfangen in das UTF-8 Format decodiert werden, um eine zweistellige Zeichenkette zu erhalten. Der Kopf bestimmt dann, welche Art von Nachricht das ist. Beispielsweise steht 'st' für Status und wird für eine

Verbindungsstatusanfrage weiterer Geräte an den Server gesendet. Die nächsten 4 Bytes beinhalten die Länge des nachfolgenden Byte-Arrays, indem die eigentlichen Daten untergebracht sind. Die Länge ist als ein Integer kodiert, womit Daten mit einer theoretischen Maximalgröße von ca. 4,29 GB mit einer Nachricht versendet werden können. Der Datenanteil ist dementsprechend ein Byte-Array, mit dem unterschiedliche Datenformate übertragen werden können, wie beispielsweise Zeichenketten, Bilder, JSON und .glTF Dateien. Zum Senden einer Nachricht muss zunächst die oben gezeigte Struktur erstellt werden. Dazu werden zwei Parameter an die entsprechende Funktion übergeben. Zum einen ist es eine zweistellige Zeichenkette, die den Kopf der Nachricht beinhaltet, und zum anderen ein Byte-Array mit den Daten, die versendet werden sollen. Innerhalb der Funktion wird der Kopf und die Länge der Daten zu Byte-Arrays umgewandelt und mit den eigentlichen Daten zusammengefügt. Anschließend wird das neu erstellte Byte-Array an den Empfänger gesendet. Mit dieser Vorgehensweise lässt sich eine Kommunikation des Mixed Reality Devices mit weiteren Programmen und Schnittstellen praxisnah realisieren. So kann sichergestellt werden, dass eine Anbindung des Digitalen Zwillinges bidirektional erfolgt und es auch während des Prüfprozesses die Möglichkeit gibt, Informationen dynamisch nachzuladen und den Prozess interaktiv zu gestalten.

Während des Prüfprozesses ist auch eine Kommunikation mit dem eigentlichen Prüfprojekt, dem Fahrzeug, notwendig. So können entsprechende Echtzeitdaten sowie auch abgespeicherte, für die Hauptuntersuchung relevante Fehler ausgelesen werden. Hierzu nutzt der Prüfer zum aktuellen Zeitpunkt einen externen Adapter, welchen es separat zu seiner eigentlichen Tätigkeit zu bedienen gilt. Die Notwendigkeit dieses Adapters soll durch die Einbindung einer direkten Schnittstelle zum Fahrzeug entfallen. Hierzu erfolgt die Implementierung eines HU-Adapters, welcher sich nahtlos in die Systemlandschaft integriert. Dieser verbindet durch direkten Kontakt das reale Fahrzeug mit dem virtuellen Produktmodell und ist in der Lage, die dortigen Daten bidirektional auszutauschen. So erfolgt die Erstellung immersiver wie auch intuitiver Prozesse. Hierzu soll auch die Visualisierungskomponente des Digitalen Zwillinges in die Prüfprozesse eingebunden werden. Durch die Visualisierung beispielsweise des Mängelkataloges, notwendiger Informationen oder auch häufiger Verschleißpunkte wird dem Prüfer eine Erleichterung seines Alltags geboten. So muss er nicht erst die richtigen Informationen herausuchen, sondern diese werden ihm kontextbezogen im Sichtfeld mit direktem Bezug zum realen Objekt eingeblendet. Grundlegend für die Visualisierung der Fahrzeugkomponenten und den Einbezug dieser in den Inspektionsprozess sind zwei Faktoren. Zum einen die Verfügbarkeit

von 3D-Visualisierungsdaten und zum anderen die Positionserkennung des Fahrzeugs im Raum. Durch das Engineering-Gateway und die dort enthaltene 3D-Content-Pipeline werden CAD-Daten bereits so aufbereitet und konvertiert zur Verfügung gestellt, dass sie in der Mixed Reality eingesetzt werden können. Falls keine passenden 3D-Modelle des Fahrzeugs zur Verfügung stehen, kann mit Hilfe des 3D-Scans ein eigenes Modell erstellt werden, um es als ein Model Target einzusetzen. In der nachfolgenden Abbildung ist die Front eines Fahrzeugs zu sehen, das zunächst mit einer Tiefenkamera eingescannt und anschließend als Model Target auf das Fahrzeug projiziert worden ist.

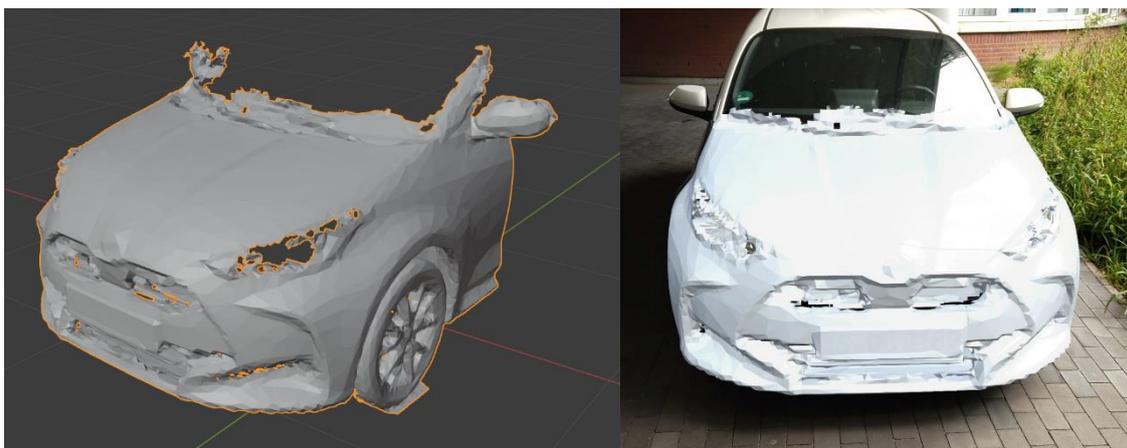


Abbildung 50: 3D Scan (links), Model Target (rechts) (eigene Abbildung)

Eine mögliche Alternative ergibt sich auch durch die Verwendung von markenneutralen, parametrischen Grundgerüsten. So kann bei fehlenden Engineering- bzw. 3D-Visualisierungsdaten ein parametrisches Konstrukt herangezogen werden, welches sich mit dem realen Fahrzeug wichtige Maße wie beispielsweise den Radstand oder die Breite teilt.



Abbildung 51: Parametrisches Fahrzeugmodell (Altair Engineering 2020)

So hat der Prüfenieur die Möglichkeit, auch ohne entsprechende konkrete auf das Fahrzeug passende Visualisierungsdaten eine neutrale Teil-Visualisierung von

kontextrelevanten Baugruppen vorzunehmen. Hierzu notwendige Informationen, die zur Parametrisierung des Modelles beitragen, gilt es, in das Modell des Digitalen Zwillings zu integrieren.

Zur Positionserkennung im Raum werden im Weiteren drei Methoden vorgestellt, mit denen die Hologramme der Fahrzeugkomponenten automatisch auf das reale Fahrzeug projiziert werden können. Die erste Methode ist das Image Target von Vuforia. Dieses bietet die Möglichkeit, zweidimensionale Bilder im Raum erkennen zu können, um deren Position sowie Rotation zu bestimmen. Hierzu eignet sich beispielsweise ein QR-Code, der an einer bestimmten Stelle des Fahrzeugs platziert wird und somit relativ dazu alle weiteren Fahrzeugkomponenten dargestellt werden. Ein Nachteil bezogen auf den Prüfprozess ist, dass für jedes Fahrzeugmodell eine Befestigungsposition mit separater Halterung definiert werden muss, was insbesondere bei einem Blick auf die Fahrzeugvielfalt mit enormem Arbeitsaufwand verbunden ist.



Abbildung 52: QR-Code angebracht im Motorraum (eigene Abbildung)

Im Gegensatz zu dem Image Target bietet das Model Target von Vuforia die Möglichkeit, die Fahrzeugposition anhand eines 3D Modells des Fahrzeugs zu bestimmen, womit eine zusätzliche Markierung wie im Falle des Image Targets überflüssig wird. Dazu wird zunächst ein Model Target mit dem Model Target Generator erstellt. Hier wird das 3D Model geladen, Orientierung und geometrische Einheiten festgelegt, -Car- als Model Type und -Adaptive- als Motion Hint ausgewählt. Anschließend wird ein Advanced View des Modells erstellt und das Model Target generiert. Dieses kann dann in das in Unity angelegte Projekt

der Anwendung eingefügt werden. Aufgrund von Lizenzbeschränkungen ist die Anzahl der Model Targets pro Account beschränkt, womit diese Methode nur bedingt einsetzbar ist.

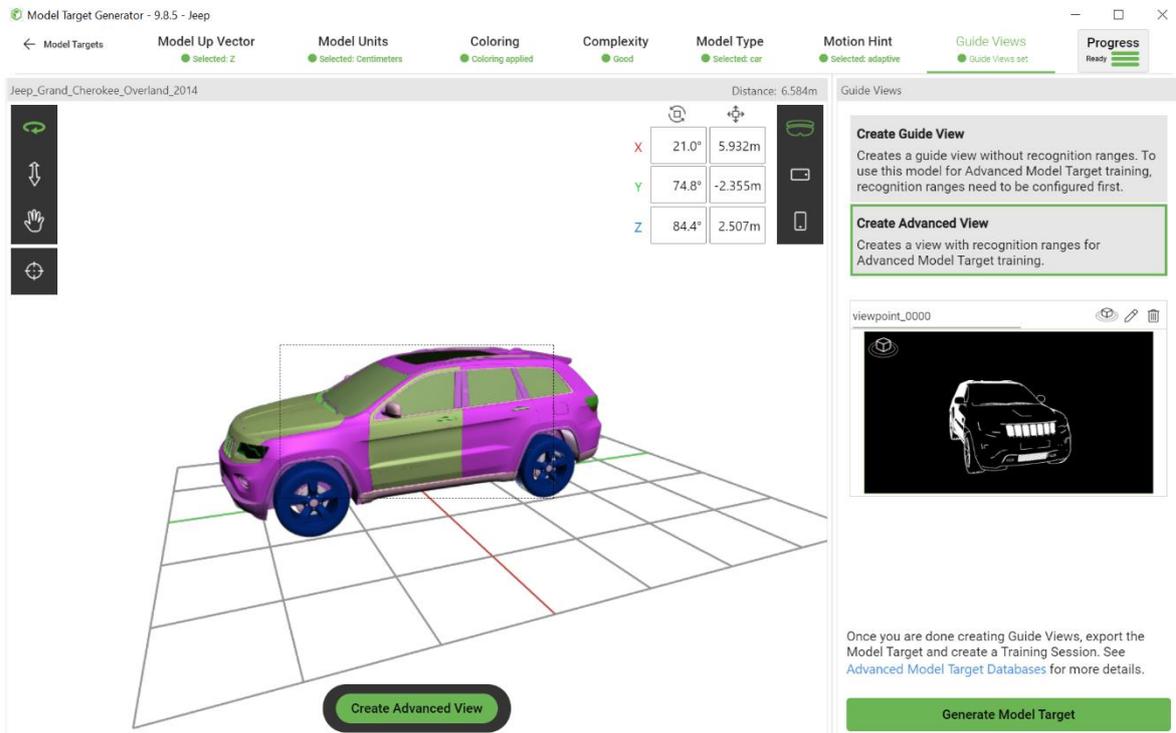


Abbildung 53: Model Target Generator (eigene Abbildung)

Im Unity-Projekt wird dann ein Objekt als Model Target erstellt und das entsprechende Dataset ausgewählt. An dieser Stelle ist es wichtig, dass die physikalischen Maße des Modells mit dem realen Fahrzeug übereinstimmen, damit die Projektion später korrekt dargestellt wird. Das EditorPreview Objekt dient zur Orientierung bei der Positionierung der Komponenten. Hier kann das Fahrzeugmodell 1 zu 1 über das EditorPreview gelegt werden.

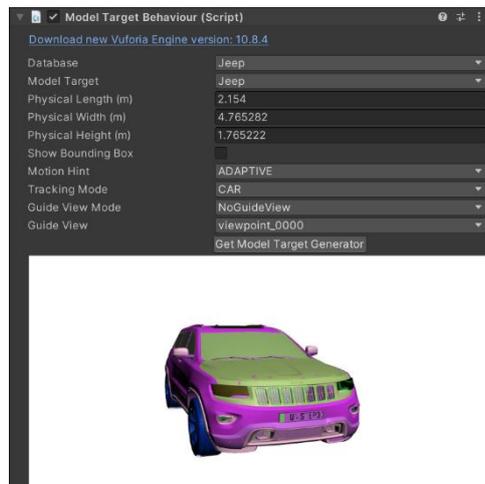


Abbildung 54: Model Target Objekt (eigene Abbildung)

Die Positionierung während des Prüfvorgangs erfolgt, indem das Vuforia Tracking gestartet wird. Dazu wird im Bereich -Position- die Schaltfläche -Start Vuforia-bzw. -Stop Vuforia- verwendet. Aufgrund der Größe des Objekts und eventueller Reflektionen muss ausreichend Abstand zum Fahrzeug eingehalten und bestenfalls frontal auf das Fahrzeug geschaut werden, damit dieses auch ordnungsgemäß erkannt wird. Das Resultat ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen.



Abbildung 55: Positionierung des Modells auf das Fahrzeug (eigene Abbildung)

Folgend wird eine weitere Lösung zur Objekterkennung vorgestellt, welche losgelöst von bereits auf dem Markt bestehenden Konzepten und deren Einschränkungen angesehen werden kann. Mit Hilfe von Sensoren der HoloLens sowie eines Deep Learning Verfahrens wird hierzu eine eigenständige Positionsbestimmung entwickelt. Zu diesem Zweck muss zunächst der Zugriff auf die Sensordaten der HoloLens sichergestellt werden. Dies geschieht unter Verwendung des open-source Projektes HoloLens2-Unity-ResearchModeStreamer. Dieses basiert auf dem offiziellen Projekt von Microsoft HoloLens2ForCV und erlaubt das Übertragen der Sensordaten von beiden Tiefenkameras, der Infrarotkamera sowie der Videokamera, auf einen Entwicklungs-PC. Hierbei erfolgt zunächst das Anlegen des Projektes in Visual Studio. Die dabei generierte Datei wird in das Unity Project importiert und entsprechend angepasst.

Für den Zugriff auf die Sensoren ist das Skript ObjectDetection.cs verantwortlich. Hier werden die Sensoren initialisiert, die Sensordaten visualisiert oder an den Server gesendet. Dabei übernimmt dieses Skript, falls aktiv, die kontinuierliche Abfrage der Daten, das Erstellen eines Datasets für das Deep Learning Verfahren sowie die Positionsbestimmung von Objekten. Insbesondere beim Erstellen des Datasets ist es relevant einzusehen, was die Sensoren tatsächlich aufnehmen. Hierbei können sekundäre Objekte wie Wände, Säulen

oder Steine einen negativen Einfluss auf das Training des Deep Learning Modells ausüben, so muss ihre Miterfassung möglichst vermieden werden. Zudem sind Einflüsse der Reflektionen oder auch ungünstiger Lichtverhältnisse im Vorfeld sichtbar, womit auch der Lernerfolg beurteilbar wird. An dieser Stelle wurde zunächst beschlossen, die Daten der Long-Throw Tiefenkamera und der Infrarotkamera für das Deep Learning Model zu benutzen. Diese werden auch in der Anwendung unter dem Menüpunkt -Position- auf dem sekundären Tablet angezeigt, wie im nachstehenden Bild zu sehen. Anhand dieser Daten wird eine Positionsbestimmung von Fahrzeugen realisiert.



Abbildung 56: Tiefenbild (links) und Infrarotbild (rechts) (eigene Abbildung)

Die Sensoren funktionieren auf der HoloLens selbst und können nicht in Unity verwendet werden. Die Daten werden innerhalb der Update() Funktion ständig aktualisiert und als Texturen auf dem sekundären Tablet dargestellt, falls der Benutzer den Bereich -Position- aktiviert hat. Gleichzeitig können diese zur Erstellung des Datasets benutzt werden. Das Anlernen des Deep Learning Modells wird auf dem Computer realisiert, weshalb die Daten in Form von Bildern auf der Festplatte des Rechners gespeichert werden. Hinzu kommen die Koordinaten des Objekts relativ zu der momentanen Position der HoloLens bezogen auf die einzelnen Bilder, die bei dem Lernprozess gebraucht werden. Deswegen wird im ersten Schritt das Hologramm des Fahrzeugs exakt über das reale Fahrzeug manuell positioniert. Hierfür werden die Schaltflächen im Bereich -Position- benutzt, wie im Bild zu sehen ist. So wird sichergestellt, dass die momentanen Koordinaten des Hologramms mit den Sensordaten übereinstimmen, um ein überwachtetes Lernverfahren anwenden zu können.

