



# DIGITALISIERUNG IN DER RAUMFAHRT- UND MOBILITÄTSBRANCHE

UNTERSUCHUNG ZUR DIGITALISIERUNG UND DES BRANCHENÜBERGREIFENDEN SYNERGIEPOTENZIALS IN DEUTSCHLAND





# VORWORT

Die Digitalisierung der Wirtschaft und Gesellschaft ist eine der zentralen Aufgaben bei der Zukunftsgestaltung Deutschlands. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, muss die industrielle Produktivität gesteigert, gleichzeitig aber auch ressourcenschonend und widerstandsfähig ausgebaut werden. Hierfür sind digitale Technologien und Prozesse zur gesamtheitlichen Vernetzung essenziell. Bereits heute verbinden intelligente Informationstechnologien vielfach Mensch und Maschine entlang der Wertschöpfungskette im Rahmen der Industrie 4.0. Besonders während der Corona-Pandemie offenbarte sich der Nutzen digitaler Technologien, indem Produktionsanlagen auch unter erschwerten Bedingungen flexibel auf gestörte Lieferketten und eine umgewichtete Nachfrage reagieren konnten.

Doch wie ist die deutsche Raumfahrt bei der Digitalisierung aufgestellt? Wie kann ihre Fähigkeit zur Anpassung an eine im Wandel begriffene Welt noch weiter erhöht werden? Zur Beantwortung dieser und weiterer Fragen wurde im Auftrag der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR eine Digitalisierungsuntersuchung im Rahmen des Raumfahrt- und Mobilitätsnetzwerkes Space2Motion durchgeführt. Das Space2Motion-Netzwerk ist ein Modul der INNOspace®-Initiative, die den branchenübergreifenden Wissens- und Technologietransfer ebenso wie Raumfahrtakteure bei den Herausforderungen der New Space-Economy unterstützt.

Die vorliegende Untersuchung setzt einen Fokus auf die Digitalisierung industrieller Prozesse und Produktionsabläufe. Dabei beleuchtet sie die Ist-Situation sowie Herausforderungen bei der Einführung und Umsetzung neuer digitaler Technologien in der Raumfahrt und Mobilität. Ferner identifiziert die Untersuchung die größten branchenübergreifenden Synergie- und Transferpotenziale und zeigt anhand einer Bedarfsanalyse auf, welche Gebiete sich im besonderen Maße für eine Zusammenarbeit eignen. Konkrete Handlungsfelder und Maßnahmen zum Vorantreiben der Digitalisierung in der Raumfahrt werden aufgezeigt, dadurch unterstützt die Untersuchung die in der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung verankerten Digitalisierungsziele.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei allen beteiligten Akteuren, den Space2Motion-Mitgliedern und Unternehmen sowie Institutionen, welche an der Befragung und den Interviews teilgenommen haben.



Dr.-Ing. Walther Pelzer  
Mitglied des DLR-Vorstands  
Generaldirektor der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR

# INHALT

VORWORT	03
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	05
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	06
TABELLENVERZEICHNIS	07
1 EINLEITUNG	08
2 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	10
3 GRUNDLAGEN DER DIGITALISIERUNG IN RAUMFAHRT & MOBILITÄT	12
3.1 Digitalisierungslösungen	13
3.1.1 Computer Aided X	14
3.1.2 Internet of Things	15
3.1.3 Digitaler Zwilling	15
3.1.4 Künstliche Intelligenz	19
3.1.5 Big Data und Data Analytics	19
3.1.6 Datensicherheit und -Austausch	20
3.2 Digitalisierungsstrategien	21
3.2.1 Raumfahrt	21
3.2.2 Mobilitätsbranche	22
4 METHODIK ZUR IDENTIFIKATION VON MASSNAHMEN ZUR FÖRDERUNG DER DIGITALISIERUNG	24
4.1 Bedarfsanalyse	25
4.2 Datenerhebung (Online-Fragebogen)	25
4.3 Datenerhebung (Experteninterviews)	25
4.4 Einordnung der Unternehmen in Cluster	26
4.5 Auswertung der erhobenen Daten	27
4.6 Synergieidentifikation	27
4.7 Handlungsempfehlungen	27
5 IDENTIFIKATION BRANCHENÜBERGREIFENDER SYNERGIEN	28
5.1 Auswertung quantitativer Ergebnisse des Online-Fragebogens	29
5.1.1 Reifegrad der Digitalisierung	29
5.1.2 Geschäftsbereiche und die Nutzung von Digitalisierungslösungen	31
5.1.3 Bereitschaft und Bedenken gegenüber Digitalisierungsprozessen	34
5.1.4 Synergie- und Kooperationspotenziale	35
5.2 Erkenntnisse aus den Experteninterviews und befragten Clustern	36
5.2.1 Raumfahrtbranche: Old Space	37
5.2.2 Raumfahrtbranche: New Space	38
5.2.3 Raumfahrtbranche: Forschung	39
5.2.4 Mobilitätsbranche: OEM & Konzerne	39
5.2.5 Mobilitätsbranche: KMU & Start-up	40
5.2.6 Mobilitätsbranche: Forschung in der Mobilität	41
5.3 Branchenübergreifende Synergiepotenziale	42
5.4 Handlungsempfehlungen zur Förderung von Digitalisierung	44
6 AUSBLICK UND FAZIT	46
LITERATURVERZEICHNIS	49
ANHANG	52

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

## A

---

**AI:** Artificial Intelligence  
**AR:** Augmented Reality

## B

---

**BDE:** Betriebsdatenerfassung  
**BMWK:** Bundesministeriums  
für Wirtschaft und Klimaschutz

## C

---

**CAD:** Computer Aided Design  
**CAE:** Computer Aided Engineering  
**CAID:** Conditional Access Identification  
**CAM:** Computer Aided Manufacturing  
**CAP:** Computer Aided Planning  
**CAQ:** Computer Aided Quality assurance  
**CAX:** Computer Aided x  
**CFD:** Contract For Difference

## D

---

**DLR:** Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
**DSGVO:** Datenschutz–Grundverordnung

## E

---

**EOSC:** European Open Science Cloud  
**ESA:** European Space Agency

## F

---

**FDM:** Forschungsdatenmanagement  
**FEM:** Finite-Elemente-Methoden

## G

---

**GCP:** Google Cloud Platform

## I

---

**IoS:** Internet of Space  
**IoT:** Internet of Things

## K

---

**KI:** Künstliche Intelligenz  
**KMU:** Kleine und Mittlere Unternehmen

## M

---

**MBSE:** Model-Based-Systems-Engineering  
**ML:** Machine Learning  
**MRO:** Maintenance, Repair and Overhaul

## N

---

**NASA:** National Aeronautics and Space  
Administration (zivile US-Bundesbehörde  
für Raumfahrt und Flugwissenschaft)  
**NFDI:** Nationale Forschungsdaten  
Infrastruktur

## O

---

**OEM:** Original Equipment Manufacturer

## P

---

**PLM:** Product Life Cycle Management  
**PPS:** Produktionsplanungs- und Steuerungssystem

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1:	Digitalisierungslösungen der Industrie 4.0 _____	13
Abbildung 3-2:	Digitaler Zwilling als ganzheitlicher Ansatz _____	13
Abbildung 3-3:	CAX-Systemlandschaft _____	14
Abbildung 3-4:	Level des Digitalen Zwillings nach MADNI ET AL. _____	16
Abbildung 3-5:	Digitaler Zwilling im Produktlebenszyklus _____	17
Abbildung 3-6:	Anwendungsgebiete des Digitalen Zwillings _____	18
Abbildung 3-7:	Vordringen der digitalen Technologien in der Produktion _____	22
Abbildung 4-1:	Lösungsansatz zur Identifikation von Maßnahmen zur Förderung der Digitalisierung _____	25
Abbildung 4-2:	Veranschaulichung der Clusterung nach Branchenzugehörigkeit _____	26
Abbildung 5-1:	Aufteilung der Befragten in die definierten Cluster _____	29
Abbildung 5-2:	Reifegrad der Digitalisierung in Raumfahrt und Mobilitätsbranche _____	30
Abbildung 5-3:	Reifegrad der Digitalisierung der Mobilitätsbranche _____	30
Abbildung 5-4:	Reifegrad Digitalisierung der Raumfahrtbranche _____	31
Abbildung 5-5:	Nutzung von digitalen Lösungen in den Clustern _____	32
Abbildung 5-6:	Relevanz von digitalen Lösungen in den Clustern _____	33
Abbildung 5-7:	Bedarfe an digitalen Lösungen in den Clustern _____	33
Abbildung 5-8:	Bereitschaft zur weiteren Digitalisierung der Prozesse _____	34
Abbildung 5-9:	Bedenken gegenüber der weiteren Digitalisierung der Prozesse _____	35
Abbildung 5-10:	Bestehende branchenübergreifende Kooperationen _____	35
Abbildung 5-11:	Übertragbarkeit von Expertise aus der Mobilitätsbranche auf die Raumfahrtbranche _____	35
Abbildung 5-12:	Herausforderungen der Digitalisierung in Raumfahrt und Mobilität _____	36
Abbildung 5-13:	Einstufung der Cluster nach MADNI ET AL. _____	42
Abbildung 5-14:	Branchenübergreifende Synergien _____	44
Abbildung 5-15:	Sieben Handlungsfelder zur Förderung der Digitalisierung _____	45

# TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Allg. Datenerhebung aus Online-Befragung	25
Tabelle 2:	Kernergebnisse aus dem Cluster Old Space	37
Tabelle 3:	Kernergebnisse aus dem Cluster New Space	38
Tabelle 4:	Kernergebnisse aus dem Cluster Raumfahrtforschung	39
Tabelle 5:	Kernergebnisse aus dem Cluster OEM & Konzern	39
Tabelle 6:	Kernergebnisse aus dem Cluster KMU & Start-up	41
Tabelle 7:	Kernergebnisse aus dem Cluster Mobilitätsforschung	41
Tabelle 8:	Empfohlene Aktivitäten zur Nutzung der Synergiepotenziale	47
Tabelle 9:	Empfohlene politische Aktivitäten zur Förderung der Digitalisierung von KMUs und Start-ups	48
Tabelle 10:	Empfohlene Aktivitäten zur Förderung der Kommunikation bzgl. Digitalisierung und Datensicherheit	48



# 1

---

## EINLEITUNG

---

Die zunehmende Digitalisierung ist eine große Chance für Wirtschaft und Gesellschaft und kann zu einer smarteren und ressourcenschonenderen Welt beitragen.<sup>1</sup> Zugleich sind Digitalisierungsbestrebungen aber auch kosten- und zeitintensiv und erfordern ein hohes Maß an fachlicher Expertise in der Umsetzung.

Mit dem Ziel, neue Märkte und Kommerzialisierungspotenziale zu erschließen und eine Kommunikationsplattform zwischen der Raumfahrt und terrestrischen Branchen zu schaffen, fördert die INNOspace®-Initiative der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR Technologietransfers (Spin-offs /Spin-ins) und erleichtert dadurch Produkt- und Prozessinnovationen. Sie identifiziert Synergiepotenziale zwischen den Branchen und fördert die Zusammenarbeit. Als ein zentrales Modul der INNOspace®-Initiative unterstützt das Space2Motion-Netzwerk Kooperationen zwischen der Raumfahrt und Automotivebranche entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Neben vielen aktuellen Themen nimmt die Digitalisierung dabei einen zentralen Stellenwert im Netzwerk ein, da sie als Enabler fortschrittlichster Technologien dient<sup>2</sup> und eine Steigerung der Produktivität und Effizienz herbeiführt.<sup>3</sup>

Um die Kompetenzen, aber auch Bedarfe der Raumfahrt und Mobilität im Bereich der Digitalisierung besser zu verstehen und daraus Synergiepotenziale und Handlungsempfehlungen abzuleiten sowie Kooperationen zu initiieren, wurde eine umfangreiche Untersuchung im Space2Motion-Netzwerk durchgeführt. Die Ergebnisse der Recherchen und Experteninterviews sind in der vorliegenden Broschüre zusammengefasst.

Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR beauftragte die EurA AG mit der Untersuchung auf Arbeitsebene „Digitalisierung in der Raumfahrt und Mobilitätsbranche“. Die PEM Motion GmbH führte als Partner im INNOspace®-Netzwerk Space2Motion diese Untersuchung im Auftrag der EurA AG durch.