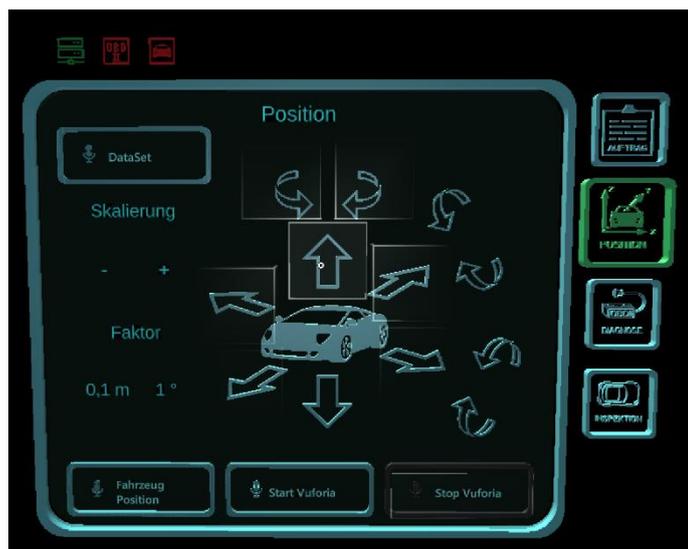


Abbildung 57: Manuelle Positionierung der Hologramme (eigene Abbildung)

Dabei wird anhand der Eingangsdaten, in dem Fall sind das die Sensorbilder, ein Ausgangswert geschätzt und mit dem hinterlegten Sollwert verglichen. Anhand der Abweichung werden die Gewichte des Modells so angepasst, dass der Fehler minimiert wird. Idealerweise soll am Ende des Lernvorgangs die Schätzung möglichst genau dem Sollwert entsprechen. Im Gegensatz zum Klassifikationsmodell für die Gestenerkennung wird hier eine Regression verwendet, um Koordinaten des Fahrzeugs im Raum schätzen zu können. (MATZKA 2021) Die Funktion zum Erstellen des Datasets verbirgt sich hinter der Schaltfläche -Dataset- im Bereich -Position-, womit ein Seitenmenü aufgeklappt wird, um ein willkürliches Starten zu vermeiden, was ggf. ein schon angelegtes Dataset überschreiben würde.

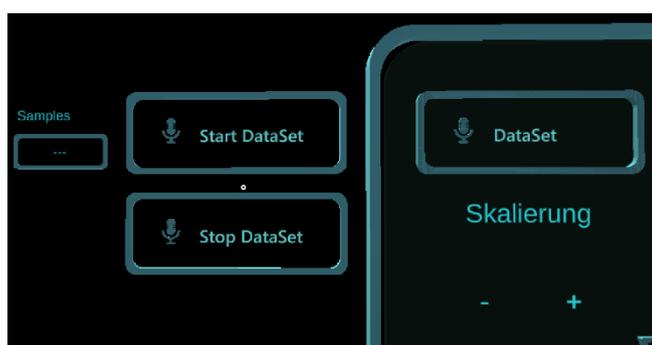


Abbildung 58: Dataset Untermenü (eigene Abbildung)

Mit der Schaltfläche -Start Dataset- wird innerhalb der Update() Funktion ein Bereich freigeschaltet, der asynchron die Sensordaten in Bytes umwandelt und an den Server sendet. Gleichzeitig werden bei jedem Durchgang die Koordinaten des Hologramms berechnet, die die Position und die Rotation des Hologramms relativ zu der HoloLens beschreiben. Die -

Samples- Anzeige gibt die Anzahl der Durchgänge an. Es werden insgesamt sechs Koordinaten benötigt, die die Pose des Hologramms beschreiben. Drei davon sind Abstände in X-, Y- und Z-Richtung. Die anderen drei sind Rotationen in Eulerwinkeln um die X-, Y- und Z-Achse. Zur Berechnung dieser werden hier Transformationsmatrizen verwendet, um die entsprechenden Koordinaten im Koordinatensystem der HoloLens darzustellen.

```
Mit    var CamMat = Camera.main.transform.localToWorldMatrix;
```

```
und    var ObjMat = DetectedObj.transform.localToWorldMatrix;
```

werden die Transformationsmatrizen der Kamera und des Objekts bezogen auf das Welt-Koordinatensystem erstellt. Mit `var TransMat = CamMat.inverse * ObjMat;` wird eine neue Transformationsmatrix mit Bezug auf das Kamera-Koordinatensystem berechnet.

```
Mit var position = new Vector3(TransMat[0, 3], TransMat[1, 3], TransMat[2, 3]);
```

bzw. `var euler = TransMat.rotation.eulerAngles;` werden die Positions- und Rotationskoordinaten des Objekts entnommen. Diese werden dann zu einem Byte-Array zusammengefasst. Anschließend werden die Sensordaten ebenfalls in Bytes umgewandelt, an die Koordinaten angehängt und mit dem Header `-dh-` an den Server geschickt. Seitens des Servers werden die Koordinaten extrahiert, die Bilder benannt, durchnummeriert und auf die Festplatte im vorher definierten Ordner als `.tiff`-Dateien gespeichert. Die Namen der Dateien sowie die zugehörigen Koordinaten werden in einer Tabelle zusammengefasst. Sobald die gewünschte Anzahl der Durchgänge erreicht worden ist, wird mit der Schaltfläche `-Stop Dataset-` der Header `-ds-` an den Server gesendet. Seitens des Servers wird dadurch mit der Funktion `createList()` die zuvor erstellte Tabelle als eine `DataSet.csv` gespeichert, womit das Erstellen des Datasets abgeschlossen wird. Das Training übernimmt ein separates Skript. Als erstes wird die `DataSet.csv` aufgerufen, woraus die Bilder anhand der Namenseinträge von der Festplatte als Arrays geladen werden. Die zugehörigen Koordinaten werden pro Eintrag ebenfalls der `DataSet.csv` Datei entnommen. Die Rotationskoordinaten müssen zunächst in Sinus- und Cosinus-Werte umgewandelt werden, um das Problem der vollen Umdrehung zu umgehen. Dabei handelt es sich um einen Modellfehler, der im Bereich der vollen Umdrehung entsteht, bei dem nahezu identische Bilder völlig unterschiedliche Rotationswinkel hinterlegt haben. Beispielsweise würden hier Winkel von $0,1^\circ$ und $359,9^\circ$ dafür sorgen, dass das Model an dieser Stelle einen völlig falschen Wert schätzt, da die Bilder optisch und somit verfahrenstechnisch kaum zu unterscheiden sind. Mit den Sinus- und Cosinus-Werten können dabei die Rotationen

eindeutig als stetige Funktionen beschrieben werden, wie in nachfolgenden Abbildungen gezeigt wird.

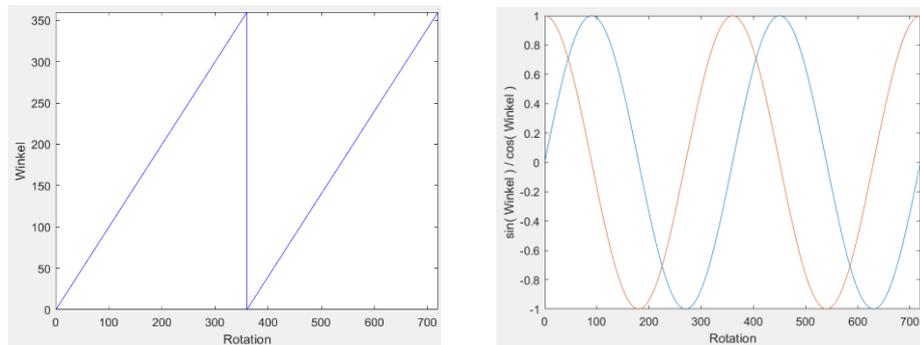


Abbildung 59: Unstetige und stetige Funktion der Rotation (eigene Abbildung)

Nachdem alle Daten geladen worden sind, wird deren Reihenfolge zufällig neu sortiert und in ein Trainingsdataset sowie ein Validierungsdataset aufgeteilt. Dabei wird das Infrarotbild unterhalb an das Tiefenbild angehängt. In dieser Form werden die Bilder dann als Eingangsdaten für das Training verwendet. Dieses Vorgehen erhöht die Menge an Daten, die für das Training zur Verfügung stehen und dient der Erhöhung der Genauigkeit des Modells. Auf Abbildung 64 ist ein Eingangsbild eines Fahrzeugs zu sehen, das für das Training benutzt worden ist. Hierbei wird deutlich, dass das obere Tiefenbild den Boden und die unmittelbare Front des Fahrzeugs erfassen kann. Die Infrarotkamera sieht zwar nur das Nummernschild, dafür aber sehr deutlich. Das Rauschen im oberen Viertel des Tiefenbildes deutet darauf hin, dass die Motorhaube des Fahrzeugs wegen Reflektionen nicht durch die Tiefenkamera erfasst wurde. Insbesondere tritt dieses Problem bei dunklen Metalllackierungen auf und wirkt sich negativ auf das Trainingsresultat aus. Zusätzlich wird an dieser Stelle deutlich, dass für verschiedene Lackierungen eines Fahrzeugmodells auch verschiedene Datasets erstellt und entsprechend verschiedene Machine Learning Modelle angelern werden müssen.

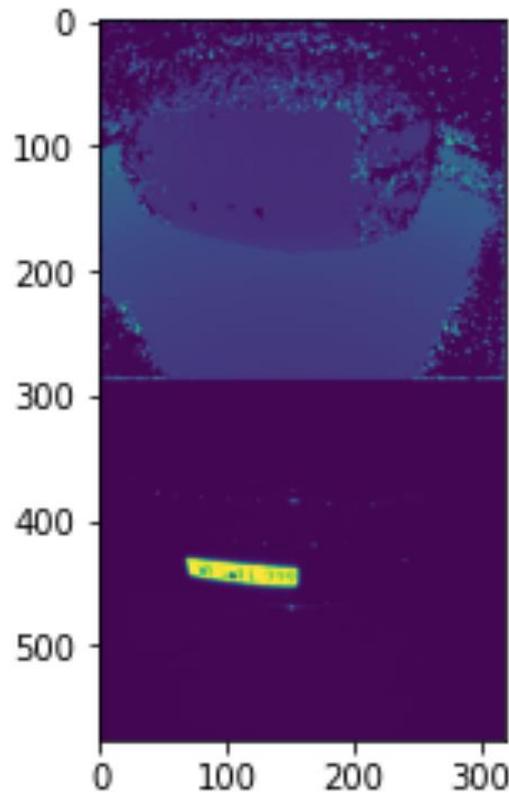


Abbildung 60: Eingangsdaten Tiefenbild oben und Infrarotbild unten (eigene Abbildung)

Das neuronale Netzwerk setzt sich aus folgenden Schichten zusammen:

- Conv2D sind Faltungsschichten mit einstellbaren Parametern wie die Anzahl der Neuronen, Größe des Kernels und der Aktivierungsfunktion
- AveragePooling2D sind Pooling-Schichten mit einstellbaren Parametern wie die Pooling-Größe, Sprungweite und Padding
- Dense sind einfache Schichten mit einer einstellbaren Anzahl der Neuronen und der Aktivierungsfunktion

Des Weiteren kann die Lernrate, Art der Fehlerfunktion, Chargengröße und die Anzahl der Epochen eingestellt werden. Die Struktur des verwendeten neuronalen Netzwerks ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen.

```

lenet = Sequential()
lenet.add(Conv2D(32, kernel_size=(3, 3), activation='relu', input_shape=X.shape[1:], padding='same', name='C1'))
lenet.add(AveragePooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(1, 1), padding='valid'))
lenet.add(Conv2D(64, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
lenet.add(AveragePooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(1, 1), padding='valid'))
lenet.add(Conv2D(64, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
lenet.add(AveragePooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(1, 1), padding='valid'))
lenet.add(Conv2D(64, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
lenet.add(AveragePooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(1, 1), padding='valid'))
lenet.add(Conv2D(32, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
lenet.add(AveragePooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(1, 1), padding='valid'))
lenet.add(Flatten())
lenet.add(Dense(32, activation='tanh', input_shape=X.shape[1:]))
lenet.add(Dense(64, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(64, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(64, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(64, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(64, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(64, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(32, activation='tanh'))
lenet.add(Dense(9, activation='linear'))
lenet.compile(optimizer=optimizers.RMSprop(lr=0.0001), loss='mse', metrics=['mae'])
history = lenet.fit(X, y, batch_size=1, epochs=10, validation_data=(X_test, y_test))

```

Abbildung 61: Neuronales Netzwerk (Struktur) (eigene Abbildung)

Anhand des erstellten Datensets mit 1000 Samples wurde mit diesem Netzwerk ein mittlerer absoluter Fehler von ca. 0,04-0,05 bei der Validierung erreicht, wie in der Abbildung 44 zu sehen ist.

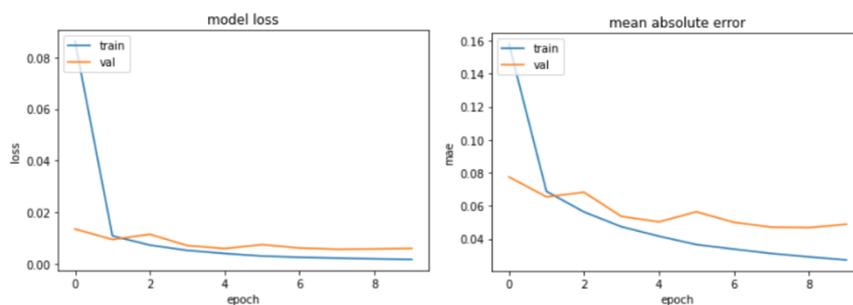


Abbildung 62: Resultat des Trainings (eigene Abbildung)

Aus dem Validierungsdataset wurden darin enthaltene 300 Sollwerte mit den entsprechenden Schätzungen verglichen. Die berechnete mittlere absolute Abweichung der geschätzten Werte zu den Sollwerten der Fahrzeugposition sieht dabei folgendermaßen aus:

Mittlere absolute Abweichung:

X Richtung: 11.93 cm	X Achse	: 1.13 °
Y Richtung: 6.51 cm	Y Achse	: 2.25 °
Z Richtung: 3.99 cm	Z Achse	: 3.64 °

Die Abweichungsverteilung für den Abstand und die Rotation ergaben folgendes Bild:

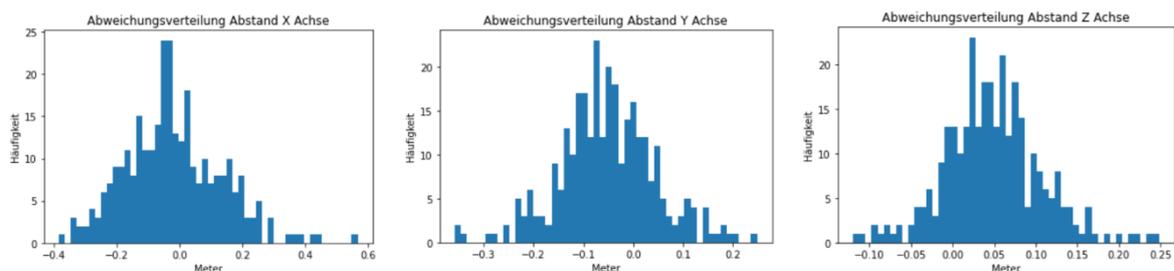


Abbildung 63: Abweichungsverteilung für den Abstand

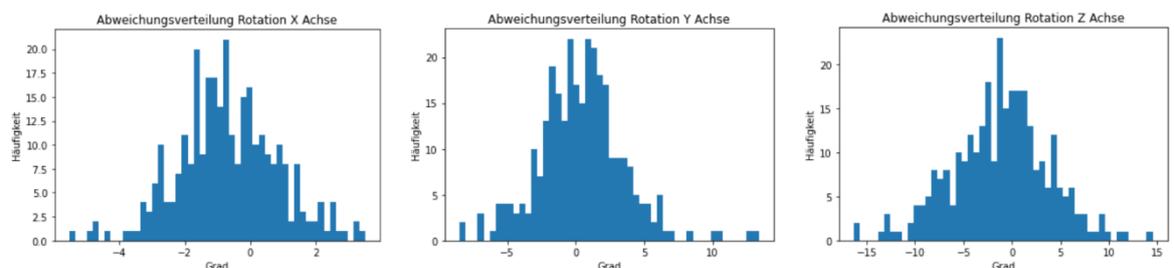


Abbildung 64: Abweichungsverteilung für die Rotation (eigene Abbildung)

Die maximale Abweichung bei der Schätzung zu der Sollposition beträgt dabei:

Maximale Abweichung:

X Richtung: von -0.38 cm bis $+0.57$ cm X Achse: von -5.54 ° bis $+3.52$ °
 Y Richtung: von -0.36 cm bis $+0.25$ cm Y Achse: von -8.49 ° bis $+13.37$ °
 Z Richtung: von -0.12 cm bis $+0.25$ cm Z Achse: von -16.3 ° bis $+14.51$ °

Angesicht der geringen mittleren absoluten Abweichung relativ zu der Fahrzeugabmessungen sowie der Abweichungsverteilung wird deutlich, dass die meisten Schätzungen sich überwiegend in der Nähe der Sollwerte befinden, woraus sich schließen lässt, dass das erfolgreich angelernt wurde. Im Einzelnen können die Abweichungen jedoch gravierend ausfallen. Nachdem das Modell trainiert worden ist, wird es gespeichert und dem zugehörigen Fahrzeugverzeichnis zugeordnet. Die Positionsbestimmung anhand des Deep Learning Models wird mit der Funktion `GetPosition()` ausgeführt. Dabei wird mit `var CamMat = Camera.main.transform.localToWorldMatrix;` zunächst die momentane Kameraposition im Raum bezogen auf das Weltkoordinatensystem festgelegt. Danach werden die Daten beider Sensoren mit dem Header `-gd-` an den Server gesendet. Dort werden mit der Funktion `GetPositionDual(data)` die beiden Bilder zunächst auf der Festplatte zwischengespeichert und anschließend als Arrays geladen und zusammengefügt. Mit `pred = lenet_dual.predict(inputData/(4096*2))` werden anhand des zuvor geladenen Models die relativen Koordinaten geschätzt. Die Rotationskoordinaten werden dabei mit der `arctan2` Funktion aus den Sinus bzw. Cosinus Werten wieder in Grad umgerechnet und zurück an die HoloLens gesendet.

Dort werden die Koordinaten in float Zahlen konvertiert und mit `NewTransMat.SetTRS(new Vector3(Pred_Pos_X, Pred_Pos_Y, Pred_Pos_Z), rotation, new Vector3(1f, 1f, 1f))`; eine neue Transformationsmatrix in Bezug auf das Kamerakoordinatensystem erstellt. Mit `var NewObjMat = CamMat * NewTransMat`; wird mit der zuvor erstellten Kameraposition im Weltkoordinatensystem sowie der gerade erstellten Transformationsmatrix die Position des Objekts im Weltkoordinatensystem berechnet. Schließlich wird das Fahrzeughologramm mit den berechneten Koordinaten im Raum positioniert.

Nach der Vorstellung der notwendigen Architektur und der Bausteine zur Realisierung einer Mixed-Reality-Anwendung soll diese nun, angelehnt an die Anforderungen des Prozesses einer Hauptuntersuchung gemäß Kapitel 2 umgesetzt werden, um darzulegen, wie diese den Prozess bereichern kann. Der Mehrwert einer solchen Anwendung und die damit einhergehende Optimierung bestehender Prozesse steht im Fokus. So soll diese nicht für den jeweiligen Prüflingenieur zusätzliche Arbeit und digitale Belastung bedeuten, sondern vielmehr eine Vereinfachung und Beschleunigung im immersiv gestalteten Umgang mit (Visualisierungs-)Daten mit sich bringen.

Um auch inkongruente Nutzerschichten initial vom Mehrwert der Mixed Reality Umgebung zu überzeugen und ihnen das Bedienkonzept zugänglich zu machen, wurde ein Tutorial erstellt, welches die Grundlagen der Bedienung und die Grundlagen des Arbeitens mit der HoloLens vermittelt. Hier sollen die Gestensteuerung des virtuellen Tablets sowie verschiedene Bedienmöglichkeiten der Schaltflächen vorgeführt werden. Dieses Tutorial kann für erfahrene Nutzer auch übersprungen werden.



Abbildung 65: Tutorial Oberfläche (eigene Abbildung)

Startet der Nutzer die Anwendung und hat das Tutorial abgeschlossen, so landet er im Bereich -Auftrag-. In Anlehnung an die bisherigen Arbeitsabläufe findet der Prüfer hier eine Liste der Aufträge wieder, welche über das Serviceportal an das Mixed Reality-Device übertragen wurden und für den Sachverständigen relevant sind. Bei der Auswahl eines spezifischen Auftrags werden dem Ingenieur direkt in seinem Blickfeld bzw. auf das virtuelle Tablet abgelegte relevante Auftragsdaten angezeigt. Zudem werden schon zu diesem Zeitpunkt aus dem Modell des Digitalen Zwillinges aufbereitete Fahrzeugdaten, welche für den anstehenden Prüfprozess relevant sind, zur Verfügung gestellt. Konkret geschieht das Laden der Dateien bzw. der Austausch zwischen Client und Server über eine .JSON Datei. Dabei muss sich die HoloLens bereits mit dem Server verbunden haben. Für jeden Auftrag, der geladen wurde, wird eine Schaltfläche generiert, die zunächst nur Informationen zur Auftragsnummer, Marke, Modell, VIN etc. enthält. Der Benutzer kann hier einen Auftrag auswählen, dabei werden auftragsbezogene Daten aktiviert bzw. auf dem Server geladen. Bei der Auswahl eines Auftrags werden dem Prüfer auch Einblicke über die Historie des Fahrzeuges ermöglicht. So kann über den Digitalen Zwilling Bezug zu vorhergegangenen Prüfprozessen genommen werden oder etwaige, für die Hauptuntersuchung relevante Reparaturen eingesehen werden. Auch sind im Dataset des Digitalen Zwillinges entsprechende Machine Learning Modelle sowie Listen über die Konformität diverser Bauteile hinterlegt. Diese werden dann im späteren Programmablauf verwendet und erlauben die Identifizierung von Fehlstellen direkt am Fahrzeugmodell oder aber den Bezug zu historienbasierten Daten, die durch Hauptuntersuchungen an Fahrzeugen mit ähnlichen Eigenschaften gesammelt werden konnten. Um die Funktion der 3D-Visualisierung mit Bezug auf das reale Untersuchungsobjekt und damit die Hauptfunktionalität nutzen zu können, werden die Identifizierungskomponenten des Programmes aktiviert sowie die entsprechenden Visualisierungsdaten der Fahrzeuge dynamisch aus dem Digitalen Zwilling geladen und aktiviert.



Abbildung 66: Auftragsdaten (eigene Abbildung)

Anschließend kann sich der Prüfer der Position des Holograms widmen. Dies ist der Kern der verbesserten Prozessstruktur. Zu diesem Zeitpunkt verschmilzt die virtuelle Welt des Digitalen Zwillings mit dem realen Objekt. Beide werden zu einer Einheit. So können die Daten des Digitalen Zwillings direkt an dem realen Objekt visuell angezeigt werden. Bedingt durch die Visualisierung einzelner Komponenten können Baugruppen hervorgehoben werden und ein Soll- Ist-Abgleich kann stattfinden. Folgend wird der Prozess der Hologrammpositionierung näher erläutert. Der Prüfer kann mit dem Sprachbefehl -Position- oder einem Klick auf die entsprechende Schaltfläche in den Bereich der Positionserkennung wechseln. Hier soll der Prüfer mit der entsprechenden Schaltfläche den Vorgang zur automatischen Positionserkennung starten. Sobald das Fahrzeug erkannt worden ist und das Hologramm über das Fahrzeug projiziert wurde, soll die Objekterkennung wieder gestoppt werden. Bei Bedarf soll die Position manuell nachjustiert werden können. Mit der Schaltfläche -Start Vuforia- wird das Tracking des Model Targets gestartet. Model Targets sind bereits im Unity Projekt enthalten oder können auch zur Laufzeit dynamisch implementiert werden und werden entsprechend mit der Auftragsauswahl aktiviert. Sobald das Fahrzeug erkannt und das Hologramm passend darauf projiziert worden ist, wird mit -Stop Vuforia- das Tracking gestoppt. Das Hologramm bleibt dabei an der letzten erkannten Position. Innerhalb der Anwendung werden die Sensordaten der Tiefenkamera sowie der Infrarotkamera auf dem sekundären Tablet visualisiert. Für den eigentlichen Prüfprozess spielen diese dabei keine direkte Rolle, können jedoch im Prozess der Dataset-Erstellung für Machine Learning Verfahren benutzt werden. Als Alternative zu der Positionsbestimmung mit Vuforia Model Target können die Sensordaten und ein entsprechendes Deep Learning Model verwendet werden. Mit der Schaltfläche -Fahrzeug

Position- werden Sensordaten an den Server versendet und als Antwort die geschätzten Koordinaten des Fahrzeugs relativ zu der momentanen Position der Kamera empfangen. Als Resultat wird das Fahrzeughologramm anhand dieser Koordinaten im Raum positioniert. Mögliche Abweichungen zu der tatsächlichen Fahrzeugposition können hier mit der manuellen Positionierung korrigiert werden. Mit entsprechenden Schaltflächen ist es möglich, die Position, Ausrichtung und die Skalierung des Fahrzeughologramms manuell zu ändern. Dies dient dazu, eventuelle Abweichungen bei der Positionsbestimmung auszugleichen oder auch zur Erstellung eines Datensets für Machine Learning Verfahren.



Abbildung 67: Positionsbestimmung (eigene Abbildung)

Nach erfolgreicher Positionsbestimmung des Fahrzeuges kann sich der Prüferingenieur in den Bereich der -Diagnose- begeben. Hier können kontextbezogen auf das jeweilige Fahrzeug in Kombination mit den Daten des Digitalen Zwillinges wichtige Positionen und Orte für einen -Pre-Check- eingeblendet werden, die dem Prüferingenieur seine Arbeit erleichtern. So kann beispielsweise die Identifizierung der Fahrgestellnummer, Verbauungsort der Batterie oder diverser Steuergeräte erfragt werden. Bei vielen Fahrzeugen sind die Verbauungsorte der Komponenten nicht ersichtlich und bedürfen einer ausführlichen Recherche. Durch eine Implementierung dieser Informationen aus dem virtuellen Produktmodell hinaus und einer optischen Hinführung des Prüferingenieurs zu den jeweiligen Orten seines Interesses lassen sich sowohl Zeit als auch Aufwand einsparen. Auch aus dem Digitalen Zwilling entnommene wichtige, übergeordnete Informationen über Rückrufaktionen, Gefahrenhinweise oder ähnliches können in diesem Schritt visualisiert- und dem Ingenieur bei einer ersten optischen Begutachtung direkt in sein Blickfeld immersiv-visuell zugänglich gemacht werden. Die Ansteuerung dieser Funktionalität kann zum einen über Sprachbefehle, zum anderen über eine spezifische Menüführung erfolgen.



Abbildung 68: Diagnosebereich (eigene Abbildung)

Auch die Anschlussstelle für den Onboard Diagnostics (OBD) Diagnosestecker lässt sich über dieses Menü identifizieren. Als finale vorbereitende Maßnahme kann der Prüfer nach identifizierter OBD-Dose den entsprechenden Diagnoseadapter ankoppeln und so auch auf die Echtzeitdaten des Fahrzeuges zurückgreifen. Zur Abfrage der Fahrzeugdaten muss eine Verbindung zwischen dem Fahrzeug und dem Server bestehen. Sobald diese Verbindung besteht, wird automatisch eine Anfrage zur Fahrgestellnummer an den Server gesendet und anschließend Echtzeitdaten empfangen. Diese wird zur Validierung mit der im Auftrag hinterlegten Fahrgestellnummer verglichen und bei Übereinstimmung grün markiert. Im Falle einer Abweichung wird die ausgelesene Fahrgestellnummer rot markiert und der folgende Prüfprozess ist nicht zugänglich. Folgend können Kilometerstände, Wartungsintervalle, Softwaremanipulationen über einen Abgleich mit dem Virtuellen Produktmodell ersichtlich gemacht werden und dem Prüfer im Rahmen eines ersten Vorchecks Visuell eingeblendet werden.

Ist der erste Pre-Check positiv verlaufen, so geht es an den eigentlichen Prüfprozess. Im Hauptfokus steht das Abarbeiten einer standardisierten Mängelliste, um das Fahrzeug auf seine Verkehrstüchtigkeit hin zu untersuchen. Dabei möchte der Prüfer nach Möglichkeit stets ungebunden in seinem Handeln sein und nicht an feste Schemata in der Reihenfolge gebunden werden. Vielmehr soll die Mixed Reality Umgebung den Prüfer bei seiner Arbeit unterstützen.

Nach dem Wechsel in den Bereich -Inspektion- über die integrierte Sprachsteuerung oder über die Auswahl der entsprechenden Schaltfläche erwartet dem Prüfer eine interaktive, immersive Darstellung des Mängelkatalogs mit direktem Bezug zum Modell des

Digitalen Zwillinge. Um die Prozesse dabei möglichst schlank zu gestalten, werden die Informationen dabei in mehrere Unterbereiche verteilt und es werden dem Prüfer nur gemäß einer spezifischer Auswahl Detailinformationen angezeigt und eingeblendet.

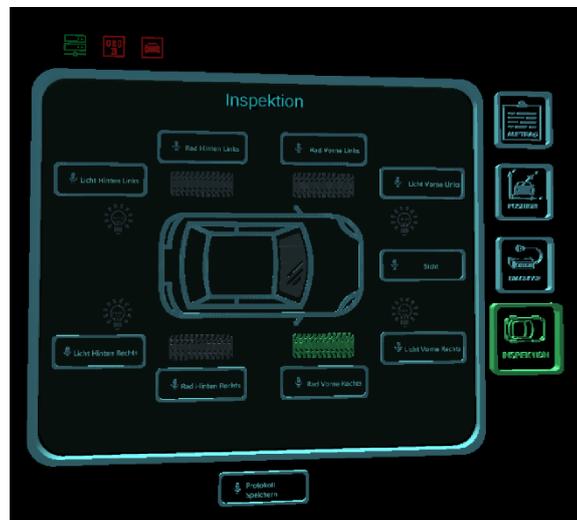


Abbildung 69: Inspektionsbereich (eigene Abbildung)