1 Vgl. Kampker et al. (Think Big, Start Small) 2017, S. 196.

2 Vgl. Jarzombek (Zukunftsfähige deutsche Raumfahrt) 2019, S. 513f.

3 Vgl. Friebe (Digitale Transformation Luft- und Raumfahrt) 2018, S. 2.

# 2

## MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Die Raumfahrt ist seit vielen Jahrzehnten Wegbereiter und Innovationstreiber auf dem Gebiet zahlreicher Schlüsseltechnologien. Nun sollen Vernetzung, Kooperation und Technologietransfer zwischen den Branchen Raumfahrt und Mobilität weiter gefördert und vorangetrieben werden. Die Fortschritte in der Satellitentechnologie ermöglichen die Integration von Satellitenkommunikation, Satellitennavigation und Erdbeobachtung in terrestrische Anwendungen der Digitalisierung. Dadurch entstehen beispielsweise präzise GPS-Navigationssysteme, die eine genaue Positionsbestimmung von Fahrzeugen, Schiffen und Fußgängern ermöglichen. Zudem werden Daten von Erdbeobachtungssatelliten für Umweltüberwachung und Landwirtschaft genutzt, Satellitenkommunikation gewährleistet globale Vernetzung und Internetzugang, und satellitengestützte Wettervorhersage verbessert die Vorhersagegenauigkeit und dient dem Schutz vor Naturkatastrophen. Dies wird insbesondere durch Entwicklungen im Bereich des New Space, der kommerziellen Raumfahrt, ermöglicht und macht diese Anwendungen bezahlbar und breit nutzbar.<sup>4</sup> Die Auswirkungen der Kommerzialisierung auf die Raumfahrt sind insbesondere in den Feldern Erdbeobachtung, Robotik, autonome Systeme sowie Satellitenkommunikation zu registrieren.<sup>5</sup>

Konkreter Untersuchungsgegenstand ist die Digitalisierung der Prozesse entlang der Wertschöpfungskette in den Bereichen der Entwicklung bzw. des Engineerings, der Supply Chain und der Produktion der Raumfahrt- und Mobilitätsbranche. Darüber hinaus werden zusätzlich die Bereiche Simulation, Testing, Inspektion, Wartung, Reparatur und Recycling betrachtet. Hierbei wird zunächst der aktuelle Stand der Digitalisierung für die Raumfahrtbranche ermittelt. Dabei wird geprüft, inwiefern Digitalisierungslösungen bereits genutzt werden. Es stehen die Themen Digitaler Zwilling, Internet of Things (IoT), Künstliche Intelligenz (KI) und Big Data mit den einhergehenden Herausforderungen bei der Datensicherheit und dem Datenaustausch im Mittelpunkt der Untersuchung.<sup>6</sup>

Zunehmende Anforderungen an Flexibilität von Produktionslinien bei hohen Stückzahlen und wachsendem Kostendruck durch Umweltauflagen und das Aufkommen von elektrifizierten Antrieben führten zu einer dynamischen Entwicklung der Digitalisierungstechnologien in der Mobilitätsbranche.<sup>7,8</sup> Daher nutzen viele Branchen bereits jetzt Digitalisierungslösungen aus der Mobilitätsbranche. Die Herausforderungen aus der New Space-Bewegung sorgen dafür, dass die Produktionsanforderungen der Branche steigen. Bisher ist die Produktion in der Raumfahrtbranche in Deutschland in erster Linie auf Einzelfertigung ausgerichtet. In der Vergangenheit wurden für neue Projekte oft individuelle Lösungen entwickelt, die in späteren, ähnlichen Produkten selten wiederverwendet wurden.<sup>9</sup>

Zusammenfassend entsteht der Bedarf, die Digitalisierung der Prozesse durch eine branchenübergreifende Zusammenarbeit zwischen der Raumfahrt- und Mobilitätsbranche voranzutreiben. Damit leistet diese Untersuchung einen Beitrag, Synergiepotenziale durch umfangreiche Recherchen und Experteninterviews zu identifizieren und daraus Handlungsempfehlungen für das INNOspace®-Netzwerk Space2Motion abzuleiten.

4 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Zukunftstechnologien für die Gesellschaft DLR) 2019, S. 9f.

5 Vgl. Jarzombek (Zukunftsfähige deutsche Raumfahrt) 2019, S. 508f.

6 Vgl. Kunandt et al. (Digitalisierung im DLR) 2021, S. 7.

7 Vgl. Kampker (Grundlagen der Elektromobilproduktion) 2014, S. 15f.

8 Vgl. Huber (Konzeption und Realisierung eines Produktionssystems für die modulare Fertigung in der Automobilindustrie) 2019, S. 1251.

9 Vgl. Bockel (The future of the space industry) 2018, S. 2f.

# 3

## GRUNDLAGEN DER DIGITALISIERUNG IN RAUMFAHRT & MOBILITÄT

Smart Manufacturing ist eine der strategischen Prioritäten, die von Fertigungsinitiativen implementiert wird. So werden bspw. Industrie 4.0-Technologien zunehmend eingesetzt, um Daten in allen Phasen des Produktlebenszyklus zu sammeln. Big-Data-Analysen können die Daten nutzen, um unter anderem Fehlerursachen zu ermitteln, Lieferketten zu rationalisieren, Produktleistung zu optimieren oder die Produktionseffizienz zu verbessern. Im Rahmen dessen werden die Hauptaspekte und Schlüsseltechnologien der Digitalisierung rund um Smart Manufacturing und Industrie 4.0 in diesem Kapitel eingeführt und erläutert sowie Best Practices aus der Mobilitäts- und Raumfahrtbranche vorgestellt. Zudem werden die Digitalisierungsstrategien aus der Raumfahrt- und der Mobilitätsbranche aufgezeigt.

### 3.1 Digitalisierungslösungen

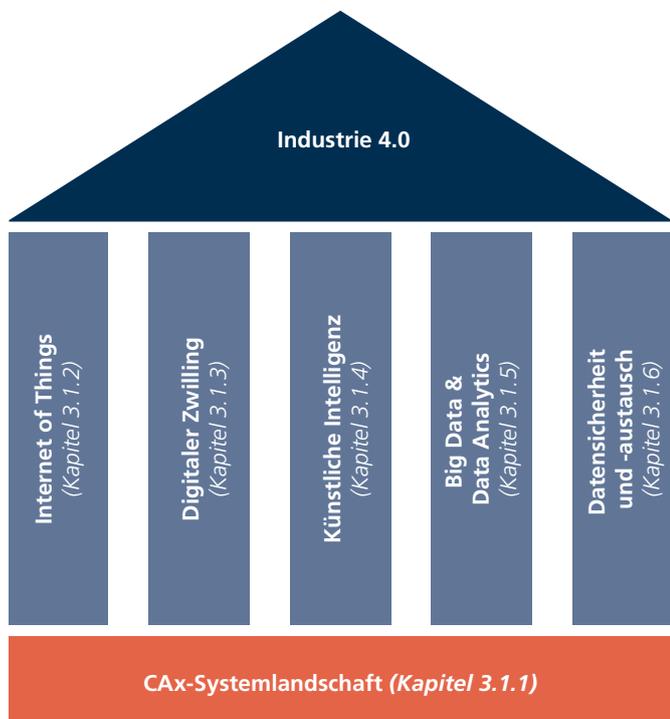
Anforderungen werden vor allem an die Produktion der Zukunft gestellt, die mit einer intelligenten Vernetzung von Maschinen, Abläufen und Geschäftsbereichen einhergeht.<sup>10</sup> Schwerpunkt der Industrie 4.0 ist die Fusion der virtuellen und realen Welt.<sup>11</sup> Zur Umsetzung der Industrie 4.0 werden Digitalisierungsstrategien benötigt, welche grundsätzlich die in Abbildung 3-1 dargestellten Lösungsansätze implementieren.

Um die Industrie 4.0-Initiative umzusetzen sind Rahmenbedingungen nötig. Die Basis bildet meist eine entlang des Produktlebenszyklus verlaufende CAx-Systemlandschaft (siehe Kap. 3.1.1), deren Umsetzung bereits heute in den meisten Branchen weit fortgeschritten

ist.<sup>13</sup> Darauf aufbauend werden im Internet of Things (IoT) (siehe Kap. 3.1.2) Maschinen und Anlagen miteinander verknüpft und in ein Gesamtsystem eingebunden. Die Industrie 4.0-Fabrik erzeugt hierzu virtuelle Abbilder der realen Welt, sog. Digitale Zwillinge (siehe Kap. 3.1.3). Durch Künstliche Intelligenz (siehe Kap. 3.1.4) werden Prozess- und Arbeitsschritte selbstlernend gestaltet. Maschinen und Anlagen benötigen Sensorik und Software, um Daten zu generieren und angemessen auszuwerten (siehe Kap. 3.1.5). So wird eine Vernetzung gewährleistet, was die Gestaltung von sog. Digitalen Zwillingen ermöglicht. Im Hintergrund dieser Bedingungen stehen die Datensicherheit sowie der Datenaustausch (siehe Kap. 3.1.6). Die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung verursachen Risiken, die mithilfe von Sicherheitsmaßnahmen und Cybersecurity abgedeckt werden müssen.<sup>14</sup> Hierbei sind die Pfeiler der Digitalisierung nicht als eigenständige Bereiche anzusehen, sondern haben wechselseitige Beziehungen. Gerade der Digitale Zwilling muss als ganzheitlicher Ansatz verstanden werden (vgl. Abbildung 3-2).

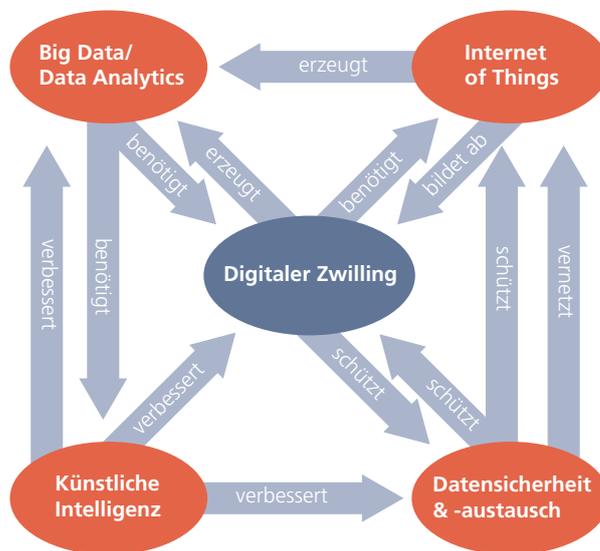
Im Folgenden wird ein Grundverständnis über die identifizierten Digitalisierungslösungen erarbeitet. Entsprechend Abbildung 3-1 werden die Themen CAx, Internet of Things, Digitaler Zwilling, Künstliche Intelligenz, Datensicherheit und Datenaustausch sowie Big Data und Data Analytics vorgestellt. Neben einer Einführung in die Thematik werden ausgewählte Praxisbeispiele aus den Bereichen Raumfahrt und Mobilität genannt.

Abbildung 3-1: Digitalisierungslösungen der Industrie 4.0<sup>12</sup>



10 Vgl. Deckert et al. (Digitalisierung und Luftfahrt) 2021, S. 6.  
 11 Vgl. Deckert et al. (Digitalisierung und Luftfahrt) 2021, S. 7f.  
 12 Eigene Darstellung.

Abbildung 3-2: Digitaler Zwilling als ganzheitlicher Ansatz



13 Vgl. Vajna et al. (CAx für Ingenieure) 2009, S. 16f.  
 14 Vgl. Feddeck et al. (Industrie 4.0 und Raumfahrt) 2018, S. 10f.

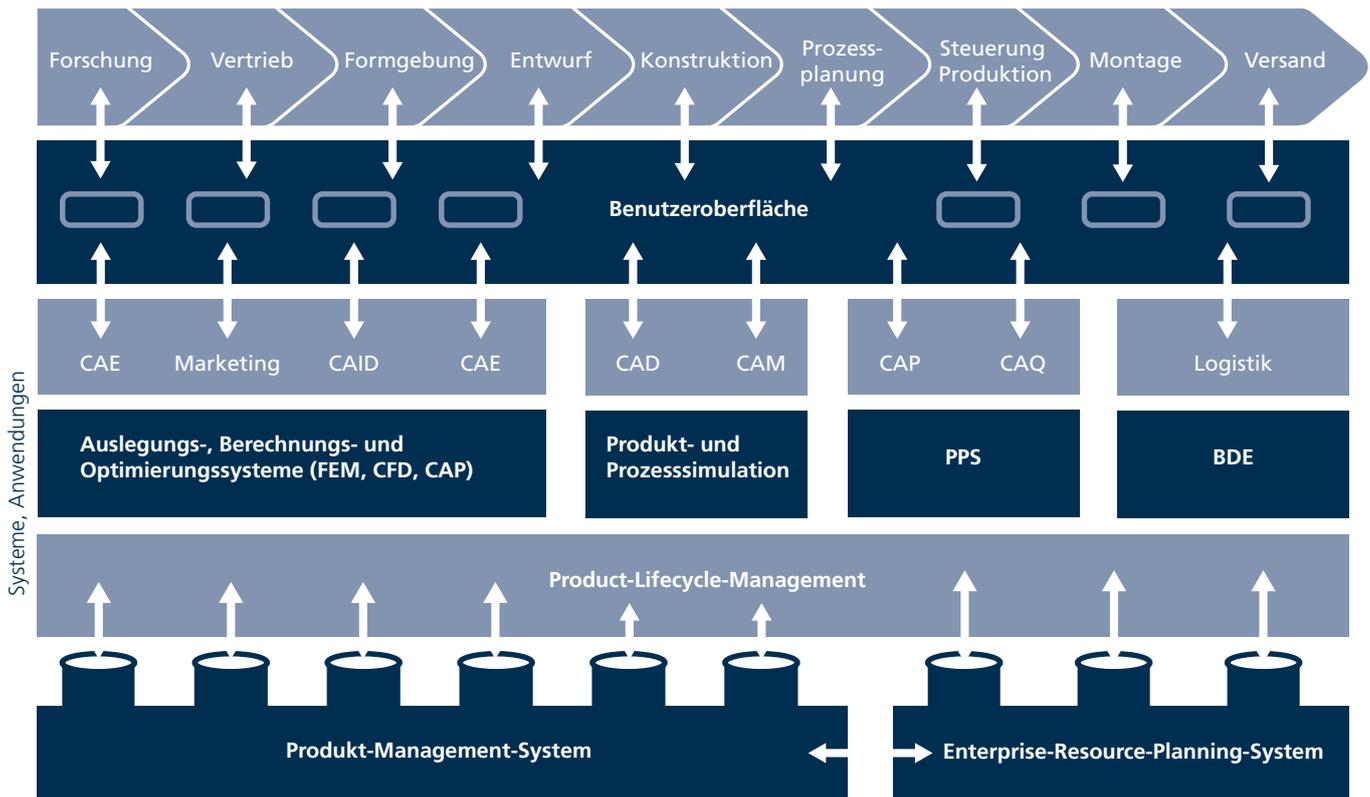
### 3.1.1 Computer Aided X

Das Akronym CAx steht für Computer Aided x und ist ein Sammelbegriff für diverse rechnergestützte Systeme und Prozesse. Der Buchstabe x dient als Platzhalter für eine jeweils spezifische Anwendung. Abbildung 3-3 zeigt einen Auszug aus der CAx-Systemlandschaft und ordnet die Softwarekategorien den Wertschöpfungsprozessen und den Managementtools zu.<sup>15</sup>

Zu sehen ist, dass über den Produktlebenszyklus verschiedene Systeme und Tools zum Einsatz kommen. Die Verbreitung von CAx-Systemen ist in den meisten Branchen weit fortgeschritten. Meist könnten ohne

entsprechende CAx-Anwendung komplexe Produkte wie Automobile oder Flugzeuge, aber auch Konsumgüter kaum wirtschaftlich auf den Markt gebracht werden.<sup>17,18</sup> So ist ein computergestütztes Konstruieren mittels CAD oder CAM, bei dem das virtuelle Modell elektronisch in den Fertigungsprozess und den entsprechenden Fertigungsmaschinen übermittelt wird, heutzutage kaum wegzudenken. Reale Prototypen können durch virtuelle Prototypen reduziert werden. Auch speziell für die Planung gebaute Funktionsmodelle entfallen oder entstehen erst später. Die Fähigkeit, CAD-Daten einfach zu bearbeiten und mit Werkzeugen bspw. die des Digitalen Zwillings zu verbinden, ermöglicht ein effektives und kostenoptimiertes Gestalten von Prozessen.<sup>19</sup>

Abbildung 3-3: CAx-Systemlandschaft<sup>16</sup>



15 Vgl. Jakobs et al. (Not Ready for Industry 4.0: Usability of CAx Systems) 2018, S. 52ff.

16 In Anlehnung an Vajna et al. (CAx für Ingenieure) 2009, S. 16f.

17 Vgl. Garrel (Digitalisierung der Produktionsarbeit) 2019, S. 11f.

18 Vgl. Vajna et al. (CAx für Ingenieure) 2009, S. 16f.

19 Vgl. Bracht et al. (Digitale Fabrik) 2011, S. 51.

### Einbindung von CAx in die Industrie 4.0

Mit der Industrie 4.0 geht der aktuelle Trend zu web- und cloudbasierten Systemen, die neue Lösungen für das Benutzeroberflächen-Design ermöglichen und fördern. In Anbetracht der hohen Volatilität der Industrie 4.0-Prozesse sind signifikante Verbesserungen der bestehenden CAx-Systeme, angepasst an neue Produktionsbedingungen, unabdingbar. Web- und cloudbasierte Systeme sind eine Herausforderung, weil sie die Komplexität der zu lösenden Aufgaben (z. B. Datenmanagement und Sicherheit) erhöhen und ein Umdenken in beiden Bereichen, sowohl bei Softwareanbietern als auch bei Unternehmen, erfordern.<sup>20, 21</sup>

### 3.1.2 Internet of Things

In der Literatur gibt es keine eindeutige Definition für das Internet of Things (IoT), die weltweit akzeptiert wird. Im weiteren Verlauf dieser Untersuchung wird die folgende Definition des IoT von MADAKAM ET AL. als Grundlage verwendet:

*„Ein offenes und umfassendes Netz intelligenter Objekte, die in der Lage sind, sich selbst zu organisieren, Informationen, Daten und Ressourcen auszutauschen und angesichts von Situationen und Veränderungen in der Umgebung zu reagieren und zu handeln.“<sup>22</sup>*

Mit der Verknüpfung zum Digitalen Zwilling liefert das IoT eine Gesamtheit an Daten, die erforderlich ist, um das Verhalten des physischen Zwillings (z. B. Fertigungsstraße, Netzwerk autonomer Fahrzeuge) in der Betriebsumgebung nachzuvollziehen. Die Datenerzeugung erfolgt mittels verschiedener Quellen wie Multisensoren (z. B. Außentemperatur, Feuchtigkeitsgehalt, Produktionsstatus der aktuellen Charge) oder herkömmlicher Sensoren (z. B. SCADA).<sup>23</sup>

### 3.1.3 Digitaler Zwilling

Das Konzept des Digitalen Zwillings ist zurückzuführen auf die sogenannte Spiegelungstechnologie der NASA, mithilfe derer bereits in den 1960er Jahren Vorgänge im Weltraum auf der Erde mittels Simulation nachgebildet wurden. Unter Anwendung des Digitalen Zwillings-

Konzepts werden Prozesssimulationen, Anlagenmodelle oder CAD-Modelle genutzt, um die Durchführbarkeit sowie die Funktionalität von Produktionsanlagen und technischen Produkten zu validieren. Aktuell gewinnt der Digitale Zwilling zunehmend an Bedeutung, da technologische Fortschritte, vor allem im Bereich IoT, diesen zu einem bedeutenden Entscheidungswerkzeug machen.<sup>25</sup> Bisher gibt es seit Begriffseinführung keine allgemeingültige Definition des Digitalen Zwillings. REIFSNIDER ET AL. beschreiben den Digitalen Zwilling als eine Art ultrarealitätsgetreue Simulation, die mit einem bordeigenen Gesundheitsmanagementsystem, einer Wartungshistorie und historischen Fahrzeug- und Flottendaten integriert wird.<sup>26</sup> MADNI ET AL. beschreiben, dass jede digitale Version eines Systems oder einer Komponente als Digitaler Zwilling betitelt werden kann und je nach Reife in vier Stufen eingeordnet werden kann, vgl. Abbildung 3-4.<sup>27</sup>

### Anwendungen in der Praxis

Die Kombination von IoT und Digitalen Zwillingen verbessert die vorbeugende Wartung und die auf Analytik und Künstlicher Intelligenz (KI) basierende Optimierung des physischen Systems und der betrieblichen Prozesse. Als Brücke zwischen der physischen und der virtuellen Welt kann das IoT Leistungs-, Wartungs- und Gesundheitsdaten vom physischen Zwilling an den Digitalen Zwilling liefern. Die Kombination von Erkenntnissen aus den realen Daten mit prädiktiver Modellierung kann die Fähigkeit verbessern, fundierte Entscheidungen zu treffen, die zur Schaffung effektiver Systeme, optimierter Produktionsabläufe und neuer Geschäftsmodelle führen können.

Darüber hinaus ermöglicht das IoT die dringend benötigte Flexibilität in Bezug auf Systemmobilität, Standort und Monetarisierungsoptionen. Diese Flexibilität trägt zur Schaffung von Geschäftsoptionen bei, wie z. B. dem Verkauf einer Fähigkeit (d. h. eines Produkts als Dienstleistung) im Gegensatz zum Verkauf des Produkts selbst. Die Kombination aus Digitalem Zwilling und IoT ermöglicht es einem Unternehmen, Einblicke in die Nutzung eines Systems/Produkts durch die Kunden zu gewinnen. Solche Einblicke können Kunden in die Lage versetzen, den Wartungsplan und die Ressourcennutzung zu optimieren, potenzielle Produktausfälle proaktiv vorherzusagen und Systemausfallzeiten zu verringern. Zusammenfassend ist das IoT in Verbindung mit dem Digitalen Zwilling ein wichtiger Wegbereiter für die Verbesserung der Systemwartung im Laufe der Zeit auf der Grundlage des Systembetriebs und der Wartungshistorie.<sup>24</sup>

20 Vgl. Jakobs et al. (Not Ready for Industry 4.0: Usability of CAx Systems) 2018, S. 51.

21 Vgl. Bracht et al. (Digitale Fabrik) 2011, S. 18f.

22 Vgl. Madakam et al. (Internet of Things (IoT): A Literature Review) 2015, S. 165.

23 Vgl. Madni et al. (Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering) 2019.

24 Vgl. Madni et al. (Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering) 2019.

25 Vgl. GBTEC Group (Digitale Transformation).

26 Vgl. Reifsnider et al. (Multiphysics Stimulated Simulation Digital Twin Methods for Fleet Management).

27 In Anlehnung an Madni et al. (Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering) 2019, S. 5.

Abbildung 3-4: Level des Digitalen Zwillings nach MADNI ET AL.<sup>28</sup>

Level	Modellreife	Physischer Zwilling	Realdatenaufnahme
1 Pre-Digitaler Zwilling	Virtuelles Systemmodell mit Schwerpunkt auf technischer Risikominderung	-	Keine Anwendung
2 Digitaler Zwilling	Virtuelles Systemmodell des physischen Zwillings	+	Leistung, Gesundheitszustand, Wartung; Batch-Updates
3 Adaptiver Digitaler Zwilling	Virtuelles Systemmodell des physischen Zwillings mit adaptiver Benutzeroberfläche	+	Leistung, Gesundheitszustand, Wartung; Echtzeit-Updates
4 Intelligenter Digitaler Zwilling	Virtuelles Systemmodell des physischen Zwillings mit adaptiver Benutzeroberfläche und Verstärkungslernen	+	Leistung, Gesundheitszustand, Wartung, Umgebung; sowohl Batch- als auch Echtzeit-Aktualisierungen

Ein Digitaler Zwilling verbindet im Allgemeinen die virtuelle mit der realen Welt – und stellt somit ein virtuelles Modell eines realen Prozesses, Produktes oder einer Dienstleistung dar. Dieser wird nach Möglichkeit durch die Nutzung von Sensoren stetig mit Echtzeitdaten versorgt, um so Aussagen über den Zustand und die Umgebung eines realen Objektes treffen zu können. Dabei werden Systeme getrennt voneinander überwacht und zu einem virtuellen Modell vereint.<sup>29,30</sup> Der Digitale Zwilling stellt in komplexen Systemen ein Zusammenspiel aus digitalen Abbildern dar. Diese sind über den gesamten Lebenszyklus im Product Lifecycle Management (PLM) miteinander vernetzt.<sup>31, 32, 33</sup> In Abbildung 3-5 werden verschiedene Ansätze des Digitalen Zwillings dem Produktlebenszyklus zugeordnet und mit bestehenden Technologien verknüpft.