Der Prüfer erhält auf der Ansicht seines primären Tablets eine grafische Übersicht des Fahrzeuges, aus welcher sich verschiedene Unterbaugruppen ableiten lassen. In dieser Ansicht können einzelne Baugruppen zur Detailuntersuchung ausgewählt und selektiert werden. Dies kann durch direktes Anklicken oder durch Sprachsteuerung geschehen. Durch die Auswahl der jeweiligen Baugruppe werden dynamisch und kontextbezogen Inhalte des digitalen Zwillinge geladen und in Kombination mit der für die Hauptuntersuchung spezifischen Mängelliste zu dieser Baugruppe dem Prüferingenieur zur Verfügung gestellt. Die für die jeweilige Baugruppe relevanten Daten direkt vom Fahrzeug werden über die Diagnoseschnittstelle abgerufen und ebenso übertragen wie relevante Live-Daten. So kann sichergestellt werden, dass dem Prüfer stets nur die Informationen zur Verfügung gestellt werden, welche er im Rahmen seines aktuellen Untersuchungsprozesses benötigt und es nicht zu einer Reizüberflutung kommt. Durch die vorherige Vernetzung des realen Objektes mit dem virtuellen Produktmodell können die einzelnen Baugruppen nun auch immersiv mit den HU-relevanten Daten visualisiert werden. Nach entsprechender Auswahl der einzelnen Komponente in dem Tablet wird die Baugruppe dem Prüferingenieur am realen Fahrzeug optisch hervorgehoben. So kann dieser die Baugruppe einwandfrei identifizieren. Auf dem primären Tablet werden nun relevante Bestandteile des Mängelkataloges hinsichtlich der Baugruppe dargestellt. Der Ingenieur hat den Mängelkatalog nun im direkten Blick und muss nicht auf weitere Nachschlagewerke zurückgreifen. Sollte er einen Mangel am Fahrzeug in

der jeweiligen Baugruppe identifizieren, so können diese Mängel direkt mit Hilfe des primären Tablets abgespeichert werden. Hier hat der Prüfenieur die Möglichkeit, den Mangel sowohl in Text- wie auch in Sprachform oder aber als Bild oder Videosequenz zu hinterlegen. Der Mangel wird dann im Kontext des virtuellen Produktmodelles abgespeichert und ist für nachgelagerte Schritte verfügbar. Oft kommt es bei der Abarbeitung des Mängelkataloges zu Fragen, welche dann zum aktuellen Zeitpunkt mit Hilfe der Verwendung von Aufzeichnungen oder Recherchearbeiten beantwortet werden müssen. Ein praxisnahes Beispiel ist die Verwendung von Zubehörfelgen oder die Montage vom Serienstand abweichender Reifengrößen. Beide Szenarien können durch das Vorhandensein von ABEs oder Herstellerfreigaben im Rahmen der Legalität liegen, allerdings sind weder in der Zulassungsbescheinigung noch in anderen Unterlagen Informationen hierzu hinterlegt. Solche Daten gilt es in das Modell des Digitalen Zwillinges zu integrieren und dem Prüfenieur im Bereich der baugruppenrelevanten Daten zur Verfügung zu stellen. Mit einem Blick auf das sekundäre Tablet können solche Informationen direkt abgerufen werden. Bei Bedarf können diese auch direkt am realen Fahrzeug durch die Geometrieüberlagerung eingeblendet werden. In einem Folgeschritt wäre auch die Implementierung einer Geometrieerkennung für einzelne Fahrzeugkomponenten implementierbar. Parallel zur Erkennung der Fahrzeugkarosserie können so beispielsweise unterschiedliche Felgentypen identifiziert werden, welche dann direkt mit dem virtuellen Produktmodell abgeglichen werden können. So kann der Prüfenieur direkt eine Aussage darüber treffen, ob die montierten Felgen auf dem Fahrzeug zulässig sind. Aufwendige Recherchearbeiten entfallen. Eine weitere Erleichterung für den Prozess der Hauptuntersuchung liefert die Funktion historienbasierte Daten in den Prüfprozess zu implementieren. So können abgeschlossene TÜV-Prozesse die Basis bilden, um in einen Machine-Learning-Ansatz einzufließen und anhand fahrzeugspezifischer Parameter wie Kilometerstand, Einsatzgebiet, etc. Hinweise zu geben, auf welche Bauteile der Sachverständige ein besonderes Augenmerk legen sollte. Durch die Kopplung mit 3D-Visualisierungsdaten können dem Prüfenieur diese Komponenten optisch hervorgehoben werden oder er kann mit einem Wizzard durch diese potenziellen Schadstellen geführt werden, sofern er dies möchte. Ein weiterer Ansatz, welcher sich durch Machine-Learning realisieren lässt und den Alltag des Prüfenieurs erleichtert, ist die Implementierung eines sogenannten Soll- Ist-Vergleiches. Begibt sich der Prüfenieur in diesen Modus, so kann er sich das Objekt ansehen. Mit Hilfe eines antrainierten Modells,

welches aus vielen Fotosets besteht, kann nun ein Soll- Ist-Vergleich vollzogen werden und der Prüflingenieur wird auf etwaige Fehlstellen hingewiesen.

Nachdem eine jeweilige Baugruppe mit den vorgestellten Funktionsumfängen abgearbeitet wurde, kann sich der Prüflingenieur zurück im Hauptmenü des primären Tablets der folgenden Baugruppe widmen, bis er final alle für den Prozess der Hauptuntersuchung relevanten Teilaspekte abgearbeitet hat. Bereits abgearbeitete Baugruppen werden optisch hervorgehoben. So ist eine optische Übersicht über den aktuellen Arbeitsfortschritt gegeben. Das Vergessen oder die fehlende Bearbeitung von einzelnen Prüfschritten kann so minimiert werden. Ist der eigentliche Prüfprozess abgeschlossen, so können die Ergebnisse des Prüfprozesses über die Schaltfläche -Protokoll Erstellen- direkt zurück in die Plattform gespielt werden und zeitgleich an den Kunden übermittelt werden. Folgend können die Informationen auch direkt an eine Werkstatt übertragen werden, sodass diese in der Lage sind, die etwaig notwendige Reparatur zu planen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass sich die Teildisziplin des vorgestellten Konzeptes praxisnah am Beispiel des Prozesses der Hauptuntersuchung umsetzen lässt. Im Vordergrund steht dabei, auf die Bedürfnisse des Prüflingenieurs einzugehen und ihm entlang seiner Arbeitsschritte eine mehrwertschaffende Anwendung bereit zu stellen. Insbesondere die durchgängige Verfügbarkeit von relevanten Daten sowie der 3D-Visualisierung, welche sich aus dem Digitalen Zwilling über die neue Schnittstelle immersiv anzeigen lassen, erlauben eine Unterstützung des Ingenieurs. Dabei ist er nicht auf strenge Prozessabfolgen festgelegt, sondern kann sich seine Arbeitsreihenfolge weiterhin individuell und fahrzeugabhängig frei einteilen. Durch die Trageposition des Mixed Reality Devices auf seinem Kopf und die Möglichkeit, das dort integrierte Display hochzuklappen, hat der Ingenieur während des kompletten Prüfprozesses freie Hände und muss sich nicht der Bedienung zusätzlicher Gerätschaften widmen. Insbesondere die 3D-Visualisierung von Baugruppen, Bauteilen oder Points of Interest erleichtert den Arbeitsalltag des Prüfers und macht Rechercharbeiten auf anderen Endgeräten überflüssig. Die Möglichkeit, sich mit Bezug auf die Geometrie des aktuellen Prüfobjektes Echtzeitdaten oder 3D-Visualisierungsdaten einblenden zu lassen und diese mit Hinweisen in Foto-, Video-, Audio- oder Schriftform zu ergänzen, bietet einen Mehrwert und senkt die Arbeitsbelastung des Prüfers. Für die Positionsbestimmung der Hologramme wurden unterschiedliche Realisierungsverfahren vorgestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Verfahren durchaus praxistauglich sind und mit der Verwendung einer zusätzlichen Positionierhilfe eingesetzt

werden können. Auch durch den Historienbezug und den damit verbundenen Einbezug bereits absolvierter Hauptuntersuchungen können potenzielle Fehlerquellen optisch hervorgehoben werden. Weitere, notwendige Informationen können dem Prüfenieur direkt ins Blickfeld implementiert werden. Diese erleichtern den Arbeitsalltag des Prüfenieurs zusätzlich und stehen im bidirektionalen Austausch mit dem digitalen Zwilling. Die Verwendung eines Soll-Ist-Vergleichs erlaubt dem Prüfenieur eine automatisierte Identifizierung von Fehlstellen und eine Betrachtung dieser im Kontext des Prüfprozesses. Durch die Kopplung des Mixed Reality Devices an die Prüfungsplattform als Verwaltungsschale des Digitalen Zwillings können Prüfungsergebnisse automatisiert in das System übertragen werden. Hier können Abrechnungen erfolgen und sollte ein Fahrzeug Mängel aufweisen und ggf. repariert werden müssen, so können diese Ergebnisse direkt an die Werkstatt des Kunden übermittelt werden. Die vorgestellte Lösung deckt dabei jedoch nur einen Teilbereich des Automotive Aftersales ab und geht nur bedingt auf Detaillösungen und Sonderfälle ein.

5.3 Optimierung der Ersatzteilversorgung mit Fokus auf die Generative Fertigung

Insbesondere die Versorgungssicherheit und auch die Liefergeschwindigkeit haben im Rahmen von aktuellen Entwicklungen des Aftersales eine zunehmend wichtigere Stellung bekommen. Eine Möglichkeit auch in Zukunft handlungssicher zu agieren, ist die Implementierung der generativen Fertigung in den Automotive Aftersales. In der Theorie können so Bauteile, welche nicht verfügbar sind oder zu lange Lieferzeiten aufweisen, auf den 3D-Drucker verlegt werden und der Werkstatt wie auch dem Kunden eine schnelle Auftragsabwicklung garantieren. Der im Kapitel 4.2.3.2. thematisierte Lösungsbaustein liefert neben der Implementierung der generativen Fertigung unter Berücksichtigung der Datenaufbereitung und Datenkonvertierung ebenso einen Ansatz zur Bauteileidentifizierung und Eingrenzung gemäß der mit der generativen Fertigung realisierbaren Kerndaten. Als Voraussetzung bei der Realisierung wird eine Anbindung an ein bereits realisiertes Serviceportal mit implementiertem Digitalen Zwilling gemäß Kapitel 5.1 angenommen. Nur so kann die generative Fertigung in eine bestehende Lösungslandschaft eingebunden werden und Prozesse vereinfachen.

Zur Validierung des Konzeptes erfolgt die prototypische Anwendung. Dies geschieht in Kooperation mit dem Aftersales der Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG. Neben der eigentlichen Bauteilefertigung zur Überprüfung der Komplexität und Herstellbarkeit stehen auch die technische und rechtliche Absicherung im Mittelpunkt der Betrachtung. Ebenfalls findet die Versorgungsschnelligkeit im Falle einer Engpasssituation Einzug in die Betrachtung. Auch die After Sales gerechte Rekonstruktion und Erprobung werden vorgestellt. Zur Einbettung in den Kerngedanken einer einheitlichen Lösung werden die Implementierung in den Digitalen Zwilling sowie die Aufbereitung der dort integrierten CAD-Daten hin zur 3D-Druckbarkeit im Kontext der 3D Content Pipeline umgesetzt.

Initial erfolgt die Umsetzung des Konzeptes zur Identifikation von generativ fertigbaren Bauteilen unter Berücksichtigung des entworfenen Algorithmus innerhalb der offenen Prozesse des Änderungsgremiums Nachserie der Porsche AG. Das Konzept zur Identifikation von Bauteilen wurde mit einem in der Programmiersprache C# erstellten Userinterface, basierend auf Windows Forms realisiert. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, das Programm bzw. dessen Kernfunktionalitäten zu einem späteren Zeitpunkt auch direkt in übergeordnete Frontend-Lösungen wie das Serviceportal zu integrieren. Initial erfolgt innerhalb des Userinterfaces der Upload einer Excel-Datei, welche potenzielle Bauteileumfänge sowie Detailinformationen hinsichtlich der im Konzept definierten Filter beinhaltet. Diese Daten sind künftig als Bestandteil des Digitalen Zwillings anzusehen, sodass ein direkter Bezug zu diesem erfolgen kann und der Upload einer Excel-Datei als redundant angesehen werden kann.

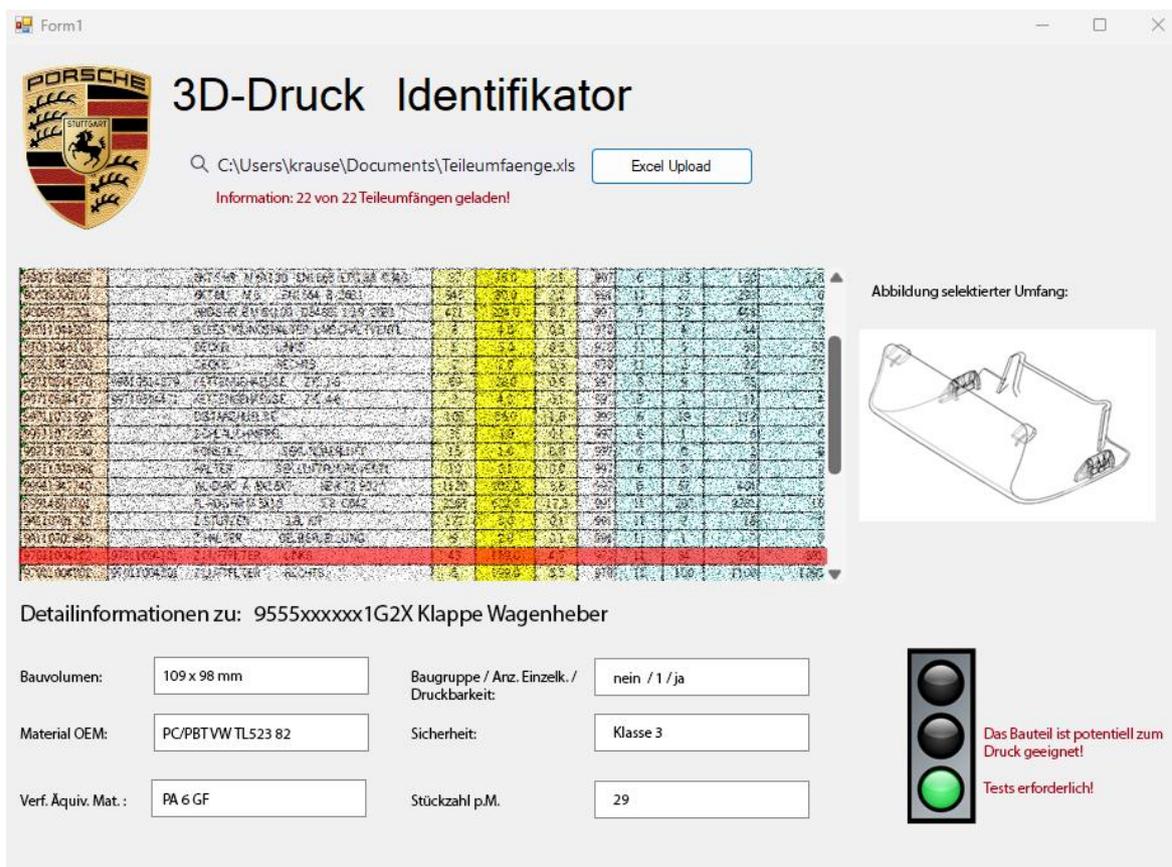


Abbildung 70: Userinterface zur Teileidentifikation (eigene Abbildung)

Unter Verwendung des Interfaces ist nun eine Filterung der Bauteile hinsichtlich ihrer generativen Fertigbarkeit möglich. Am konkreten Anwendungsbeispiel wird als ein potenziell geeignetes und Kriterien erfüllendes Bauteil innerhalb der offenen Prozesse die Klappe Wagenheber aus der Baureihe des Porsches Cayenne 1 (Baureihe 9PA) als eines vom 415 gefilterten Bauteilen, bei denen 12 die Kriterien des Algorithmus erfüllen, herausgegriffen. Es verfügt zudem über eine geringe Nachfrage und es steht ein Lieferantenwechsel samt Anschaffung eines neuen Werkzeugs an.

Das Anwendungsbeispiel besteht aus zwei Bauteilvarianten. Die erste Variante des Bauteiles wird im linken Schweller des Fahrzeuges verbaut, Variante zwei wird in gespiegelter Form im rechten verwendet. Die Abdeckungen dienen zum Verschluss der Aufnahme des Wagenhebers. Gefertigt sind sie aus dem Material PC/PBT im Spritzguss-Verfahren.

Das Material weist folgende Kenndaten auf:

Herstellverfahren	Derzeit verwendetes Material
Spritzguss	PC/PBT VW TL523 82 <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 45 N/mm² • Reißdehnung 100 % • Wärmeformbeständigkeit 120°C

Tabelle 3: Konventionell verwendetes Material (TL52382)

Beide Varianten des Bauteiles werden in einer Werkzeugform mit zwei Kammern gefertigt. Nach dem eigentlichen Produktionsprozess werden die Bauteile nachgearbeitet und in Vorbereitung auf eine spätere Lackierung in der Farbe des Kundenfahrzeugs grundiert. Die Bauteile gehören sowohl zu den gering belasteten als auch zu den wenig sicherheitsrelevanten Bauteilen. Im Falle eines Versagens fällt das Bauteil vom Fahrzeug, ohne eine Gefahr darzustellen. Dennoch unterlag das Bauteil vor der SOP diversen Produkttests zur Absicherung seiner Funktion. Die Bauteilemaße liegen gemäß der Bauteilezeichnung bei 109x98mm. Der aktuelle Bedarf des Bauteiles lässt sich mit 29 Bauteilen / Monat beziffern.

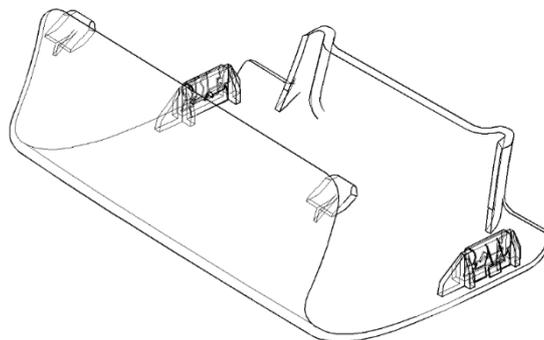


Abbildung 71: Originalbauteil (Bauteilezeichnung) (eigene Abbildung)

Für das ausgewählte Bauteil liegen die CAD-Daten aus der Produktentwicklung vor. Gemäß der Annahme einer bereits vorhandenen Instanz eines Digitalen Zwillings sind die entsprechenden CAD-Daten Bestandteil dessen. Das Engineering-Gateway nimmt eine Konvertierung dieser Daten hin zu 3D-Visualisierungsdaten vor. Diese Daten können durch die Erweiterung des Gateways auch dazu genutzt werden, automatisiert druckfähige Daten zu erzeugen. Hierzu wird der Output der triangulierten Daten im .glTF-Format in druckfähige Schichten aufgeteilt. Notwendige Stützstrukturen werden direkt mit angebunden an die CAD-Daten mit exportiert. So können künftig generative

Fertigungsschritte direkt an die Serviceplattform gekoppelt werden und aus dieser heraus gestartet werden. Wird ein Reparaturprozess ausgelöst, bei dem die Generative Fertigung das optimale Verfahren zur Ersatzteilebeschaffung darstellt, so können entsprechende Prozesse direkt aus dem Portal heraus initiiert werden.

Bei dem identifizierten Bauteil dient zur Fertigung der geplanten Prüfbauteile der Konzeptbau der Porsche AG. Dieser verfügt über einen eigenen 3D-Drucker-Park und ist in der Lage, die gewählten Bauteile zu fertigen. Um im Falle einer Engpasssituation schnell handeln zu können, wird zusätzlich der Druck eines generativ gefertigten Bauteiles mit anschließender Fertigung einer Silikon-Abgussform verfolgt.

Bei der Porsche AG besteht gegenüber dem Kunden der Anspruch, Bauteile auch bei vom Serienstand abweichenden Produktionsprozessen stets in Serienqualität zu liefern. (Porsche AG 2016b) Tests und Prüfungen, welche für die Serie gelten, gelten auch für abweichende Produktionsverfahren. Material- und Werkstoffeigenschaften müssen nachgewiesen werden. Entsprechend muss der komplette Konstruktions- und Freigabeprozess erneut durchlaufen werden. Um die an das Serienbauteil gestellten und definierten Anforderungen so gut wie möglich zu erfüllen, ist es sinnvoll, die Werkstoffeigenschaften möglichst dicht an denen des bislang konventionell gefertigten Bauteiles zu halten.

Betrachtet man das Bauteil der Klappe Wagenheber, so ist das Auswahlverfahren der Technologie/des Werkstoffes in erster Linie von folgenden Faktoren abhängig:

- Serienwerkstoff
- Oberflächengüte
- Temperaturbereich
- Lage am Fahrzeug (Steinschlagbereich)
- Stückzahlen
- Zeitschiene

Bei dem im Spritzgussverfahren gefertigten Serienteil wird das Material PC/PBT, ein durch die Kombination von Polycarbonat und Polyester sehr schlagzäher Werkstoff, eingesetzt. (Covestro 2016) Auch die Lage am Schweller des Fahrzeuges spricht für die Notwendigkeit eines schlagzähen Materials bei der Findung von generativen Alternativwerkstoffen. Zugleich erfährt das gefertigte Bauteil eine Grundierung, sodass eine Oberflächenbeschaffenheit zur Lackaufnahme gegeben sein muss. Entsprechende Nachbearbeitungsschritte müssen möglich sein. Auch der Temperaturbereich ist

ausschlaggebend für die Wahl des Werkstoffes. So muss die Abdeckung sowohl in der Hitze der Wüste als auch feuchtwarmen Klimabedingungen und bei Kälte und Nässe Beständigkeit in Form- und Funktion nachweisen. Ebenfalls finden die Anzahl der zu fertigenden Exemplare, sowie die zugrunde liegende Zeitschiene Eingang in die Betrachtung. (Porsche AG 2016a) Insgesamt werden vier verschiedene generative Fertigungstechnologien für die generative Fertigung des Bauteiles untersucht:

Bezeichnung	Bauraum	Mindestwandstärke	Derzeit verwendete Materialien
Stereolithographie (SLA)	500 x 500 x 460 mm	ca. 1 mm	Accura Xtreme <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 38-44 N/mm² • Bruchdehnung 14 – 22 % • Biegefestigkeit 52 - 71 N/mm² • Wärmeformbeständigkeit 54-62°C 48HTR <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 64-67 N/mm² • Bruchdehnung 4 – 7 % • Biegefestigkeit 105-118 N/mm² • Wärmeformbeständigkeit 62-132°C
Fused Deposition Modeling (FDM)	440 x 360 x 380 mm	ca. 1mm	PC-ABS <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 35 N/mm² • Bruchdehnung 4,3 % • Biegefestigkeit 50 N/mm² • Formbeständigkeit bis 110°C
Selektives Lasersintern (SLS)	340 x 340 x 620 mm	ca. 0,6 mm	PA 2200 (PA12) <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 45 N/mm² • Reißdehnung 20 % • Wärmeformbeständigkeit 140°C
Multi-Jet Modeling	500 x 500 x 200 mm	ca. 0,4 - 0,5 mm	VeroBlue <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 56 Nm/mm² • Dehnung 8 - 13 % • Biegefestigkeit 74 Nm/mm² • Wärmeformbeständigkeit 54°

Tabelle 4: Übersicht der internen RP-Technologien (Porsche AG 2016a)

Zudem findet das Indirect Tooling, das Erstellen einer PU-Abgussform auf Basis des Abformens eines generativ gefertigten Urmodells, Einzug in die Betrachtung. In diesem Verfahren sind folgende Materialkennndaten umsetzbar:

Bezeichnung	Verwendetes Material
Indirect Tooling	MCP Group SG 95 <ul style="list-style-type: none"> • Zugfestigkeit 54 N/mm² • Bruchdehnung 12 % • Biegefestigkeit 88,6 N/mm² • Wärmeformbeständigkeit 72°C

Tabelle 5: Werkstoffe im Rapid Tooling (Porsche AG 2016a)

Nach Bewertung der Alternativen und Abklärung der technischen Realisierbarkeit erfolgt ein Vergleich mit den Materialkennwerten des konventionell gefertigten Bauteils. Im Vergleich zu anderen additiv gefertigten Bauteilen verfügen lasergesinterte Bauteile (SLS) über eine hohe mechanische und chemische Belastbarkeit. Zudem wird beim Lasersintern kein Support-Material benötigt. Das nicht verschmolzene Pulver dient als Stützmaterial. Die Oberflächen von im SLS-Verfahren hergestellten Bauteilen lassen sich weiter veredeln. Diese Eigenschaften sprechen neben der hohen Verbreitung des Verfahrens für eine Umsetzung im SLS-Verfahren. Zusätzlich wird eine PU-Abgussform auf Basis des Abformens eines generativ gefertigten Urmodells vorgenommen. Hierzu wird das Material SG 95 der MCP-Group gewählt. Die vom Serienbauteil abweichenden Werkstoffeigenschaften stellen eine Herausforderung in der Produktfreigabe dar.

Die gefertigten Bauteile liefern dem Betrachter optisch auf den ersten Blick ein vielversprechendes, dem Originalbauteil nahezu entsprechendes Gesamtbild.



Abbildung 72: Gedruckte Klappe Wagenheber (Eigene Abbildung)

Zur seriennahen Reproduktion wurden bereits einige der gedruckten sowie der abgossenen

Bauteile mit einer Grundierung und entsprechenden Nachbearbeitungsschritten versehen, um eine mit dem Serienstand vergleichbare Oberflächenbeschaffenheit zu schaffen. Einige der Exemplare bleiben für etwaige Vermessungen und Produkttests unbehandelt. Auffällig bei einer genaueren, haptischen Betrachtung der Bauteile sind das abweichende, leichtere Gewicht und die geringere Verwindungssteifigkeit gegenüber dem Original-Bauteil, welche Abweichungen in den Materialkennwerten geschuldet sind. Dies gilt sowohl für den PU-Abguss als auch für das direkt gedruckte Bauteil. Um eine Maßhaltigkeit der gedruckten Bauteile zu überprüfen und somit eine potenzielle Verbauung zu gewährleisten, erfolgt eine Vermessung dieser mit Hilfe eines 3D-Scans innerhalb der Abteilung Qualitätssicherung/Toleranzmanagement der Porsche AG.

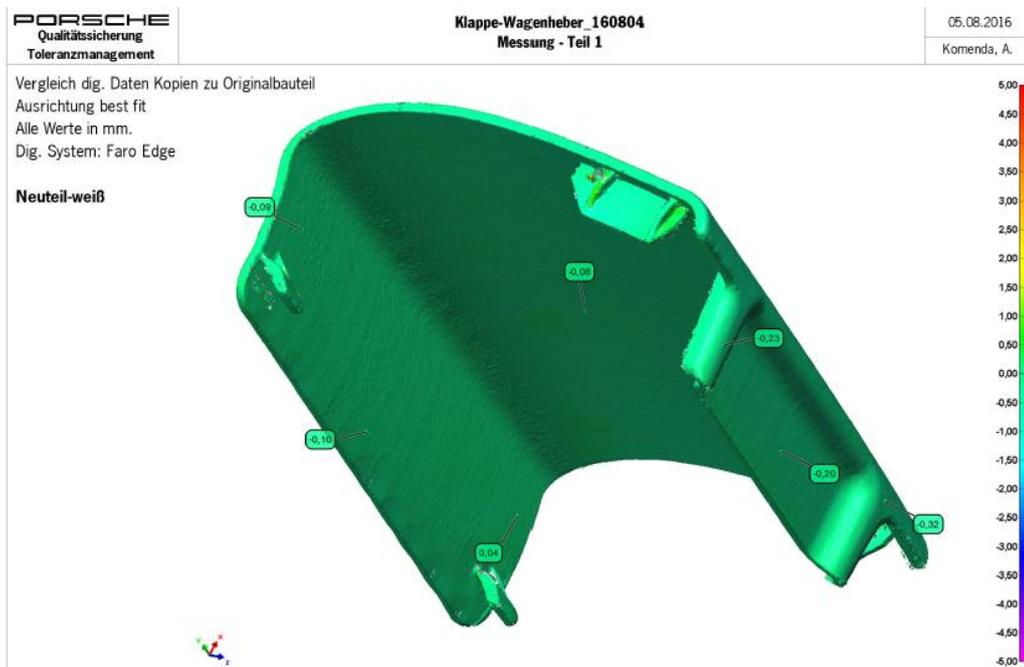


Abbildung 73: Vermessung des 3D-Druck-Bauteiles (Porsche AG 2016a)

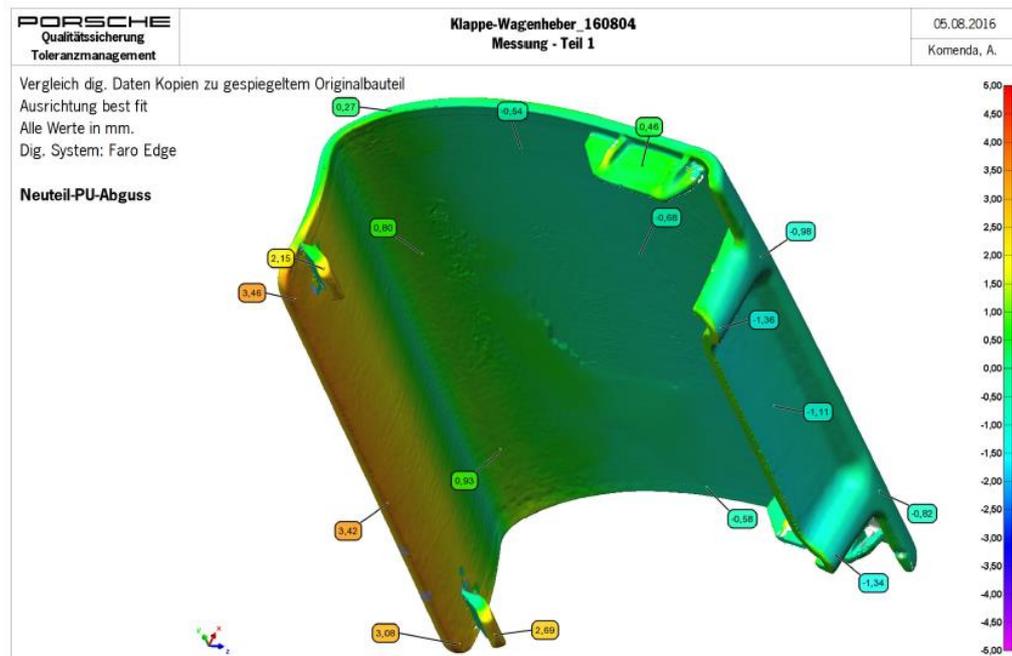


Abbildung 74: Vermessung des PU-Abgusses (Porsche AG 2016a)

Wie den Abbildungen entnommen werden kann, liegen die Abweichungen des 3D gedruckten Bauteils bei maximal 0,2mm. Im direkten Vergleich fallen die Abweichungen beim PU-Abguss mit bis zu 3,46mm höher aus. Das generativ gefertigte Bauteil bewegt sich innerhalb des gemäß der Bauteilezeichnung gegebenen Toleranzbereiches.

Für eine formell rechtliche und technische Freigabe beim Hersteller muss ein Bauteil mit einem vom Serienstand abweichenden Fertigungsverfahren eine komplette Bauteilerprobung durchlaufen. Alternativ lässt sich zum aktuellen Zeitpunkt auch eine Freigabe auf Zeit mit dem Bauteil im Rahmen des Änderungsgremiums Nachserie und einer nicht dem Serienstand entsprechenden Bauabweichung realisieren. Im Falle der Bauabweichung gilt es, individuell notwendige Tests zur Absicherung des Bauteiles zu bestimmen und diese durchzuführen. Als weitere Variante soll eine After Sales gerechte Konstruktion des Bauteiles mit in die Betrachtung aufgenommen werden. Hier erfolgt seitens der Entwicklung eine Nachkonstruktion des Bauteiles mit der zusätzlichen Montage von Halterrungen, die einen Verlust des Bauteiles verhindern. Ziel ist es dabei, die Erprobungskosten in einer ähnlichen Höhe wie bei der Bauabweichung zu senken, ohne einen Verlust der Sicherheit.

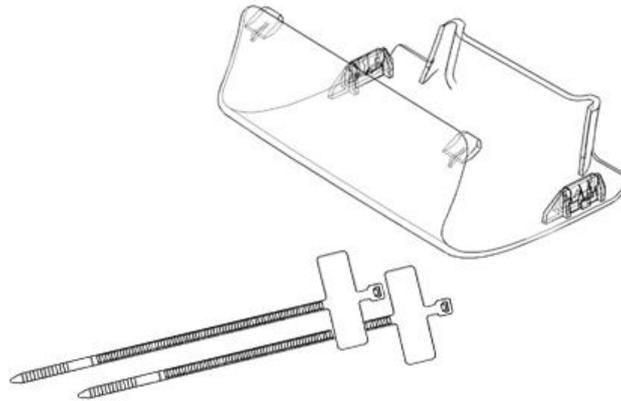


Abbildung 75: Bauteil mit zusätzlichen Haltetaschen (eigene Abbildung)

3D gedruckte Bauteile sind innerhalb der Leitplanken des Aftersales der Porsche AG realisierbar. Als Voraussetzung für diesen Teilschritt gilt es vorab einen bereits realisierten Digitalen Zwilling mit angebundenem Nutzerportal gemäß Teilschritt eins vorliegen zu haben. Durch die vertikale Integration der Visualisierungskomponente und die Implementierung des Engineering Gateways in den Digitalen Zwilling liefert dieser auch in direkter Weise die notwendigen Daten für die generative Fertigung. Durch die Integration eines Slicers in das Engineering-Gateway kann so eine automatisierte Konvertierung vom CAD-Modell hin zu druckfähigen Daten erfolgen. Prozesse zum Fertigen der Bauteile können direkt aus dem an den Digitalen Zwilling angeschlossenen Portal gestartet werden und so mit entsprechenden Aufträgen oder Arbeitsschritten verknüpft werden. Am Beispiel der Porsche AG zeigt sich, dass sich aufgrund der strikten Konzernrichtlinien die generative Fertigung zum heutigen Zeitpunkt in erster Linie für eine Umsetzung im Rahmen einer Bauabweichung auf Zeit eignet, sofern sich das Unternehmen in einem Engpass befindet und Kunden schnellstmöglich mit einem Bauteil versorgt werden müssen. Allerdings hat sich die generative Fertigung auch unter dieser Prämisse hinsichtlich der Produktionskosten und auch der Zeit mit weiteren, konventionellen Fertigungsverfahren wie dem Vakuumguss oder einer Fräsmaschine zu messen. Das untersuchte Beispiel bestätigt die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen hinsichtlich der Filterung nach Druckbarkeit von Bauteileumfängen und zeigt zudem die Notwendigkeit, sich von aktuellen Richtlinien und der Verfolgung der Prämisse, dem Kunden stets Ersatzteile in Serienqualität (mit entsprechender Absicherung) zu liefern, zu lösen. Bei einer Umsetzung der generativen Fertigung wird das Ziel einer Afters Sales gerechten Auslegung des Bauteiles verfolgt. Im Fall der Klappe Wagenheber würde das eine konstruktionsseitige Optimierung seitens der

Entwicklung durch das zusätzliche Anbringen von Sicherheitsmechanismen wie beispielsweise von Haltetaschen oder einer Klebenut bedeuten.