Eine besondere Herausforderung besteht darin, die Informationen und Daten nahtlos zwischen den Teilbereichen zu übertragen. Hier ist es wichtig, vom Designprozess bis zum Recycling eine konstante digitale Durchgängigkeit der Daten zu erhalten, um den Wechsel zwischen realem und digitalem Produkt herzustellen. Hersteller benötigen Datenkontinuität von ihren Zulieferern, damit ein Digitaler Zwilling nutzenorientiert implementiert werden kann. So ist es möglich, eine Digitalisierungsstrategie einzubinden.<sup>34</sup>

28 In Anlehnung an Madni et al. (Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering) 2019, S. 5.

29 Vgl. Glaessgen et al. (Digital Twin Paradigm) 2012, S. 7.

30 Vgl. Deckert et al. (Digitalisierung und Luftfahrt) 2021, S. 33.

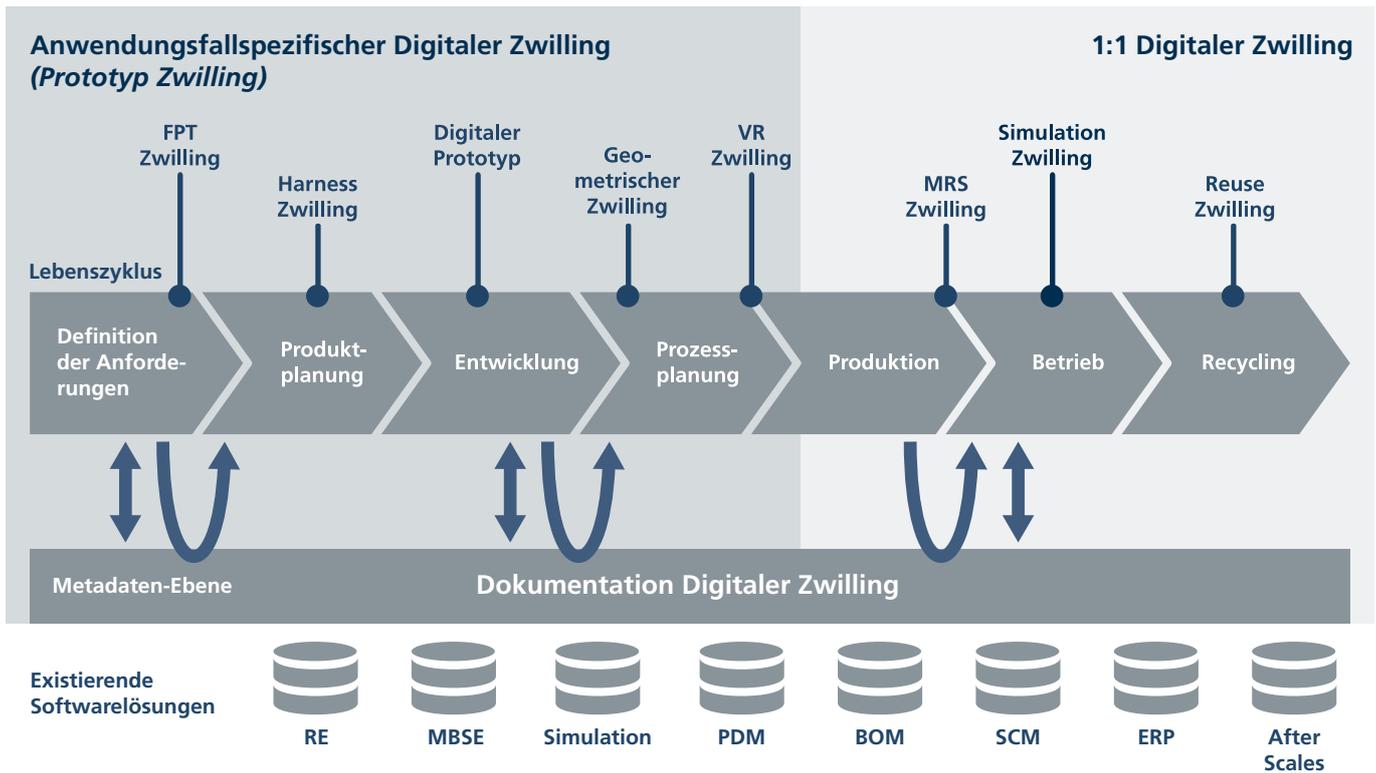
31 Vgl. Theis et al. (Digitaler Zwilling als Sprungbrett der Digitalisierung) 2021, S. 8.

32 Vgl. Liu et al. (Review of digital twin) 2021, S. 349.

33 Vgl. Klostermeier et al. (Geschäftsmodelle Digitaler Zwillinge) 2020, S. 4.

34 Vgl. Theis et al. (Digitaler Zwilling als Sprungbrett der Digitalisierung) 2021, S. 11.

Abbildung 3-5: Digitaler Zwilling im Produktlebenszyklus<sup>35</sup>



Ein durchgängiges, monolithisches Modell mit sämtlichen relevanten Daten umzusetzen, ist jedoch nicht als sinnvoll zu betrachten. Bereits heute existieren Digitale Zwillinge in Form von disziplinspezifischen, anwendungsfallbasierten Simulationsmodellen in einzelnen Lebenszyklusphasen. Entsprechend sollte ein Ansatz gewählt werden, der bereits bestehende digitale Lösungen miteinander über den gesamten Lebenszyklus verknüpft. Zunächst in Form eines prototypischen Zwillings und später mithilfe eines ausgereiften Digitalen Zwillings. Mit dem Ansatz des Model-Based-Systems-Engineering (MBSE) gibt es bereits funktionale Beschreibungen von Fahrzeugen mittels Simulationsmodellen, die sog. Functional Prototypes (FPT). Da die Leitsätze in Fahrzeugen meistens Unikate sind, wird momentan an einem zugehörigen Digitalen Zwilling (Harness Twin) geforscht. Es existieren in der Entwicklung bereits seit längerer Zeit digitale Prototypen und geometrische Abbilder eines Fahrzeugs zur Produktionsplanung (Digitaler Prototyp, Geometrischer Zwilling). Virtuelle Realitätszwillinge werden zur Produktveranschaulichung genutzt (VR-Zwilling).

Der Einsatz von Sensordaten aus dem After Sales wird zur Optimierung von Systemen, Leistung und Qualität genutzt und repräsentiert ein großes Nutzenpotenzial. Der Digitale Zwilling ist am Ende des Lebenszyklus zur Wiederverwendung (Reuse-Twin) wieder einzusetzen. Dieser liefert z. B. Rückschlüsse auf ein verbessertes Recycling, aber auch auf einen Optimierungsbedarf für neue Baureihen. Die phasen- und anwendungsfall-spezifischen Digitalen Zwillinge sind anhand des Dokumentationszwillings miteinander verknüpfbar. Dieser gewährleistet die Nachvollziehbarkeit in der internen IT-Landschaft.<sup>36</sup>

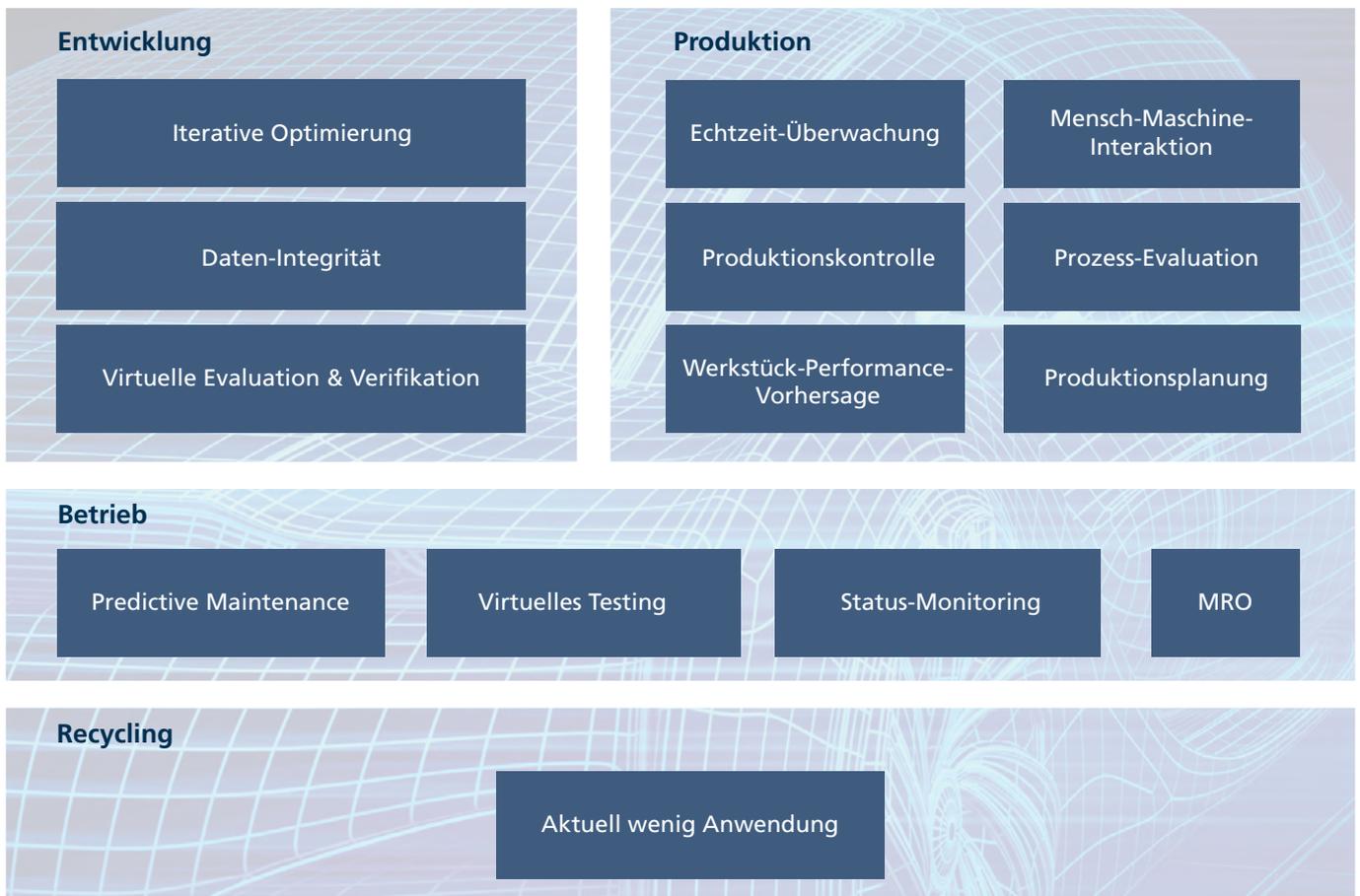
**Anwendungen in der Praxis**

Entsprechend der breiten Anwendung entlang der Wertschöpfungskette werden in Abbildung 3-6 weitere Anwendungsgebiete aufgezeigt.

<sup>35</sup> In Anlehnung an Heber et al. (Digital Twin-Konzeption in der Automobilindustrie: Einsatzpotenziale der Blockchain-Technologie), S. 10f.

<sup>36</sup> Vgl. Heber et al. (Digital Twin-Konzeption in der Automobilindustrie: Einsatzpotenziale der Blockchain-Technologie), S. 9.

Abbildung 3-6: Anwendungsgebiete des Digitalen Zwillings<sup>37</sup>



Der Digitale Zwilling findet in der Entwicklung für iterative Optimierung, Datenintegrität und virtuelle Evaluation sowie Verifikation Anwendung. Bereits ohne die Nutzung von Sensoren können verschiedene Parameter der Mission geprüft sowie eventuelle Anomalien, Fehler und Schadensbilder erkannt werden. So können am Beispiel der Luftfahrt bereits vor dem Start Flüge geplant und entsprechende Flugparameter mit der höchsten Wahrscheinlichkeit für den Missionserfolg sichergestellt werden. Somit bietet der Digitale Zwilling die Grundlage der Zertifizierung für den Flug.<sup>38</sup>

In der Produktionsphase liegen die Aufgaben bei Echtzeit-Überwachung, Produktionsplanung und Produktionskontrollaktivitäten. Hier sind die Aufgaben sehr komplex und beinhalten die Koordination und Kontrolle der Produkte über Prozesse in der Produktion. Während des gesamten Entwicklungsprozesses und des gesamten Lebenszyklus eines Raumfahrzeugs hat die Technologie des Digitalen Zwillings einen tiefgreifenden Einfluss auf die Raumfahrtindustrie. Gegenwärtig befinden sich Anwendung und Entwicklung des Digitalen Zwillings in der Raumfahrtindustrie noch in einem früheren Stadium verglichen mit der Mobilitätsbranche. Die digitale Zwillingstechnologie gewinnt

in der Raumfahrtbranche zunehmend an Bedeutung. Daher sind Forschungsarbeiten auf der Grundlage der kritischen Technologie des Digitalen Zwillings durchzuführen, um den Anforderungen künftiger komplexerer Raumfahrzeuge gerecht zu werden. Der Digitale Zwilling kann der Raumfahrt bei der Optimierung der Prozesse und der Steigerung der Effizienz der Produktion helfen.<sup>39</sup>

Die Betriebsphase kann bereits eine der wichtigsten Aufgaben des Digitalen Zwillings in der Raumfahrt darstellen. Die Aufgaben beinhalten das sogenannte MRO (Maintenance, Repair, and Operations), Predictive Maintenance, Virtuelles Testing und die Überwachung des Status des Flugobjektes. Durch den Einsatz des Digitalen Zwillings können Predictive Maintenance und das Health-Management optimiert werden.<sup>40, 41</sup> Die Nutzung von Echtzeitdaten durch Sensoren hilft, um den Flug des Objektes zu überwachen. Faktoren wie Beladung, Temperatur und äußere Einflüsse können in das digitale Modell implementiert werden, um so Voraussagen über den Flug treffen zu können.<sup>42</sup> In der Auslaufphase bzw. dem Recycling findet der Digitale Zwilling aktuell wenig Anwendung.<sup>43</sup>