Die vorgestellte Lösung deckt dabei jedoch nur einen Teilbereich des Automotive Aftersales ab. Bei den künftigen Ansätzen und Implementierungsszenarien sollte zudem die Teileidentifizierung vollumfänglich in den digitalen Zwilling integriert werden. So bedeutet die aktuelle Verwendung von Microsoft Excel eine Zwischeninstanz, die zwar durch automatische Uploads und Verwertung der Dateien in das Modell des Digitalen Zwillings egalisiert werden kann, aber für künftige Lösungsansätze redundant sein sollte. So können die entsprechend in den Zwilling integrierten 3D-Daten von Bauteilumfängen eines jeweiligen Fahrzeuges automatisiert, beispielsweise über Machine-Learning-Ansätze, hinsichtlich ihrer generativen Fertigbarkeit untersucht werden.

5.4 Bewertung der Ergebnisse

Kapitel 5 beschreibt die Übertragung der am Konzept zur Optimierung des Automotive Aftersales gewonnenen Erkenntnisse prototypisch auf reale Anwendungsszenarien. Die Implementierung in die einzelnen Teilbereiche zeigt dabei, dass sich die entwickelten Bausteine umsetzen lassen und dabei einen Mehrwert gegenüber aktuellen Prozessen mit sich bringen. Praxisbezogene Abläufe können erleichtert werden. Die Kommunikation sowie der Datenaustausch in und zwischen den Akteuren werden durch unternehmensübergreifende Ansätze verbessert. Nachdem die im Rahmen des Konzeptes ausgearbeiteten Erkenntnisse weiterführend in einer prototypischen Umsetzung genutzt wurden, gilt es zu überprüfen, inwieweit das umgesetzte Konzept die Anforderungen gemäß der vorab definierten übergeordneten Transformationsziele erfüllt. Hierzu werden die Transformationsziele herangezogen und die einzelnen Teilschritte der Konzeptrealisierung auf diese bezogen.

Übergeordnete Transformationsziele:

- Nachhaltigkeitssteigerung
- Effizienzsteigerung und Kostensenkung
- Qualitätssteigerung des Service
- Steigerung des Austausches unternehmens- bzw. branchenintern

- Standardisierte Austauschformate + Fokus auf Visualisierung
- Intuitive Nutzerschnittstellen
- Minimierung von redundanten Daten und der Fehleranfälligkeit

Insbesondere mit Schritt eins der prototypischen Umsetzung (Digitaler Zwilling und Serviceplattform) werden die Transformationsziele auf mehreren Ebenen adressiert und auch realisiert. Das unternehmensübergreifende Modell des Digitalen Zwillings trägt dazu bei, Ressourcen zu schonen, indem transparent auf die Fahrzeughistorie eingegangen werden kann und so beispielsweise notwendige von nicht notwendigen Arbeitsschritten bei einem effizienten Service-, Wartungs-, oder Inspektionsprozess unterschieden werden können. Auch redundante Daten werden so vermieden. Zeitgleich sorgt die übergeordnete Verfügbarkeit des Portals für eine Steigerung des Austauschs unternehmens- wie auch branchenintern. Dadurch bedingt, dass stets die richtigen Daten für die jeweilige Zielgruppe aus einem allumfassenden Modell zur Verfügung stehen, lässt sich mit einer Effizienzsteigerung bei der Auftragsvorbereitung und Durchführung rechnen. Das Serviceportal als Verwaltungsschale des Digitalen Zwillings trägt hierzu ganz besonders bei und profitiert im Kontext der Nachhaltigkeitssteigerung zudem von dessen vertikaler Integration und der damit verbundenen Implementation von 3D-Visualisierungsdaten. Die Daten weisen unter Verwendung des Engineering Gateways ein standardisiertes Austauschformat auf. Hierdurch wird die manuelle Nacharbeit vermieden und die Konvertierung der Daten geht mit einer direkten Effizienzsteigerung und Kostensenkung einher. Aus der Plattform heraus können Schulungsszenarien in der Extended Reality gestartet werden. Auch können Aufträge vorab eingesehen oder durchgeplant werden. Die virtuelle Durchführung dieser Teilschritte trägt ebenso zur Steigerung der Effizienz und Kostensenkung wie auch zur Steigerung der eigentlichen Servicequalität bei.

Der zweite Schritt der prototypischen Umsetzung widmet sich der Optimierung des Prozesses der Hauptuntersuchung und baut dabei auf dem im ersten Schritt realisierten Digitalen Zwilling mit Webportal als Verwaltungsschale auf. Die Vorteile eines Digitalen Zwillings wie auch des Serviceportals zeigen sich hier auch konkret. So wird der Untersuchungsprozess deutlich beschleunigt. Die Qualität wird durch die integrierte Kommunikation sowie den Datenaustausch und kein Vergessen von Relevanten Prüfschritten verbessert. Der Fokus liegt hier auf der Implementierung einer innovativen, aber zugleich auch intuitiv bedienbaren Nutzerschnittstelle in Form des Mixed Reality Devices Microsoft HoloLens. Durch den direkten Bezug zum Digitalen Zwilling als

Ausgangsbasis stehen auch hier die richtigen Daten stets zur richtigen Zeit zur Verfügung. Die Qualität und die Effizienz des Prozesses der Hauptuntersuchung werden insbesondere durch die Visualisierung des Prüfprozesses unter der Verwendung von auf das reale Objekt bezogenen 3D-Daten sowie durch die optische Einblendung relevanter Informationen und auch die bidirektionale Anbindung gesteigert. Durch die direkte Weiterleitung der Ergebnisse der Hauptuntersuchung an angeschlossene Werkstätten oder weitere Akteure wird der Austausch untereinander beschleunigt, wie auch eine qualitative Verbesserung des Services realisiert. Schlussendlich wird durch die Anwendung des Konzeptes auch die Nachhaltigkeit gesteigert. So lässt sich durch die Beschränkung auf ein funktional übergreifendes Endgerät ressourcenschonend die Vielzahl notwendiger Geräte und Schnittstellen reduzieren. Redundante Daten, sowie fehlerhafte Daten, welche im normalen Prozessablauf der Hauptuntersuchung beispielsweise bei der Übertragung der Mängel in die dafür vorgesehene IT-Lösung anfallen, können durch das neue Konzept reduziert werden.

Mit dem dritten Schritt der prototypischen Umsetzung, der Optimierung der Ersatzteileversorgung mit Fokus auf die Generative Fertigung wurde eine weitere Nutzerschnittstelle realisiert. Auch diese Schnittstelle baut dabei auf Schritt eins auf. Insbesondere im Kontext der Effizienzsteigerung zeigt sich mit der Konzeptanwendung, dass die Identifikation der für den 3D-Druck geeigneter Teileumfänge nahezu automatisiert vonstattengeht. Auch die Einbindung der 3D-Content-Pipeline und die damit einhergehende automatisierte Bereitstellung von 3D-Druckdaten erfüllt die Anforderungen nahezu aller Transformationsziele. So steht hierdurch ein standardisiertes Austauschformat für die Fertigung zur Verfügung. Durch die automatisierte Aufbereitung sinkt die Fehleranfälligkeit und auch redundante Daten durch die Konvertierung in Formate für verschiedene Einsatzzwecke fällt weg. Durch die komplette Einbindung der generativen Fertigung ist mit einer Effizienz- sowie Qualitätssteigerung von Serviceprozessen zu rechnen, da die Bauteile durch eine neue Bezugsquelle in der Logistikkette auch in zeitkritischen Prozessen eher zur Verfügung stehen können. Das Wegfallen von unter Umständen langen Lieferwegen, teuren Werkzeugformen etc. spiegelt sich auch in einer Steigerung der Nachhaltigkeit wider.

Für die optimale Digitale Transformation der Akteure des Automotive Aftersales gibt es kein allgemeingültiges Lösungskonzept. Allerdings lässt sich zusammenfassend festhalten, dass gemäß der definierten, übergeordneten Transformationsziele die praxisbezogene, prototypische Umsetzung der Bausteine einen positiven Effekt für die untersuchten Akteure aufweist.

Im Folgenden wird auf die Gütekriterien Reliabilität und Utilität eingegangen. Gemäß DIN EN 13306 lässt sich Reliabilität als Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für eine gegebene Zeitspanne zu erfüllen, definieren. (DIN EN 13306) Im Rahmen der Umsetzung des Konzeptes konnten drei Bereiche des Automotive Aftersales untersucht werden. Bei der Übertragung des Konzeptes auf die Realität stellt sich zunächst die Frage, ob sich die im Modell gewonnenen Erkenntnisse erfolgreich implementieren lassen, einen Mehrwert liefern und die übergeordneten Transformationsziele erfüllen. Dieser Aspekt kann in Hinblick auf die einleitende Bewertung der Ergebnisse positiv gewertet werden. Die Utilität beschreibt die Nützlichkeit der gewonnenen Erkenntnisse. Am Anwendungsfall konnte exemplarisch gezeigt werden, dass sich mit der prototypischen Realisierung des Konzeptes eine deutliche und dauerhafte Bereicherung der Anwendungsgebiete zeigt und gemäß der abgeleiteten Transformationsziele sich der Automotive Aftersales innerhalb dieser Leitplanken künftigen Entwicklungen stellen kann. Aufgrund der Validierung unter realen Bedingungen und der Wahl einer prototypischen Herangehensweise in verschiedenen Teilbereichen muss von nicht konstanten Rahmenbedingungen und bedingt übertragbaren Erkenntnissen ausgegangen werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Automobilbranche und insbesondere der Automotive Aftersales ist einer stetig zunehmenden Dynamik sowie einem daraus resultierenden Wandel ausgesetzt. Dies zeigt sich sowohl in externen wie auch internen Entwicklungen, welche in direkter Weise auf die Akteure in dieser Branche einwirken. So spielen insbesondere politische Rahmenbedingungen sowie die Vielzahl von Daten innerhalb von Unternehmen und auch über die Unternehmensgrenzen hinweg zukünftig eine noch stärkere und prägendere Rolle als dies jetzt schon der Fall ist.

Der technische Fortschritt im Bereich der Digitalen Transformation ermöglicht die Bereitstellung von Werkzeugen und Benutzerschnittstellen, von denen auch der Automotive Aftersales profitieren kann. Dies eröffnet neue Möglichkeiten im Umgang mit der geschilderten Herausforderung. Aus den Entwicklungen interner wie auch externer Art erfolgte eine Ableitung von Transformationszielen, welche das künftige Handeln der Akteure bestimmen. Vor dem Hintergrund der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie sowie internen Datenflüssen konnte insbesondere die Notwendigkeit der Nachhaltigkeits- und Effizienzsteigerung abgeleitet werden. Eine Verbesserung der Qualität von Serviceprozessen sowie auch ein Austausch in und zwischen Unternehmen, bei dem auf standardisierte Formate gesetzt wird, sind als weitere Transformationsziele zu nennen, welche sich aus den untersuchten Bereichen ergeben. Zudem gilt es, dem Transformationsziel gerecht zu werden, Daten zu visualisieren, um so Prozesse künftig intuitiver wie auch immersiver zu gestalten. Ein weiteres, damit eng verknüpftes Transformationsziel zeigt die Notwendigkeit der Implementierung intuitiver Nutzerschnittstellen auf. Unter der Einhaltung dieser Faktoren gelingt die Vermeidung von redundanten Daten und auch die Fehleranfälligkeit kann minimiert werden.

Diese übergeordneten Ziele dienen zusammen mit den dem technischen Fortschritt der Digitalen Transformation zuordbaren Werkzeugen und Nutzerschnittstellen als Grundsteine für ein Konzept, um den Automotive Aftersales zu optimieren und sich künftigen Herausforderungen zu stellen. Das Konzept basiert auf der Verdichtung von Informationen und besteht aus insgesamt vier Bausteinen.

Der Kernbaustein des Konzeptes besteht aus der Realisierung eines Digitalen Zwillings, welcher branchen- und unternehmensübergreifend allen Akteuren des Automotive Aftersales zugänglich ist. Auch die vertikale Integration einer 3D-

Visualisierungskomponente in den Digitalen Zwilling mit der Anbindung des sogenannten Engineering Gateways zur Prozessautomatisierung ist ein wichtiger Bestandteil. Die bisherige Modellerstellung ist sehr zeitaufwendig und weist einen hohen manuellen Arbeitsanteil auf. Durch die 3D-Content Pipeline als Bestandteil des Engineering Gateways können Prozesse optimiert und automatisiert werden. Dabei wird das Modell des Digitalen Zwillings in ein Serviceportal als Verwaltungsschale eingebettet, um dort Inhalte und Funktionen zu koordinieren und den Zugriff zu gewähren. Aus dem Portal können Aufträge abgewickelt werden und der Digitale Zwilling wird dort bidirektional verwaltet. Die Zugriffsrechte sind in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzergruppe differenziert. Der Zugriff auf innovative Nutzerschnittstellen kann direkt aus dem Portal heraus koordiniert und gesteuert werden. Der zweite Baustein des Konzeptes widmet sich dem Anschluss an bereits bestehende Lösungsräume. Durch diesen Teilaspekt können bereits generierte Daten, Programme und auch Nutzerschnittstellen eingebunden werden. Auf diese Weise kann auch eine Verbindung zu bereits bestehenden Lösungsansätzen, wie z.B. der CAD-/CAM-Umgebung erfolgen. Durch die Implementierung der innovativen Nutzerschnittstellen Extended Reality und Generative Fertigung erfolgt eine Erweiterung des Konzeptes. Die Extended Reality setzt dabei auf den Visualisierungsdaten des Digitalen Zwillings und erlaubt es, Prozesse des Automotive Aftersales immersiv zu gestalten und mit den richtigen Daten an der richtigen Stelle sowie bidirektionaler Nutzbarkeit zu verbessern. Neben der Auftragsabwicklung innerhalb der unterschiedlichen Akteure des Aftersales können auch Trainings- sowie Schulungsszenarien vom Einsatz dieser immersiven Nutzerschnittstelle profitieren. Die Umsetzung der Generativen Fertigung im Automotive Aftersales wird in einem weiteren Baustein thematisiert. Im Mittelpunkt steht hierbei die Identifizierung von potenziell generativ fertigen Bauteilen und die Erstellung eines Algorithmus hierzu, welcher direkt in den Digitalen Zwilling implementiert werden kann. Auch die Verwendung des Engineering Gateways hin zu 3D-druckbaren Daten wird im Rahmen des Konzeptes untersucht.

Nach dem Konzeptentwurf erfolgt im Rahmen der Dissertation eine prototypische Umsetzung und Validierung dessen. Hierbei zeigt sich, dass dieses in Teilbereiche des Automotive Aftersales erfolgreich implementiert werden kann und dort einen Mehrwert gegenüber aktuellen Prozessen mit sich bringt. Praxisbezogene Abläufe können erleichtert werden. Insbesondere die intern- und extern getriebenen Transformationsziele der digitalen Transformation der Branche können so erreicht werden.

Der erste Schritt widmet sich der Realisierung des Konzeptkernmoduls. Hier repräsentiert der Digitale Zwilling kombiniert mit einem Serviceportal als entsprechende Verwaltungsschale der dort generierten und gespeicherten Informationen eine Lösungsplattform für Wartungs-, Service- und Inspektionsprozesse. Die Kommunikation sowie der Datenaustausch in und zwischen den Teilnehmern wird durch die unternehmensübergreifende Einführung und Pflege des digitalen Zwillings verbessert. So sind stets die richtigen Daten an der richtigen Stelle verfügbar. Einen weiteren Mehrwert liefert die vertikale Erweiterung des Zwillings hinsichtlich der Implementierung eines standardisierten 3D-Austauschformates und der Konvertierung der Daten hin zu diesem Format. Die Realisierung des Konverters erfolgt als SolidWorks Addin. Die SolidWorks COM-API erlaubt hierbei den Zugriff auf die Datenstruktur. Diese Daten bieten in der Praxis das Potential, in Kombination mit innovativen Nutzerschnittstellen, Prozesse immersiver, intuitiver und transparenter zu gestalten. Die eingeführte Webplattform, welche sich unter anderem durch eine umfangreiche Nutzerverwaltung auszeichnet, bietet auch im Kontext der Verwaltung der Inhalte des Digitalen Zwillings die Möglichkeit, ein Akteur verbindende Lösung zu realisieren und als Bindeglied zwischen verschiedenen Instanzen zu dienen.

Der zweite Schritt widmet sich der Mixed Reality als einer der beiden vorgestellten innovativen Nutzerschnittstellen. Hier erfolgt der Aufbau und die Realisierung einer Mixed Reality Anwendung am Beispiel des Prozesses der Hauptuntersuchung bei einer Prüforganisation. Die Umsetzung eines Mixed Reality geführten Prüfprozesses baut auf dem Digitalen Zwilling auf und kombiniert bidirektional die dort enthaltenen Daten mit Echtzeit- und Fehlerdaten des Prüfobjektes. Besonders die Funktionalität, sich notwendige Daten in das Sichtfeld einblenden zu lassen und diese per Geste oder Sprachsteuerung zusätzlich auch am realen Objekt zu visualisieren, liefert gegenüber den aktuellen Standards eine deutliche Verbesserung und ist in diesem Bereich ein Treiber der digitalen Transformation. Insbesondere der 3D-Bezug zum realen Objekt, das optische Highlighten wichtiger Komponenten oder Prozessschritte sowie die Hilfestellung durch KI und historische Daten erleichtern das Aufgabenfeld des Prüfers umfassend. Die Implementierung erfolgt dabei ausgelegt auf die Anforderungen der Prüfer im Hinblick auf flexibel strukturierbare Arbeitsabläufe. Schritt drei der Betrachtung widmet sich der Implementierung einer weiteren innovativen Nutzerschnittstelle. Hierbei steht die Realisierung der Generativen Fertigung im Fokus. Es erfolgt eine praktische Umsetzung des vorgestellten Bausteins zur Identifizierung von Bauteilen, welche sich zur Generativen Fertigung eignen am Beispiel des Produktportfolios eines großen OEM-Herstellers. Auch die Einbettung der Generativen

Fertigung in das Gesamtkonzept des Digitalen Zwillings und die automatisierte Konvertierung und Aufbereitung der notwendigen Daten im Kontext des Engineering-Gateways wird hierbei thematisiert. Es zeigt sich, dass auch der Prozess der Generativen Fertigung unter Verwendung des Konzeptes in die Ersatzteilkette eines OEMs implementiert werden kann. Die automatisierte Vorgehensweise bei der Teileidentifikation sowie die Einbindung der Datenkonvertierung und Aufarbeitung in den Gesamtkontext Digitaler Zwilling liefern hier den entscheidenden Mehrwert, sodass die Generative Fertigung nicht nur als Nischenlösung mit umfassender manueller Aufarbeitung angesehen werden muss, sondern in die gesamte Prozesslandschaft integriert werden kann.

Zusammenfassend liefert die Dissertation mit dem Konzept zur Digitalen Transformation einen Ansatz, welcher etablierte Akteure des Automotive Aftersales unterstützt, sich auf ein sich wandelndes Umfeld und damit verbundenen Herausforderungen einzustellen. Sinnvoll ist die schrittweise wie auch die bedarfsabhängige Umsetzung des Konzeptes. So können je nach Unternehmensgröße und Tätigkeitsbranche Teilaspekte des Konzeptes eingeführt und mit weiteren Anwendungsfällen oder unternehmensspezifischen Modulen sukzessive dem Gesamtsystem hinzugefügt werden. Dennoch bedarf es weiterer Forschungsaktivitäten. Zunächst müssen die getroffenen Untersuchungsergebnisse an weiteren Anwendungsfällen validiert werden. Darüber hinaus gilt es zu überprüfen, inwieweit sich die Implementierung eines unternehmensübergreifenden Digitalen Zwillings auf die Praxis übertragen lässt. Insbesondere die Zugänglichkeit der Daten und die Frage des Eigentums liefert einen interessanten Ansatzpunkt für weitere Forschungen. Weiteres Potential, an die generierten Ergebnisse anzuknüpfen, liegt in der umfangreichen Kopplung mit vorhandenen Lösungsräumen. So gilt es, die vielschichtigen Systeme, welche sich produktiv bei den verschiedenen Akteuren des Automotive Aftersales im Einsatz befinden, hinsichtlich ihrer Notwendigkeit bzw. Redundanz zu analysieren und ggf. in die Systemlandschaft einzubinden.

7. Literaturverzeichnis

ADAC (2016): Was tun nach einem Unfall? Online verfügbar unter https://res.cloudinary.com/adacde/image/upload/v1572955112/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/was-tun-nach-einem-unfall_syrflq.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2022.

Altair Engineering (2020): e-Mobility Design Solutions. Online verfügbar unter <https://www.altair.de/e-mobility/>, zuletzt aktualisiert am 12.06.2020, zuletzt geprüft am 25.11.2022.

Amazon Web Services, Inc. (2022): Digital Twins Made Easy | AWS IoT TwinMaker | Amazon Web Services. Online verfügbar unter <https://aws.amazon.com/de/iot-twinmaker/>, zuletzt aktualisiert am 18.11.2022, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Anderson, Rick (2022): Tutorial: Get started with Razor Pages in ASP.NET Core. Hg. v. Microsoft Cooperation, zuletzt aktualisiert am 14.02.2022, zuletzt geprüft am 14.02.2022.

Audi AG (2016): Austausch zum Thema Generative Fertigung im After Sales zwischen der Audi- und der Porsche AG. Stuttgart, 06.09.2016. Interview an Carsten Krause.

Azzahhafi, Mohamed (2022): Entwicklung einer mobilfunkfähigen Steuerungsplattform für einen Quadrocopter via eines Mixed Reality Headsets zur immersiven Flugschulung. Masterarbeit. Universität Duisburg-Essen, Duisburg. Virtuelle Produktentwicklung.

Baars, Henning; Kemper, Hans-Georg (2021): Business Intelligence et Analytics - Grundlagen und praktische Anwendungen. Ansätze der IT-basierten Entscheidungsunterstützung. 4th ed. 2021. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer Vieweg.

Bere, Paul; Udriou, Razvan (2018): Product Lifecycle Management - Terminology and Applications. London: IntechOpen.

Berg, Leif P.; Vance, Judy M. (2017): Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. In: *Virtual Reality* 21 (1), S. 1–17. DOI: 10.1007/s10055-016-0293-9.

Berger, Uwe; Hartmann, Andreas; Schmid, Dietmar (2019): 3D-Druck - additive Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing. 3. Auflage. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.

Brandenburg, Eckhard (2016): Neue Technologien, Kundenbeziehungen und Services gestalten das Geschäft von morgen?! Kölner Aftersales Forum. BBE Automotive. Köln, 28.06.2016.

Brandt-Pook, Hans; Kollmeier, Rainer (2020): Softwareentwicklung kompakt und verständlich. Wie Softwaresysteme entstehen. 3., verbesserte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch).

Bretting, Ralf (2020): Digital Twins begleiten Autos ein Leben lang, 14.07.2020. Online verfügbar unter <https://www.automotiveit.eu/technology/digital-twins-begleiten-autos-ein-leben-lang-105.html>, zuletzt geprüft am 17.11.2022.

Brühl, Volker (2017): Bitcoins, Blockchain und Distributed Ledgers. In: *Wirtschaftsdienst* 97 (2), S. 135–142. DOI: 10.1007/s10273-017-2096-3.

Bundesamt für Justiz (2012): Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung. StVZO, vom 26.04.2012. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html, zuletzt geprüft am 28.12.2022.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Verkehrsblatt 71 (23), zuletzt geprüft am 22.11.2022.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022a): Was ist Industrie 4.0? Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>, zuletzt geprüft am 15.11.2022.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022b): Kfz-Sachverständiger: Freiberufler? Online verfügbar unter <https://www.existenzgruender.de/SharedDocs/BMWi-Expertenforum/Gruendungsplanung/Freie-Berufe/beratende-Taetig/Kfz-Sachverstaendiger-Freiberufler.html>, zuletzt aktualisiert am 22.11.2022, zuletzt geprüft am 22.11.2022.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2022): Agenda 2030. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/de/agenda-2030>, zuletzt aktualisiert am 28.11.2022, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Bundesministeriums der Justiz sowie des Bundesamts für Justiz (1997): Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen

(Altfahrzeug- Verordnung - AltfahrzeugV). AltfahrzeugV. Fundstelle: www.gesetze-im-internet.de. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/altautov/AltfahrzeugV.pdf>, zuletzt geprüft am 25.11.2022.

Bundesnetzagentur (2021): Die Blockchain-Technologie. Grundlagen, Potenziale und Herausforderungen. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Digitalisierung/Technologien/Blockchain/Links_Dokumente/einfuehrung_bc.pdf?__blob=publicationFile&v=12, zuletzt geprüft am 23.11.2022.

Bundesregierung (2020): Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin: Publikationen der Bundesregierung. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bcd8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Concept Laser (2016): Pressespiegel Concept Laser. Hg. v. Concept Laser. Online verfügbar unter http://www.concept-laser.de/news.html?tx_btnews_anzeige%5Banzeige%5D=59&tx_btnews_anzeige%5Baction%5D=show&tx_btnews_anzeige%5Bcontroller%5D=Anzeige&cHash=57ee1b1dd2fd7b5bd067744867a1e337., zuletzt geprüft am 04.04.2016.

Covestro (2016): Produktbeschreibung Makroblend PC+PBT. Online verfügbar unter <http://www.plastics.covestro.com/de/Products/Makroblend>, zuletzt geprüft am 02.09.2016.

Diez, Willi; Reindl, Stefan; Brachat, Hannes (Hg.) (2016): Grundlagen der Automobilwirtschaft. Das Standardwerk der Automobilbranche. 6. Auflage, Stand: Mai 2016. München: Springer Automotive Media in der Springer Fachmedien München GmbH (Autohaus Buch & Formular).

DIN EN 13306: DIN EN 13306:2018-02, Instandhaltung_ - Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN_13306:2017.

Disselkamp, Marcus; Heinemann, Swen (2018): Digital-Transformation-Management. Den digitalen Wandel erfolgreich umsetzen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Dörner, Ralf (2019): Virtual und augmented reality (VR/AR). [Grundlagen und Methoden der virtuellen und augmentierten Realität]. 2., erw. und aktualisierte Aufl. Berlin, Germany: Springer Vieweg.

- Esser, R.; Oppermann, L.; Lutter, T. (2016): Head Mounted Displays in deutschen Unternehmen: Ein Virtual, Augmented und Mixed Reality Check. Hg. v. Deloitte. Online verfügbar unter <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/virtual-reality.html>, zuletzt geprüft am 15.05.2022.
- Europäische Kommission (28.05.2010): Verordnung (EU) Nr. 461/2010 der Kommission. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:129:0052:0057:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 22.11.2022.
- Fast-Berglund, Åsa; Gong, Liang; Li, Dan (2018): Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing. In: *Procedia Manufacturing* 25, S. 31–38. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.06.054.
- FES-Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik (2022): Studie: Zukunft der Automobilbranche in Deutschland. Friedrich Ebert Stiftung. Online verfügbar unter <https://www.fes.de/abteilung-wirtschafts-und-sozialpolitik/studie-zukunft-der-automobilbranche>, zuletzt aktualisiert am 20.11.2022, zuletzt geprüft am 20.11.2022.
- FKM Laser Sintering (Hg.) (2016): Technikbroschüre. Biedenkopf.
- Flavián, Carlos; Ibáñez-Sánchez, Sergio; Orús, Carlos (2019): The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience. In: *Journal of Business Research* 100, S. 547–560. DOI: 10.1016/j.jbusres.2018.10.050.
- Frese, Erich; Heppner, Karsten (1995): Ersatzteilversorgung. Strategie und Organisation. München: TCW Transfer-Centrum.
- Gartner (2022): Gartner Newsroom Press Releases from 01. Aug 2018. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-01-gartner-says-worldwide-iaas-public-cloud-services-market-grew-30-percent-in-2017>, zuletzt aktualisiert am 05.01.2022, zuletzt geprüft am 05.01.2022.
- GEBHARDT (2016): Additive Fertigungsverfahren. München: CARL HANSER Verlag GMBH.
- Gießereilexikon (2022): Der Sinterprozess. Online verfügbar unter <https://www.giessereilexikon.com/giesserei-lexikon/Encyclopedia/show/sintern-450/?cHash=c708ddb91b26d1c830365690801459e9>, zuletzt aktualisiert am 23.11.2022, zuletzt geprüft am 23.11.2022.

- Göller, Frank; Guffarth, Daniel (2017): White Paper Der Automotive Aftersales im Wandel Herausforderungen und Auswirkungen auf das Servicegeschäft der OEM. Stuttgart: Horváth & Partner GmbH.
- Grünewald, F. (2022): Gutachtertätigkeit im KFZ-Gewerbe. Kempen, 20.02.2022. Interview an Carsten Krause.
- Güngör, Kara (2017): Additive Fertigung: Wandel für Produktion und Supply Chain. In: *IPL-Magazin* (38). Online verfügbar unter <https://ipl-mag.de/ipl-magazin-rubriken/scm-praxis/537-additive-fertigung-wandel-f%C3%BCr-produktion-und-supply-chain>, zuletzt geprüft am 23.11.2022.
- Härter, Hendrik (2022): Das Internet der sprechenden Maschinen. Online verfügbar unter <https://www.industry-of-things.de/das-internet-der-sprechenden-maschinen-a-1113285/>, zuletzt geprüft am 15.11.2022.
- Hecker, Falk; Hurth, Joachim (Hg.) (2017): Aftersales in der Automobilwirtschaft. Konzepte für Ihren Erfolg. 3. Auflage, Stand: August 2017. München: Springer Automotive Media in der Springer Fachmedien München GmbH (Unternehmensführung).
- Huang, Tien-Chi (Hg.) (2017): Emerging technologies for education. Revised selected papers. Cham: Springer (Lecture notes in computer science. Information systems and applications, incl. Internet/Web, and HCI, 10676).
- Huber, Andreas (2021): Porsche-Modelle bekommen 2022 digitale Klone für mehr Sicherheit - AUTO BILD. In: *AUTO BILD*, 14.10.2021. Online verfügbar unter <https://www.autobild.de/artikel/porsche-digital-chassis-2021-digitaler-zwilling-serviceintervall-inspektion-wartung--20699469.html>, zuletzt geprüft am 17.11.2022.
- Iansiti, Marco; Lakhani, Karim R. (2020): Competing in the age of AI. Strategy and leadership when algorithms and networks run the world. Boston: Harvard Business Review Press.
- Ifo Schnelldienst (2021): Strukturwandel in der Automobilindustrie – wirkt die Pandemie als Beschleuniger? In: *Ifo Schnelldienst* 74 (5). Online verfügbar unter <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2021-05-puls-et-al-automobilindustrie-strukturwandel.pdf>, zuletzt geprüft am 20.11.2022.

Jochem, Roland; Menrath, Martin (Hg.) (2015): Globales Qualitätsmanagement. Basis für eine erfolgreiche internationale Unternehmensführung. Unter Mitarbeit von Marco Amelung. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion.