37 In Anlehnung an Liu et al. (Review of digital twin) 2021, S. 354.

38 Vgl. NASA Office of the Chief Technologist (NASA Modeling, Simulation, Information Technology) 2010, S. 18.

39 Vgl. Yin Z et al. (Application and Development Prospect of) 2020, S. 735.

40 Vgl. Liu et al. (Review of digital twin) 2021, S. 356f.

41 Vgl. Yin Z et al. (Application and Development Prospect of) 2020, S. 735.

42 Vgl. NASA Office of the Chief Technologist (NASA Modeling, Simulation, Information Technology) 2010, S. 18.

43 Vgl. NASA Office of the Chief Technologist (NASA Modeling, Simulation, Information Technology) 2010, S. 18f.

### 3.1.4 Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet eine „Simulation des intelligenten menschlichen Denkens und Handelns“. <sup>44</sup> Systeme sind in der Lage, Probleme ohne menschliches Denken zu lösen. KI und ein Teilbereich dessen – das maschinelle Lernen – sind mittels Algorithmen fähig, aus Datenmengen selbstständig Schlussfolgerungen zu ziehen. Für einfache Anwendungen bietet die KI einen Mehrwert, ohne dass maschinelles Lernen eingesetzt werden muss. Die meisten realen Systeme, die mit mehreren Datenströmen konfrontiert sind, können jedoch von maschinellem Lernen und Analysen profitieren, um die Daten sinnvoll zu nutzen. Mittels systembasierten Trainings können die Fähigkeiten angelernt und verbessert werden. Mit maschinellem Lernen können bspw. komplexe analytische Aufgaben automatisiert werden. Daten können in Echtzeit ausgewertet, das Verhalten mit minimalem Überwachungsbedarf angepasst und die Wahrscheinlichkeit der gewünschten Ergebnisse erhöht werden. <sup>45, 46</sup> So können anhand großer Datenmengen Risiken automatisiert erkannt werden, wodurch KI bei Lieferkettenproblemen oder komplexen Entwicklungsprogrammen bereits Anwendung findet. Eine intelligente optische Verarbeitung ermöglicht es, Zustandsvorhersagen über Bauteile zu treffen, um Reparaturmaßnahmen frühzeitig einzuleiten. <sup>47, 48</sup>

Gerade der Digitale Zwilling kann vom maschinellen Lernen profitieren. Zu den Anwendungen des maschinellen Lernens innerhalb eines Digitalen Zwillings gehören: <sup>49, 50</sup>

- überwachtes Lernen (z. B. unter Verwendung neuronaler Netze) von Bediener-/Benutzerpräferenzen und -prioritäten in einer simulationsbasierten, kontrollierten Experimentierumgebung
- unüberwachtes Lernen von Objekten und Mustern, unter Verwendung von Clustertechniken in virtuellen und realen Umgebungen
- Verstärkungslernen von System- und Umgebungszuständen in unsicheren, teilweise beobachtbaren Betriebsumgebungen

### 3.1.5 Big Data und Data Analytics

Big Data, ein Produkt der Datentechnik im informellen Zeitalter, hat in letzter Zeit sowohl in der akademischen als auch der industriellen Gemeinschaft die Aufmerksamkeit zahlreicher Akteure auf sich gezogen. <sup>55</sup> Im Zuge der Vernetzung von Systemen beschreibt Big Data die anfallende große Datenmenge, welche in Echtzeit mittels Data Analytics verarbeitet und analysiert wird. <sup>56</sup>

Für eine erfolgreiche Implementierung von Data Analytics und den Umgang mit Big Data ist es nötig, insbesondere in dem Bereich der Produktion alle Daten zu erlangen und die Kontinuität über die Produktionsprozesse zu gewährleisten. Um dies zu erreichen, besteht die Notwendigkeit der Priorisierung in der Datenakquise, sodass Produktionsprozesse und -vorgänge in jeder Phase durch Data Analytics untersucht werden. Vor allem in frühen Prototypen- und Entwicklungsphasen sind kurze Zyklen essenziell. Somit kann mithilfe der Datenanalyse frühzeitig die Produktion optimiert werden. <sup>57</sup> Durch die Nutzung von Data Analytics können nach KAMPKER ET AL. bereits in diesen Ent-

wicklungsphasen die Daten genutzt werden, um durch eine geeignete Skalierung die Produktionsprozesse zu optimieren. <sup>58</sup> Die Potenziale von Big-Data-Techniken durchdringen im PLM-Bereich die gesamte Wertschöpfungskette, vor allem in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Lieferkettenmanagement, Fertigung und Service. Dadurch wird der Entwicklungszyklus verkürzt, der Montageprozess optimiert, Erträge erhöht und Kundenanforderungen gezielt erfüllt. Durch die Nutzung von Data Analytics entstehen bedeutende Potenziale in der Optimierung der Fertigung und Produktion oder dem Qualitätsmanagement. Die größte identifizierte Hürde stellt dabei die verfügbare Datenbasis dar. Nicht nur unzureichende Sensorik, sondern auch mangelnde Datenmengen können zu einer verminderten Güte der Aussage der Data Analytics führen. Die Qualität der Daten ist dabei ein entscheidender limitierender Faktor des zu bewertenden Prozesses. <sup>59</sup>

#### Anwendung in der Praxis

Besondere Relevanz für die Anwendung künstlicher Intelligenz besteht in der Erdbeobachtung und dem Predictive Maintenance. Diese Aktivitäten finden ihre Anwendung in der Unterstützung bei der Analyse von großen Datenmengen.

Bei der Erdbeobachtung werden große Datenmengen durch kommerzielle Satelliten erhoben und anschließend sequenziell von Rechnern auf der Erde weiterverarbeitet und gespeichert. KI unterstützt dabei, diese Daten zu verarbeiten. Erdbeobachtungsdaten von europäischen Satelliten werden laut GIRIMONTE ET AL. bereits seit 2005 zur Datenverarbeitung mit KI genutzt. <sup>51</sup> Dies ist mit der stetig andauernden Kommerzialisierung des Raumfahrtsektors ein Punkt von hohem wirtschaftlichem Nutzen. Durch gewonnene Geoinformationsdaten können Frühwarnsysteme für Naturkatastrophen, Krisen- und Katastrophenmanagement, Überwachung baulicher Infrastrukturen oder maritime Sicherheit bedient werden. Das DLR arbeitet hier an KI-Methoden und -Lösungen, die in Geodatenbanken neuronale Netzwerke zur Analyse nutzen. <sup>52</sup>

Predictive Maintenance beschreibt die vorrausschauende Instandhaltung von Systemen und Strukturen und damit optimale Identifizierung des Anlagenzustands. Um Aussagen für Zustand, Wartungszeitpunkt und Fehlerintensität zu treffen, sind zentrale Herausforderungen die Erhebung - und Auswertung der Zustandsdaten. Geeignete Sensorik an dem Objekt sowie die Integration in ein System sind zur Vernetzung essenziell. Sensorik ermöglicht das Auslesen großer Datenmengen. Geeignete Daten werden anschließend ausgewertet, um einen Nutzen für die Aussage in der präventiven Instandhaltung zu erhalten. <sup>53</sup> Mithilfe von KI-Methoden können diese ausgewertet und Rückschlüsse auf Ursache und Ort des Problems gezogen werden. Mit wissensbasierter KI werden Korrelationen zwischen Sensormessung und Störung erkannt. <sup>54</sup>

44 Vgl. Deckert et al. (Digitalisierung und Luftfahrt) 2021, S. 19.

45 Vgl. Lexa (Fit für die digitale Zukunft) 2021, S. 29ff.

46 Vgl. Rassolkin et al. (Digital twin for propulsion drive of autonomous electric vehicle), S. 2.

47 Vgl. GBTEC Group (Digitale Transformation: 7 digitale Trends) 2022, S. 4.

48 Vgl. Welte et al. (Raumfahrtindustrie profitiert von digitalen Geschäftsmodellen und Megatrends) 2020, S. 121f.

49 Vgl. Madni et al. (A Trainable On-Line Model of the Human Operator in Information Acquisition Tasks) 1982, S. 511.

50 Vgl. Madni et al. (Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering) 2019, S. 7ff.

51 Vgl. Girimonte et al. (Artificial Intelligence For Space Applications) 2007, S. 240f.

52 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Künstliche Intelligenz im DLR) 2019, S. 6f.

53 Vgl. Kampker et al. (Vorrausschauende Instandhaltung durch Maschinelles Lernen) 2018, S. 195f.

54 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Künstliche Intelligenz im DLR) 2019, S. 18f.

55 Vgl. Li et al. (Big Data in product lifecycle ) 2015, S. 667.

56 Vgl. Kampker et al. (Enabling Data Analytics in Large) 2010, S. 121f.

57 Vgl. Kampker et al. (Enabling Data Analytics in Large) 2010, S. 122f.

58 Vgl. Heimes et al. (Scalable Data Analytics from Predevelopment) 2019, S. 6.

59 Vgl. Heimes et al. (Potenziale und Hürden von Data Analytics) 2019, S. 58.

Die Integration von Big Data mit verschiedenen Cloud-Bereitstellungsmodellen (privat, öffentlich oder hybrid) sowie die Einführung autonomer Systeme in Fahrzeugen haben erhebliche Auswirkungen auf Kosten, technische Anforderungen und andere Faktoren. Technologien wie das Internet of Things sorgen für eine große Menge neuer Daten, die von Forschern, Unternehmen und Regierungen verarbeitet werden müssen. Big Data ist zwar nicht von der Cloud abhängig, aber die Cloud unterstützt die Big-Data-Analyse und -Speicherung und ermöglicht eine skalierbare On-Demand-Verarbeitung. Die Datensicherheit ist hierbei eine große Herausforderung für die Anbieter und Entwickler.<sup>60, 61, 62</sup>

### Anwendung in der Praxis

Angewendet wird Data Analytics unter anderem im Bereich des Predictive Maintenance. Durch die Echtzeitbeobachtung und Nutzung zahlreicher Sensoren in den Objekten während des Einsatzes ist es notwendig, die Datenmengen hinsichtlich der Instandhaltung zu analysieren. Big Data hilft eventuelle Reparaturen und potenzielle Ausfälle der Bauteile frühzeitig zu erkennen. Zusätzlich können die Daten verwendet werden, um während der Nutzung durch Sensorik Kennwerte wie Treibstoffausstoß auszuwerten.<sup>63</sup>

Erdbeobachtungsdaten, die durch die Raumfahrt gewonnen werden, stellen im Kontext Big Data einen erheblichen Anteil an großen Datenmengen dar. Hierzu werden immense Datenmengen über die Umwelt wie Geoinformationsdaten, Satellitenaufnahmen oder über das Flugobjekt wie Wartungs- und Sensordaten aufgezeichnet. Durch die zahlreichen Marktteilnehmer und Konstellationen werden Daten verschiedenen Ursprungs generiert und verarbeitet. Dies stellt eine weitere Herausforderung der Branche im Umgang mit großen Datenmengen dar.<sup>64, 65</sup>

### 3.1.6 Datensicherheit und -Austausch

Die fortschreitende Digitalisierung und Generierung großer Datenmengen bietet Chance und Risiko zugleich. Ein höherer Vernetzungsgrad der Industrie und Raumfahrt hat die Kehrseite einer wachsenden Gefahr für potenzielle digitale Angriffe. Die Daten- oder Cybersicherheit sowie ein sicherer Datenaustausch spielen eine große Rolle in der Etablierung und Umsetzung digitaler Lösungen. Durch die stetig wachsende Automatisierung und Vernetzung der Fertigungslinien und Produktionsstätten besteht die Gefahr von Produktions- und Ertragsausfällen bei einem Angriff auf die Dateninfrastruktur.<sup>66</sup>

Die Industrie 4.0 und der offene Datenaustausch schließen den Vorteil der Flexibilität für den gesamten Wertschöpfungsprozess ein und bieten eine enge Bindung zwischen Lieferanten und Abnehmern. Durch diese offene Datenstruktur wird der Austausch zu einem Ziel für Cyberattacken, welche Risiken Auswirkungen auf gesamtwirtschaftliche Dimensionen haben.<sup>67</sup> Wissen über Produktion, Preisgestaltung, Prototypen oder Produktneuschaffungen unterliegen deshalb oftmals strengen Datenschutz-Auflagen.