Kords, Martin (2022): Wartungsaufwand pro Pkw bis 2021 | Statista. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/39415/umfrage/wartungsaufwand-pro-pkw-in-deutschland/>, zuletzt aktualisiert am 28.11.2022, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Kraftfahrt-Bundesamt (2021): Durchschnittsalter der Personenkraftwagen wächst. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/2021/2021_b_kurzbericht_fz_alter_pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Kuhn, Steffen; Nair, Sanju (2022): Nachhaltiger Wandel. Warum es jetzt an der Zeit ist, Geschäftsmodelle zu überdenken und digital zu werden. Frankfurt am Main: T-Systems International GmbH.

Kuhn, Thomas (2017): Digitaler Zwilling. In: *Informatik Spektrum* 40 (5), S. 440–444. DOI: 10.1007/s00287-017-1061-2.

Lakomiec, Marius (2016): Wirtschaftliche und technische Bewertung additiv hergestellter Triebwerkskomponenten für die Serienfertigung. Aachen: Shaker Verlag (Berichte aus der Fertigungstechnik).

Lang, Sebastian; Dastagir Kota, Mohammed Saif Sheikh; Weigert, David; Behrendt, Fabian (2019): Mixed reality in production and logistics: Discussing the application potentials of Microsoft HoloLens™. In: *Procedia Computer Science* 149, S. 118–129. DOI: 10.1016/j.procs.2019.01.115.

Langer, Elle (2020): Medieninnovationen AR und VR. Erfolgsfaktoren für die Entwicklung von Experiences. Berlin: Springer Vieweg.

Lobeck, Frank (2021): Engineeringprozesse in der Automobilindustrie. Skript zur Vorlesung. Universität Duisburg-Essen, Duisburg. Virtuelle Produktentwicklung.

Lobeck, Frank (2022): Product Engineering. Skript zur Vorlesung. Universität Duisburg-Essen, Duisburg. Virtuelle Produktentwicklung.

Lubnau, Jörg (2021): Hauptuntersuchung nach §29 bei der GTÜ. Bochum, 21.10.2021. Interview an Carsten Krause.

- Magnor, Thomas (2021): Hauptuntersuchung nach §29 beim TÜV Rheinland. Kempen, 12.10.2021. Interview an Carsten Krause.
- Manzei, Christian; Schlepner, Linus; Heinze, Ronald (2017): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Wien, Zürich: VDE Verlag; Beuth Verlag GmbH.
- Martens, Jens; Obenland, Wolfgang (2017): Die Agenda 2030. Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung. Vollständig aktualisierte und überarbeitete Neuauflage. Bonn, Osnabrück: Global Policy Forum; terre des hommes. Online verfügbar unter https://www.2030agenda.de/sites/default/files/Agenda_2030_online.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2022.
- MATZKA, STEPHAN (2021): Künstliche Intelligenz in den Ingenieurwissenschaften. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Mehner, Matthias (2019): Wie BMW seinen Werkstatt Kundenservice ganz einfach mit WhatsApp automatisiert. In: *MessengerPeople*, 24.07.2019. Online verfügbar unter <https://www.messengerpeople.com/de/bmw-whatsapp-service/>, zuletzt geprüft am 17.11.2022.
- Microsoft Cooperation (2022): How Mercedes-Benz transforms technician support with Dynamics 365 Remote Assist and HoloLens 2. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=3CUHWYqNZv8>, zuletzt aktualisiert am 22.11.2022, zuletzt geprüft am 22.11.2022.
- Microsoft Cooperation (2023): HoloLens 2 – Preise und Optionen. Online verfügbar unter <https://www.microsoft.com/de-de/hololens/buy>, zuletzt aktualisiert am 05.01.2023, zuletzt geprüft am 05.01.2023.
- Milgram, Paul; Takemura, Haruo; Utsumi, Akira; Kishino, Fumio (1995): Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Hari Das (Hg.): *Telemanipulator and Telepresence Technologies. Photonics for Industrial Applications*. Boston, MA, Monday 31 October 1994: SPIE (SPIE Proceedings), S. 282–292.
- Mohr, Thomas (2020): *Der Digital Navigator. Ein Modell für die digitale Transformation*. 1. Auflage 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Möhrle, Martin G. (2018): Definition: Innovation. In: *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*, 14.02.2018. Online verfügbar unter

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/innovation-39624>, zuletzt geprüft am 16.11.2022.

Palmas, Fabrizio; Niermann, Peter F.-J (2021): Extended reality training. Ein Framework für die virtuelle Lernkultur in Organisationen. Wiesbaden: Springer Gabler (essentials).

Pillai, Anitha S.; Guazzaroni, Giuliana (Hg.) (2022): Extended reality usage during COVID 19 pandemic. Cham, Switzerland: Springer (Intelligent Systems Reference Library, Volume 216).

Porsche AG (2016a): Informationen aus Anlaufstellen des Konzerns. Stuttgart, 2016 an Porsche AG.

Porsche AG (2016b): Vision Aftersales 2025. Stuttgart.

Pritzkolet, Max (2019): Bestärkendes Lernen zur Steuerung und Regelung nichtlinearer dynamischer Systeme. Technische Hochschule Dresden.

Puttins, D. (2021): Digitale Transformation. Masterarbeit. Universität Duisburg-Essen, Duisburg. Virtuelle Produktentwicklung.

Radouan Ait Mouha, Radouan Ait (2021): Internet of Things (IoT). In: *JDAIP* 09 (02), S. 77–101. DOI: 10.4236/jdaip.2021.92006.

DIN DIN SPEC 91345, 2016: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0).

Sander, Dominik (2022): HU Prozesse bei der DEKRA. Nettetal Kaldenkirchen, 18.09.2022. Interview an Carsten Krause.

Sass, Björn (2012): Erfolgsfaktoren des Aftersales Service im Investitionsgütermarketing. Eine Analyse am Beispiel deutscher Offsetdruckmaschinenhersteller. 1. Auflage; graph. Darst. Mering: Rainer Hampp Verlag (Hamburger Schriften zur Marketingforschung).

Schallmo, Daniel; Rusnjak, Andreas; Anzenruber, Johanna; Werani, Thomas; Lang, Klaus (Hg.) (2021): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Grundlagen, Instrumente und Best Practices. 2. Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler (Schwerpunkt Business Model Innovation). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.

Schopf, Peter; Jonas, Julia M. (2022): Kollaboration mit Extended-Reality-Systemen – eine Kategorisierung. In: *HMD* 59 (1), S. 177–188. DOI: 10.1365/s40702-021-00823-y.

Slama, Dirk; Puhmann, Frank; Morrish, Jim; Bhatnagar, Rishi M. (2016): Enterprise IoT. First edition. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

Statista (2022): Verteilung der Investitionen durch Unternehmen der Automobilindustrie nach Bereichen im Jahr 2017 | Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1040890/umfrage/verteilung-der-investitionen-durch-unternehmen-der-automobilindustrie-nach-bereichen/>, zuletzt aktualisiert am 20.11.2022, zuletzt geprüft am 20.11.2022.

Statistisches Bundesamt (2022): Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2021. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/01/PD22_020_811.html, zuletzt aktualisiert am 14.01.2022, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Steyer, Ralph (2017): Webanwendungen mit ASP.NET MVC und Razor. Ein kompakter und praxisnaher Einstieg. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4915489>.

Strassmann, Thomas (2022): Digitalisierung in der Produktion. Skript zur Vorlesung. Universität Duisburg-Essen, Duisburg. Virtuelle Produktdarstellung.

ATSM F2792: Terminology for Additive Manufacturing Technologies. Online verfügbar unter <https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>, zuletzt geprüft am 23.11.2022.

The Khronos Group (2020): glTF - Runtime 3D Asset Delivery. Online verfügbar unter <https://www.khronos.org/glTF/>, zuletzt aktualisiert am 27.12.2022, zuletzt geprüft am 27.12.2022.

Thiele, Kerstin (2020): „Wir sind eine exklusive Ersatzteilplattform für registrierte Kfz-Werkstätten“. In: *Krafthand*, 22.10.2020. Online verfügbar unter <https://www.krafthand.de/artikel/wir-sind-eine-exklusive-plattform-rund-um-die-teilebestellung-fuer-registrierte-kfz-werkstaetten-52513/>, zuletzt geprüft am 22.11.2022.

Thiele, Kerstin (2022): Kampf gegen OEM-Monopole. In: *Krafthand*, 01.07.2022. Online verfügbar unter <https://www.krafthand.de/artikel/kampf-gegen-oem-monopole-67167/>, zuletzt geprüft am 22.11.2022.

Tornack, Christian; Christmann, Stefan; Hagenhoff, Svenja (2011): Tendenzielle Unterschiede zwischen B2B- und B2C-Anwendungen für mobile Endgeräte. Arbeitsbericht. Georg-August-Universität, Göttingen. Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät. Online verfügbar unter http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/serien/lm/arbeitsberichte_anwebus/2011_03.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2022.

Ulrich, P.; Hill, W. (1976): Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I). In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium: Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt* 5 (7), S. 304–309.

Umweltbundesamt (2022): Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib#2019-knapp-eine-halbe-million-altfahrzeuge>, zuletzt aktualisiert am 22.11.2022, zuletzt geprüft am 22.11.2022.

URBAN, NICKLAS (2020): Blockchain for Business. Erfolgreiche Anwendungen und Mehrwerte für Netzwerkteilnehmer identifizieren. Wiesbaden: Springer Gabler.

VDI (2022): Studierendenzahlen in Ingenieurstudiengängen steigen trotz Corona. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/news/detail/studierendenzahlen-in-ingenieurstudiengaengen-steigen-trotz-corona>, zuletzt aktualisiert am 17.11.2022, zuletzt geprüft am 17.11.2022.

VDI 3404, 31.08.2014: VDI 3404. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/2097508.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2022.

Vigkos, A.; Pauer, A.; Bevacqua, D.; Turturro, L.; Kulesza, M.: XR and its potential for Europe. In: *Ecorys*. Online verfügbar unter <https://xreuropepotential.com/assets/pdf/ecorys-xr-2021-report.pdf>, zuletzt geprüft am 21.11.2022.

TL52382: Volkswagen AG TL52382.

Weber, Felix (2020): Künstliche Intelligenz für Business Analytics. Algorithmen, Plattformen und Anwendungsszenarien. Wiesbaden: Springer Nature.

Wen, Q.; Buck, A, Tieto, V. (2022): Was ist Mixed Reality? Hg. v. Microsoft Cooperation. Online verfügbar unter <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/mixedreality/>, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

Wiesinger, Johannes (2022a): HU-Prüfstellen Übersicht. beckett.de. Online verfügbar unter <https://www.kfztech.de/kfztechnik/werkstatt/hu-pruefstellen.htm>, zuletzt aktualisiert am 25.08.2022, zuletzt geprüft am 22.11.2022.

Wiesinger, Johannes (2022b): Die Hauptuntersuchung nach §29 StVZO. beckett.de. Online verfügbar unter <https://www.kfztech.de/kfztechnik/allgemein/hauptuntersuchung.htm>, zuletzt aktualisiert am 29.12.2022, zuletzt geprüft am 30.12.2022.

Winkler, Dietmar (2021): Aftersales-Studie 2030: Evolution statt Revolution. In: *AUTOSERVICEPRAXIS*, Springer Fachmedien München GmbH, 21.05.2021. Online verfügbar unter <https://www.autoservicepraxis.de/nachrichten/kfz-werkstatt/aftersales-studie-2030-evolution-statt-revolution-2891044>, zuletzt geprüft am 20.11.2022.

Zabel, Christian; Heisenberg, Gernot; Telkmann, Verena (2021): CROSS REALITY IN DEUTSCHLAND 2021. Entwicklung der Branchen und Netzwerkstrukturen der XR-Unternehmen in Deutschland. Studie. TH Köln, Köln.

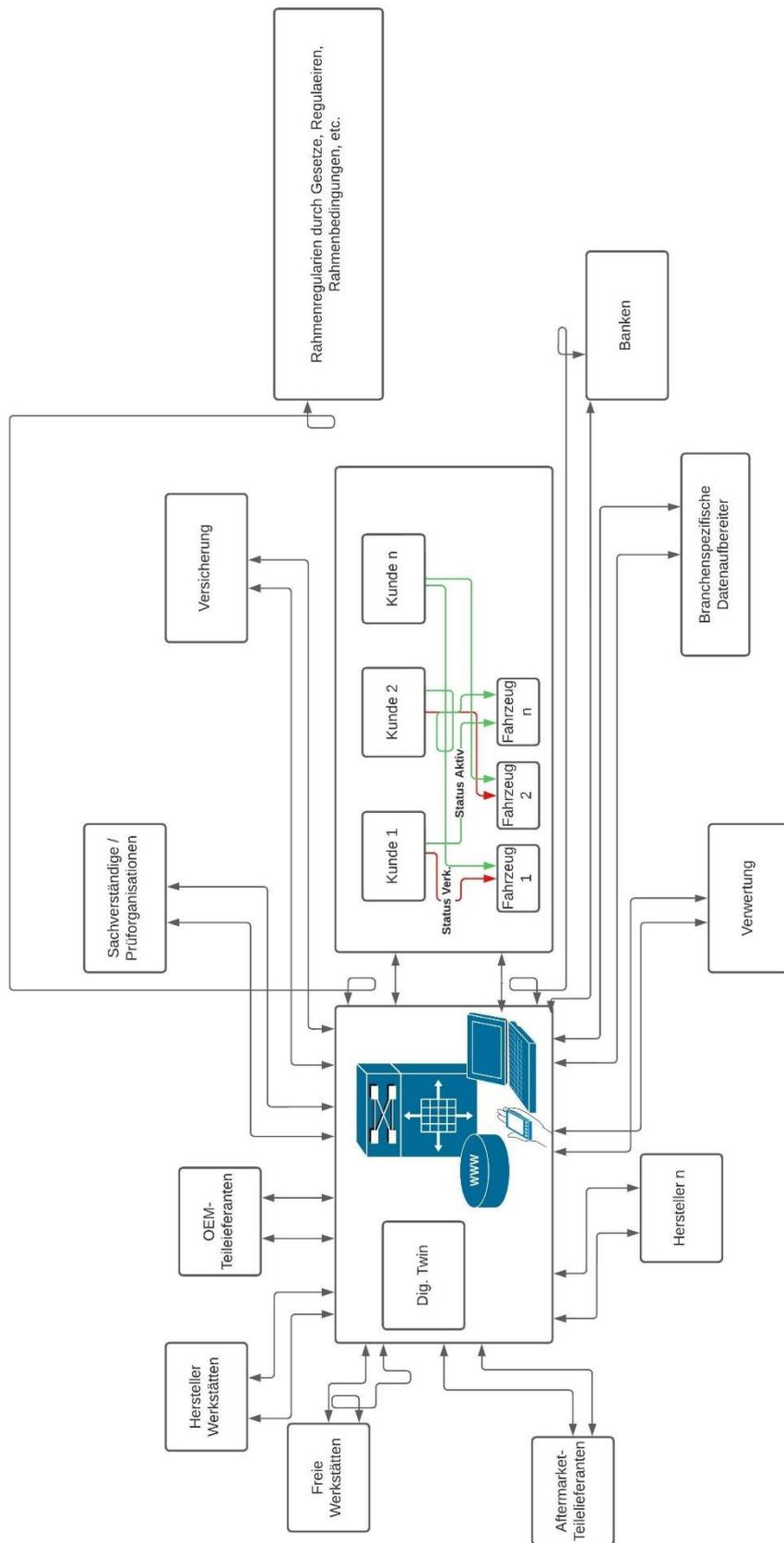
Zäh, Michael F. (2014): Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien. München: CARL HANSER Verlag GMBH.

Zerres, Christopher (2021): Extended Reality - Chancen, Herausforderungen und Anwendungsbeispiele für kleine und mittelständische Unternehmen. Online verfügbar unter https://opus.hs-offenburg.de/frontdoor/deliver/index/docId/4640/file/Extended_Reality.pdf, zuletzt geprüft am 21.11.2022.

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (2015): Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0. Unter Mitarbeit von Martin Hankel und Bosch-Rexroth. Hannover.

Zwez, M. (2018): Wie ist ein Kfz-Gutachten aufgebaut? Online verfügbar unter https://gutachten-amawi.de/wp-content/uploads/2018/10/Gutachten_Original_MUSTER-FI.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2022.

Anhang 2: Abbildung 25 im Querformat



DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Diese Dissertation wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt und liegt auch als Print-Version vor.

DOI: 10.17185/duepublico/78302

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230525-135544-9

Alle Rechte vorbehalten.