In den letzten zwei Jahrzehnten kam das cloudbasierte Produktdesign (CPD) als globaler Trend in Design und Fertigung hervor.<sup>68,69</sup> Das Konzept des Cloud Computing und des serviceorientierten Computing (SOC) stellt eine neue Generation von Computerinfrastrukturen zur Verfügung; z. B. Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS) und Infrastructure as a Service (IaaS).<sup>70,71</sup>

Dies erfordert eine Standardisierung in Bezug auf die IoT-Architektur, aber auch eine Standardisierung in Bezug auf den Datenaustausch und die gemeinsame Nutzung von Daten, um die Datenwirtschaft zu ermöglichen und die Einrichtung von Datenmarktplätzen zu erleichtern. Die breite Nutzung der im Rahmen des IoT generierten Daten wird zu neuen, intelligenten und datenzentrierten Diensten in Verbindung mit neuen Geschäftsmodellen führen. Einen Lösungsansatz für standardisierten Datentransfer bietet die Organisation International Dataspace (IDS) mit dem Reference Architecture Model (RAM).<sup>72</sup> Diese Standards werden von dem Catena-X-Netzwerk vorangetrieben, welches einen sicheren, unternehmensübergreifenden Datenaustausch aller Beteiligten der automobilen Wertschöpfungskette ermöglichen soll. In dem Netzwerk sind unter anderem Siemens, Mercedes-Benz, BMW, Bosch und Fraunhofer vertreten.<sup>73</sup>

60 Vgl. Manogaran et al. (Cybersecurity for industry 4.0) 2017, S. 122.

61 Vgl. Kennedy et al. (Automotive cybersecurity: assessing a new platform for cybercrime and malicious hacking) 2019.

62 Vgl. Khan et al. (Cyberattacks in the next generation cars) 2020, S. 1f.

63 Vgl. Badea et al. (Big Data in the Aerospace) 2018, S. 20f.

64 Vgl. Deckert et al. (Digitalisierung und Luftfahrt) 2021, S. 18.

65 Vgl. Probst et al. (Big Data in Earth Observation) 2017, S. 2.

66 Vgl. Friebe (Digitale Transformation Luft- und Raumfahrt) 2018, S. 9.

67 Vgl. Heng (Industrie 4.0: Upgrade des Industriestandorts) 2014, S. 9f.

68 Vgl. Tuli et al. (Collaborative and lean new product development approach: a case study in the automotive product design) 2015, S. 2457ff.

69 Vgl. Schaefer (Cloud-Based Design and Manufacturing (CBDM)) 2014, S. 1ff.

70 Vgl. Manogaran et al. (Cybersecurity for industry 4.0) 2017, S. 122.

71 Vgl. Khan et al. (Cyberattacks in the next generation cars) 2020, S. 1f. 72 Vgl. Otto et al. (IDS Reference Architecture Model).

73 Vgl. Mercedes-Benz Group (Catena-X: Das neue Netzwerk zum Datenaustausch führender Industrieunternehmen | Mercedes-Benz Group) 2021.

## 3.2 Digitalisierungsstrategien

Mit dem Ziel der Synergieidentifizierung zwischen den Branchen Raumfahrt und Mobilität erfolgt in diesem Kapitel eine Einordnung der Digitalisierung in der deutschen Raumfahrt sowie der Mobilitätsbranche. Diese Einordnung soll dabei helfen, Unterschiede zwischen den Branchen zu identifizieren; sodass abschließend weiter auf diese eingegangen wird und in diesem Kontext Handlungsempfehlungen für die Digitalisierungsstrategie der Raumfahrt ermittelt werden können.

### 3.2.1 Raumfahrt

Die Auswahl der zentralen Stoßrichtungen der Digitalisierungsstrategie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) basiert auf vorhandenen Stärken sowie notwendigen Kompetenzen und branchenübergreifenden Methodenkenntnissen. Die zentralen Punkte sind:

- KI in allen Bereichen des DLR stärken
- Datenschätze generieren, verwalten und nutzen
- Stärken beim Zusammenspiel digitaler und physischer Ingenieurskunst ausbauen
- Innovative autonome Systeme erforschen, entwickeln und einsetzen
- Die Digitalisierung des DLR als Organisation vorantreiben<sup>74</sup>

Die KI wird im Rahmen der Digitalisierungsstrategie des DLR als eine der bedeutendsten Technologien für die Zukunft der Digitalisierung gesehen.<sup>75</sup> Ziel ist, zentraler Kompetenzträger und Innovationstreiber in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit in der Nutzung von KI-Methoden zu werden. Konkrete Anwendungsfälle sind automatisierte Bilderkennung, Wissensmanagement oder die Modellierung komplexer Systeme. Neben der Gewinnung zentraler KI-Kompetenzen durch Expertinnen und Experten treibt das DLR eine internationale Standardisierung und Normung in diesen Kernbereichen voran.<sup>76</sup> Durch fortschreitende Digitalisierung steigt die notwendige Datenspeicherkapazität an. Das DLR strebt ein einheitliches und professionelles Forschungsdatenmanagement durch hochmoderne und einfach skalierbare Rechen- und Speicherinfrastrukturen an. Daten sollen durch gemeinsame Plattformsätze fusioniert und analysiert werden. Im Rahmen der Datenstrategie der Bundesregierung setzt das DLR auf bereits bestehende Initiativen wie Gaia-X und Catena-X.

Das DLR baut Kompetenzen in den Themen der Simulation komplexer Prozesse, Digitaler Zwilling und Virtuelles Zulassungsverfahren aus, um die Schnittstelle zwischen digitalem und physischem Ingenieurwesen weiter zu fördern. Branchenübergreifend sind für die Kerngebiete des DLR der Digitale Zwilling und Predictive Maintenance Themengebiete, die in der gesamten Entwicklungskette relevant sind.<sup>77</sup> Im Querschnittsbereich Digitalisierung der Strategie 2030 werden u. a. die Punkte Virtuelles Produkt, Digitaler Zwilling und Zustandsorientierte Instandhaltung thematisiert.<sup>78</sup> Für die Raumfahrtbranche deutet dies darauf hin, dass mit den digitalen Lösungen und Kompetenzen aus anderen Branchen ein Potenzial besteht, Synergien zu nutzen<sup>79</sup>.

Das virtuelle Produkt beschreibt dabei, dass durch numerische Abbildungen in der Produktentwicklung gesamte Konzepte und Komponenten simuliert werden können. Diese Virtualisierung ermöglicht, dass bereits Alterungs- und Wartungsprozesse gezielt simuliert und über einen gesamten Lebenszyklus analysiert werden können. Aktuelle Forschungsprojekte beinhalten die simulationsbasierte Zulassung von Luftfahrzeugen und deren Komponenten, um so Kosten und Zeit im Zulassungsprozess zu minimieren. Der Digitale Zwilling wird als Ergebnis eines digitalisierten Produktionsprozesses beschrieben. Das DLR forscht in diesem Zusammenhang an dem Wartungsprozess der Zukunft. Durch den Einsatz von Sensoren wird die virtuelle Instanz mit Realdaten der physischen Instanz gespeist, um Korrelationen zwischen Abnutzung und äußeren Einwirkungen zu analysieren und somit Prognosen für einzelne Komponenten oder das gesamte System zu treffen.<sup>80</sup>

74 Vgl. Kunandt et al. (Digitalisierung im DLR) 2021, S. 5.

75 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Künstliche Intelligenz im DLR), S. 2.

76 Vgl. Kunandt et al. (Digitalisierung im DLR) 2021, S. 7.

77 Vgl. Kunandt et al. (Digitalisierung im DLR) 2021, S. 11.

78 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Zukunftstechnologien für die Gesellschaft DLR), S. 11.

79 Vgl. Friebe (Digitale Transformation Luft- und Raumfahrt) 2018, S. 3.

80 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Zukunftstechnologien für die Gesellschaft DLR), S. 12.

### 3.2.2 Mobilitätsbranche

Fundamentale Konzepte der Digitalisierung im Zuge der Industrie 4.0 der Mobilitätsbranche stellen Smart Factory und Cyberphysische Systeme dar. In der Produktion und Fertigung werden Maschinen mit Sensoren ausgestattet und in autonome Systeme eingebettet<sup>81</sup>. BRACHT ET AL. beschreibt eine digitale Fabrik als den...

*„...Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und dreidimensionalen Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.“<sup>82</sup>*

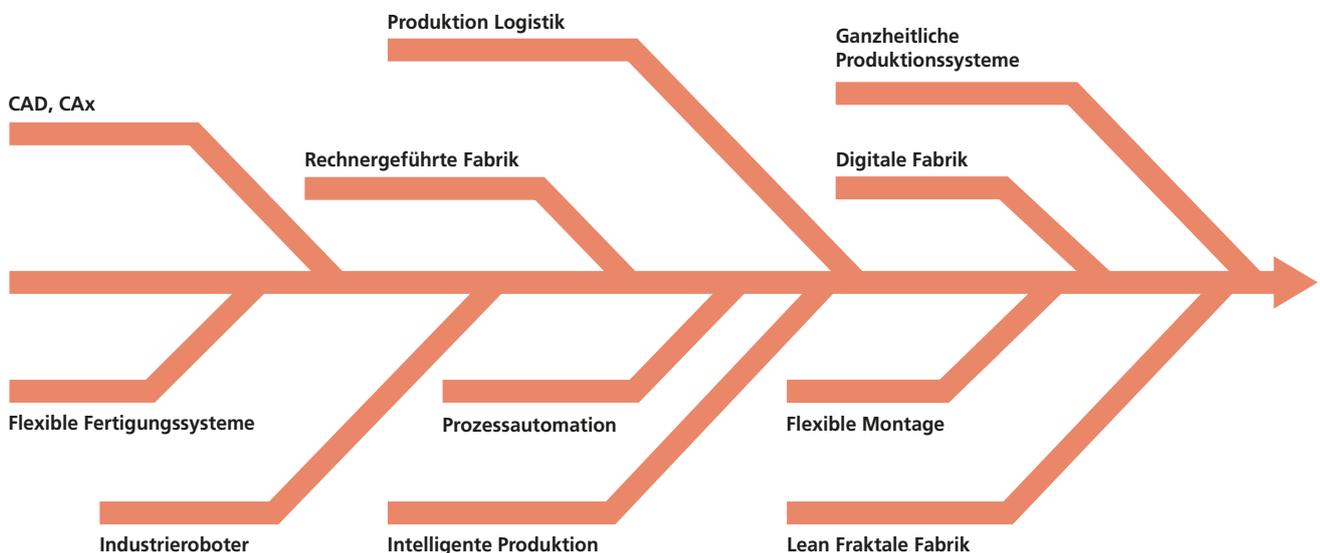
In der Automobilbranche ist die digitale Fabrik nach der Definition bereits in einem hohen Reifegrad implementiert. Die Standardisierung der Prozesse und Produkte ist durch die Einführung von IT-Werkzeugen und Methoden eine der fortgeschrittensten Bereiche der digitalen Fabrik. Andererseits besteht bzgl. des Datenmanagements noch Handlungsbedarf, sodass die Durchgängigkeit der Daten gewähr-

leistet ist. Hier ist es notwendig, bestehende Systeme durch Insel-lösungen zu ergänzen, um vollständige Systemintegration zu erreichen. Ein essenzieller Punkt ist dabei, die Schnittstellen zwischen den Bereichen klar zu definieren und durchgängige Datennutzung bei minimalem Informationsverlust zu ermöglichen.<sup>83</sup>

Abbildung 3-7 beschreibt die Technologien der Digitalisierung, die zu einer Fabrik der Zukunft beitragen. Abgebildet sind die Digitalisierungssysteme, die im Verlauf der Zeit durch Technologietransfer Applikationen in der Produktion der Automobilbranche finden. Diese können durch branchenübergreifenden Transfer identifiziert und in der Produktion implementiert werden. Das Ziel dieser fortschreitenden Implementierung ist die Fabrik der Zukunft, die vollständig digitalisiert betrieben wird.

Die Abbildung zeigt bereits eingeführte Prozesse der Produktion sowie der bereits erwähnten digitalen Fabrik oder auch intelligenter Produktion und der Nutzung von Industrierobotern und Prozessautomatisierung. Im Umfeld der Produktion werden so neue Digitalisierungsprozesse entwickelt und bestehende weiter implementiert. Die Veränderung der Produktion erfolgt dabei durch die Vernetzung der Prozessketten, schnelle Bereitstellung der Daten, Verknüpfung der realen mit der digitalen Welt und insbesondere durch die Vernetzung der Produkte untereinander.<sup>85</sup>

Abbildung 3-7: Vordringen der digitalen Technologien in der Produktion<sup>84</sup>



<sup>81</sup> Vgl. Lasi et al. (Industry 4.0) 2014, S. 240.

<sup>82</sup> Vgl. Bracht et al. (Digitale Fabrik) 2018, S. 11.

<sup>83</sup> Vgl. Bracht et al. (Digitale Fabrik) 2018, S. 18f.

<sup>84</sup> In Anlehnung an Westkämper (Struktureller Wandel durch Megatrends) 2013, S. 9.

<sup>85</sup> Vgl. Westkämper (Struktureller Wandel durch Megatrends) 2013, S. 8f.

Die wesentlichen Anwendungsfelder der Digitalisierung der Produktion stellen digitale Managementsysteme für Steuerung und Planung der Produktion, Mensch-Maschine-Kommunikation und die Automatisierung dar. Bei der vollständigen Vernetzung der Abläufe in der Produktion sowie der vor- und nachgelagerten Prozesse wie in der Entwicklung oder in Service-Bereichen können relevante Daten in Echtzeit als Konzept zur Steuerung dienen.<sup>86</sup> Die Automobilbranche hat durch die Großserienproduktion der OEM einen hohen Reifegrad von Digitalisierungslösungen in der Produktion. Hingegen stehen kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und kleinere Zulieferer vor der Herausforderung, aufgrund steigender Komplexitäten und geringerer Stückzahlen die Digitalisierung in gleichem Maße zu implementieren.<sup>87</sup>

Dieser zunehmende Automatisierungsgrad der Produktion kann durch die OEM mithilfe der Modularisierung und Großserienfertigung gelöst werden. Im Bereich der Zulieferer ist die kurzfristige Umstellung der Produktion und die Reaktion auf variierende Losgrößen mit zunehmender Wichtigkeit behaftet. Ein hoher Grad der Automatisierung ist nur dann sinnvoll, wenn die Produktion flexibel planbar ist. Bei zunehmender Automatisierung ist eine höhere Prozessqualität möglich. Stellgrößen im Produktionsprozess können durch die intelligente Nutzung der Sensorik frühzeitig angepasst werden, um die Produktionsqualität zu sichern. Weiter können durch Data Analytics und Big-Data-Methoden die Zusammenhänge zwischen den Prozess- und Qualitätsparametern in der Produktion untersucht werden.<sup>88, 89</sup>

Durch die Nutzung von Sensorik und der Sammlung von sämtlichen verfügbaren Daten kann der Digitale Zwilling ein zentrales Element der digitalen Fabrik darstellen und ermöglicht zudem einen Selbstoptimierungsprozess. Die Sammlung der Daten aus den IT-Systemen kann in einem Modell zusammengeführt werden, um ein genaues Abbild des realen Produkts als Digitalen Zwilling zu schaffen. Notwendig sind dafür eine nahtlose Verknüpfung der Schnittstellen der Produktionsprozesse und eine lückenlose Datendurchgängigkeit. Ein konsistentes Modell in der Produktion aufzubauen, ist eine essenzielle Herausforderung, um die Vernetzung der Systeme in den Schnittstellen optimal zu vereinen.<sup>90</sup>

86 Vgl. Matthias Pfaff et al. (Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche?) 2022, S. 18f.

87 Vgl. Matthias Pfaff et al. (Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche?) 2022, S. 25.

88 Vgl. Heimes et al. (Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030) 2021, S. 39f.

89 Vgl. Grimm et al. (Transformation der Wertschöpfung) 2022, S. 61.

90 Vgl. Wohlfeld (Digitaler Zwilling für die Produktion) 2019, S. 65f.

# 4

## METHODIK ZUR IDENTIFIKATION VON MASSNAHMEN ZUR FÖRDERUNG DER DIGITALISIERUNG

Im Folgenden wird die Methodik vorgestellt, mit der im Rahmen dieser Untersuchung Maßnahmen zur Förderung der Digitalisierung in der Raumfahrt identifiziert werden. Abbildung 4-1 zeigt den hier verwendeten Lösungsansatz.

## 4.1 Bedarfsanalyse

Aus Kapitel 3.2 ist zu erkennen, dass insbesondere die Raumfahrt aktuell Anwendungspotenziale der Digitalisierungslösungen bzgl. der Industrie 4.0 nicht ausschöpft. Entsprechend ist zu ermitteln, inwiefern vorhandene Differenzen zwischen den Branchen geschlossen werden können. Hierfür sollen anhand zu identifizierender Synergien zwischen den Branchen Handlungsempfehlungen zur Förderung der Digitalisierung in der Raumfahrtbranche aufgezeigt werden.

Abbildung 4-1: Lösungsansatz zur Identifikation von Maßnahmen zur Förderung der Digitalisierung<sup>91</sup>



## 4.2 Datenerhebung (Online-Fragebogen)

Die identifizierten Bedarfe werden anhand eines Online-Fragebogens in der Praxis verifiziert. Hierfür wurden potenzielle Unternehmen beider Branchen identifiziert. Für einen repräsentativen Einblick in die Branchen wurden Unternehmen von Start-up bis OEM, Forschungsinstitute sowie New und Old Space-Unternehmen ausgewählt. Die Unternehmensgröße variiert von zwei bis 400.000 Mitarbeitern. Die Online-Befragung beinhaltet eine allgemeine Datenerhebung, die quantitativ aufbereitet und ausgewertet wird (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Allg. Datenerhebung aus Online-Befragung, Fragebogen

Unternehmen/Organisation des Interviewpartners
Mitarbeiterzahl des/der Unternehmens/Organisation
Einschätzung des Reifegrades im/in der Unternehmen/Organisation
Einschätzung der Bereitschaft zur Digitalisierung weiterer Prozesse
Einordnung über Relevanz und Nutzung von Digitalisierungslösungen in die Geschäftsbereiche
Angaben zur Nutzung der Software oder Digitalisierungslösungen
Angaben zu Bedenken über weitere Digitalisierung von Prozessen
Angaben Bereitschaft zur Kooperation mit anderen Branchen in Bezug auf Digitalisierung

## 4.3 Datenerhebung (Experteninterviews)

Basierend auf dem Fragebogen werden Experteninterviews in beiden Branchen durchgeführt. Mit dem Ziel eines repräsentativen Einblicks wurden Interviewpartner aus verschiedenen Unternehmensebenen vom Angestellten bis CEO ausgewählt. Eine Auflistung der interviewten Personen sowie deren Position im Unternehmen werden im Anhang tabellarisch dargestellt.

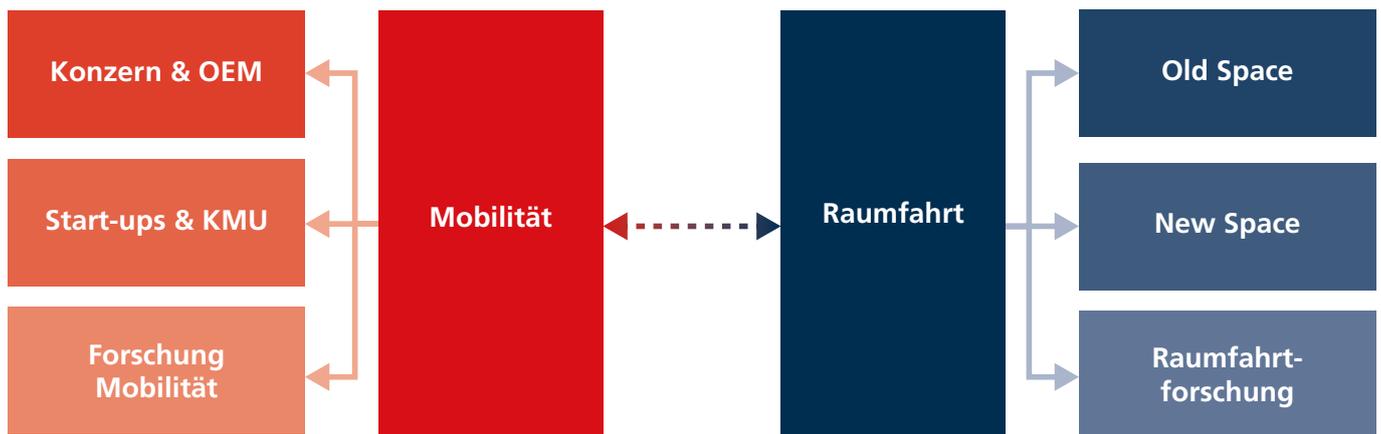
Ziel der Befragung ist, aktuelle Digitalisierungslösungen der Befragten zu untersuchen sowie Herausforderungen, Gefahren und Risiken bei der Implementierung von selbigen zu identifizieren. Das Interview sieht eine halboffene und leitfadengestützte Interviewform vor und nutzt eine Auswertung mittels Paraphrasierung. Der Leitfaden ist fragen-gestützt und wird bei Bedarf an das Gespräch angepasst.

Hinsichtlich der Auswertung wird eine Inhaltsanalyse der Interviews nach MEUSER UND NAGEL durchgeführt, die aus einer Kombination aus quantitativen und qualitativen Denkansätzen besteht. Der Fokus liegt auf den aus den Gesprächen gewonnenen Haupteckdaten. Dementsprechend werden Kernaussagen sowie relevante Einschätzungen der Expertinnen und Experten aufgefasst und in der Datenauswertung analysiert.<sup>92</sup>

<sup>91</sup> Eigene Darstellung

<sup>92</sup> Vgl. Weber et al. (Die Inhaltsanalyse nach Mayring) 2021, S. 6f.

Abbildung 4-2: Veranschaulichung der Clusterung nach Branchenzugehörigkeit<sup>93</sup>



## 4.4 Einordnung der Unternehmen in Cluster

Die erhobenen Daten werden anhand von Unternehmenskennwerten strukturiert und geclustert. Die Clusterung erfolgt anhand der in den Interviews erkannten Unternehmensstruktur. Durch die Auswertung der Daten und Aussagen können mit der Einteilung in Cluster bereits Synergieeffekte erkannt und Handlungsstrategien herausgearbeitet werden. Abbildung 4-2 zeigt die Struktur der Clusterung nach Branchenzugehörigkeit.

Dabei werden die Organisationen, die an der Umfrage sowie dem Interview teilnehmen, in die Cluster Old Space, New Space und Raumfahrtforschung sowie Konzern & OEM, Start-ups & KMU und Forschung in der Mobilität eingeteilt.

Dabei stellt das Cluster Konzern & OEM jene Unternehmen dar, welche nach § 267 HGB zwei der drei folgenden Punkte überschreiten oder nach KIRCHGEORG jene Unternehmen, welche Bauteile zur Erstausrüstung eines Fahrzeuges liefern:

1. 20.000.000 Euro Bilanzsumme
2. 40.000.000 Euro Umsatzerlöse in den zwölf Monaten vor dem Abschluss-Stichtag
3. Im Jahresdurchschnitt 250 Arbeitnehmer<sup>94, 95</sup>

Weiter werden alle Unternehmen, welche die oben genannten Kategorien unterschreiten, sowie solche, die sich in der Gründungsphase befinden, in das Cluster Start-ups & KMU eingeordnet.

Bei der Unterscheidung von Unternehmen in Old und New Space sind die Grenzen fließend und häufig nicht trennscharf. Die klassische Raumfahrtbranche, die historisch maßgeblich durch Regierungsprogramme finanziert wurde, wird heutzutage typischerweise als Old Space bezeichnet. Die dem gegenüberstehende New Space-Bewegung wird durch die zunehmende Anzahl privater Unternehmen charakterisiert, die mit innovativen Geschäftsmodellen die gesamte Branche disruptiv verändern. Durch die Verflechtung der traditionellen Raumfahrt mit neuen Marktteilnehmern verwischen die Grenzen zwischen Old und New Space, wodurch keine objektive Unterteilung möglich ist. Aus diesem Grund wird hier die Einteilung auf Basis einer Selbsteinschätzung der Unternehmen und Organisationen vorgenommen. Zuletzt werden Institutionen, die sich der Forschung verschrieben haben, in die jeweiligen Forschungscluster eingeordnet.

<sup>93</sup> Eigene Darstellung

<sup>94</sup> Vgl. Bundesministerium der Justiz (§267 Umschreibung der Größenklassen) 2023.

<sup>95</sup> Vgl. Manfred Kirchgeorg (Definition: Original Equipment Manufacturer (OEM)) 2018.

## 4.5 Auswertung der erhobenen Daten

Die auf dem Fragebogen aufbauenden Experteninterviews wurden leitfadengestützt und offen hinsichtlich ergänzender Hinweise der Befragten ausgeführt. Um einen Abgleich mit den quantitativen Ergebnissen aus dem Online-Fragebogen und im Weiteren eine spezifizierte Gegenüberstellung zu den Bedarfen der beiden Branchen zu ermöglichen, erfolgt zunächst die Einordnung der Ergebnisse der Interviews in die in Kapitel 4.4 definierten Cluster. Im nächsten Schritt werden bezogen auf die Cluster die Kernaussagen der Expertinnen und Experten, dem Interview-Leitfaden folgend, drei thematischen Einheiten zugeordnet und in diesem Rahmen weiter analysiert: Digitalisierungsmöglichkeiten und Lösungen; Herausforderungen, Gefahren und Risiken; Wünsche an Politik und/oder Industrie. Nach dieser Gliederung sind die Kernaussagen aus den Interviews aufbereitet.

Da es bei dieser Auswertung der Interviews nicht auf einzelfallbezogene Interpretationen, sondern auf einen Gesamtüberblick innerhalb der gebildeten Cluster ankommt, bündeln die thematischen Einheiten inhaltlich zusammengehörige, über die geführten Gespräche gegebenenfalls verstreut eingebrachten Passagen, wobei es nicht auf die Abfolge innerhalb des Gesprächs, sondern auf den im Gesamtkontext eingeordneten Inhalt ankommt. Damit werden die Äußerungen der Expertinnen und Experten von Anfang an im Kontext ihrer institutionell-organisatorischen Handlungsbedingungen verortet und erhalten – wie auch bereits durch den einheitlichen Online-Fragebogen und die leitfadengestützte Interviewmethode – eine Vergleichbarkeit innerhalb der Cluster. Zudem werden hierüber die von den Expertinnen und Experten fokussierten Themen aus dem Horizont vielfältig möglicher Gesprächsschwerpunkte herausgefiltert und in einer verdichteten Form der weiteren Auswertung zugänglich gemacht. Dafür werden den gebildeten Einheiten, nach Clustern differenziert, die mehrfach genannten Kernaussagen zugeordnet. Soweit außergewöhnliche Hinweise einmalig erscheinen, werden diese gesondert gekennzeichnet, hier ebenfalls aufgeführt. Auf dieser Grundlage werden zudem die in der quantitativen Auswertung erarbeiteten Ergebnisse geprüft und ggf. weiter differenziert.

## 4.6 Synergieidentifikation

Auf der Basis der in den vorigen Kapiteln ermittelten Ergebnisse wird in der Synergieidentifikation herausgearbeitet, in welchem Cluster Potenzial für einen branchenübergreifenden Transfer von digitaler Technologie besteht und in welchen Bereichen der Prozesskette dieser den größten Nutzen für die Branchen besitzt. Zunächst wird dazu die aufgestellte Hypothese der Vorreiterrolle der Mobilitätsbranche aufgegriffen und ermittelt, in welchen Bereichen ein Technologietransfer aus der Mobilitätsbranche in andere Branchen Relevanz besitzt. Dafür wird auf die ausgearbeiteten Lösungen der Mobilitätsbranche und die identifizierten Herausforderungen der Raumfahrtbranche eingegangen. Im Anschluss wird das Potenzial von Kooperationsmöglichkeiten der Branchen geprüft. Dabei werden die quantitativen Ergebnisse der Umfrage in beiden Branchen verglichen.

## 4.7 Handlungsempfehlungen

Ausgehend von den identifizierten Synergieeffekten folgt das Erarbeiten von Lösungsansätzen. Anhand der Synergien und weiteren Ergebnisse werden aus den Interviews, die auf Wünsche oder zu schaffende strategische bzw. politische Rahmenbedingungen der Befragten abzielen, Handlungsempfehlungen im Rahmen der Forschungsfrage ermittelt. Diese können als Inspiration und Leitfaden für die zukünftige Digitalisierungsstrategie der Raumfahrt in Deutschland dienen. Die Empfehlungen sind auf branchenübergreifende Kooperationen ausgerichtet, die im Rahmen von Kooperationsnetzwerken ausgebaut werden können und zur Umsetzung dieser ermittelten Digitalisierungsstrategien beitragen. Die erkannten Synergien zwischen den Branchen dienen im Rahmen eines horizontalen Technologietransfers zur Förderung der Digitalisierung in der Raumfahrtbranche. Weiter liefern die Wünsche der Befragten Input zur Definition von Strategien bezüglich politischer Rahmenbedingungen, die Finanzierung oder Standards und Regularien maßgeblich festlegen.

# 5

---

## IDENTIFIKATION BRANCHENÜBERGREIFENDER SYNERGIEN

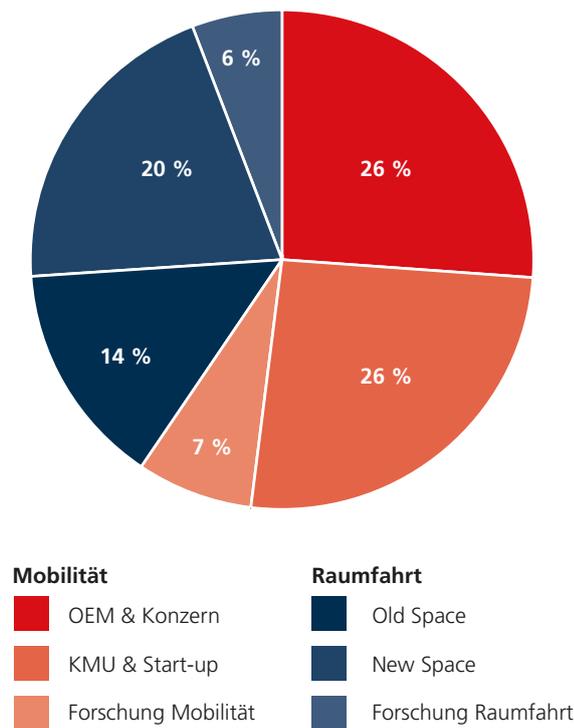
---

Im folgenden Kapitel werden die in Kapitel 4 beschriebenen Methodiken angewendet und analysiert. Die quantitativ und qualitativ präsentierten Auswertungen werden mit den Erkenntnissen aus dem Stand der Technik verglichen und in einen Kontext gebracht. Die sich daraus ergebenden Synergien werden genutzt, um Handlungsoptionen für die Raumfahrt zu erwägen und eine Handlungsstrategie zur Kooperation mit der Mobilitätsbranche zu entwickeln.

## 5.1 Auswertung quantitativer Ergebnisse des Online-Fragebogens

Im Folgenden werden die Angaben aus dem Fragebogen statistisch ausgewertet und analysiert. Abbildung 5-1 beschreibt dabei die Verteilung der gesammelten Auswertungen von Interviewpartnern anhand der vorher beschriebenen Cluster.

Abbildung 5-1: Aufteilung der Befragten in die definierten Cluster<sup>96</sup>



Die Mehrheit der Befragten stammt mit 59 % aus der Mobilitätsbranche. Mit jeweils 26 % bilden OEMs und KMUs die größten Cluster im Rahmen dieser Untersuchung. Den geringsten Anteil bilden die Befragten aus Forschungsorganisationen beider Branchen. In der Raumfahrtbranche ist besonders die starke Beteiligung von Unternehmen aus dem Cluster New Space hervorzuheben.

Die Verteilung lässt darauf schließen, dass Unternehmen der New Space-Bewegung eine höhere Bereitschaft beim Thema Digitalisierung und den zugehörigen Herausforderungen zeigen. Der geringe

Anteil an Unternehmen aus der Forschung spiegelt lediglich die realen Verhältnisse zwischen Unternehmen und Forschungsinstitutionen wider. Um eine Vergleichbarkeit der Branchen zu schaffen, werden in den nächsten Unterkapiteln die Angaben aus den Fragebögen in die Cluster geordnet und anschließend ausgewertet. Dies dient als Grundlage der Synergieidentifikation und der Ermittlung von Handlungsempfehlungen.

### 5.1.1 Reifegrad der Digitalisierung

Durch den Fragebogen wird geprüft, wie hoch die Interviewpartner den Reifegrad in ihrem Unternehmen bzw. ihrer Organisation beschreiben. Dazu wird der Reifegrad auf einer Skala von eins bis sieben angegeben; die Bewertung erfolgt von gering bis hoch. Der Reifegrad der Digitalisierung in einem Unternehmen hängt von zahlreichen Faktoren ab. Es ist zu beachten, dass die Befragten keine umfassende Analyse ihres Unternehmens durchgeführt haben und daher nur eine Schätzung angeben können, welche stark von dem unmittelbaren Arbeitsumfeld abhängig ist. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Fragebogens aus beiden Branchen gegenübergestellt. Dazu werden die Angaben in Branchen und anschließend in die beschriebenen Cluster sortiert und grafisch dargestellt. Abbildung 5-2 zeigt eine nach Branchen aufgeschlüsselte Gegenüberstellung des von den Befragten eingeschätzten Reifegrades der Digitalisierung. Die Mittelwerte der jeweiligen Branchen werden dabei mittels eines dem Farbcode entsprechenden Striches und Piktogramms gekennzeichnet.

An dem Mittelwert ist zu erkennen, dass die Teilnehmer beide Branchen auf der Skala im Mittelfeld einschätzen. Auffällig ist, dass lediglich Befragte aus der Mobilitätsbranche ihrem Unternehmen einen maximalen Digitalisierungsgrad zuordnen und nur Angaben aus der Raumfahrt getätigt wurden, die ihrer Organisation den minimalen Reifegrad der Digitalisierung zuordnen. Allgemein ist die Verteilung in beiden Branchen jedoch ausgedehnt und lässt auf große Differenzen zwischen Unternehmen und internen Abteilungen schließen.

Um einen detaillierten Einblick des Reifegrades in den Branchen zu erhalten, werden die Angaben im Folgenden den einzelnen Clustern der Branchen zugeordnet. Abbildung 5-3 zeigt die Angaben über die Einordnung des Reifegrades der Unternehmen aus der Mobilitätsbranche.

In der Mobilitätsbranche ist eine Differenzierung im Digitalisierungsgrad zwischen Unternehmen aus dem Cluster KMU & Start-up zu beobachten. Einige Unternehmen sind bei der Digitalisierung besonders fortgeschritten, jedoch existieren einige Nachzügler in dem Cluster. Befragte aus Unternehmen in Konzerngröße geben zwar ebenfalls einen Reifegrad über fünf an, jedoch ordnet der Großteil der Befragten ihrem Unternehmen einen mittleren Reifegrad von vier zu. Daraus ist erkennbar, dass Konzerne in der Mobilitätsbranche bereits in vielen Bereichen digitalisiert sind, jedoch noch nicht alle Ziele in der Digitalisierung erreichen konnten oder vor weiteren Herausforderungen stehen. KMU hingegen weisen zwar große Differenzen auf, einige Vorreiter nutzen allerdings schon die für sie notwendigen digitalen Lösungen. Im Gegensatz zu den anderen Clustern liegt die Verteilung der Forschung in der Mobilität nah um den Mittelwert.

<sup>96</sup> Eigene Darstellung

Abbildung 5-2: Reifegrad der Digitalisierung in Raumfahrt und Mobilitätsbranche<sup>97</sup>

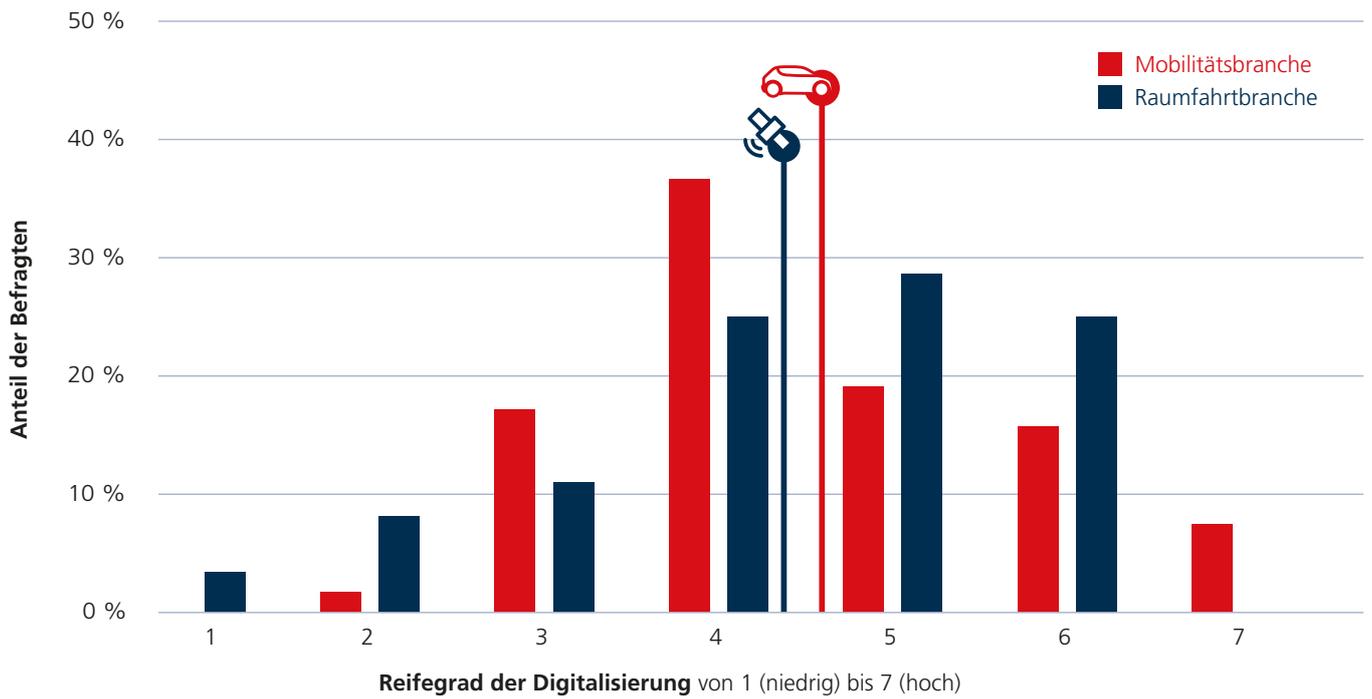
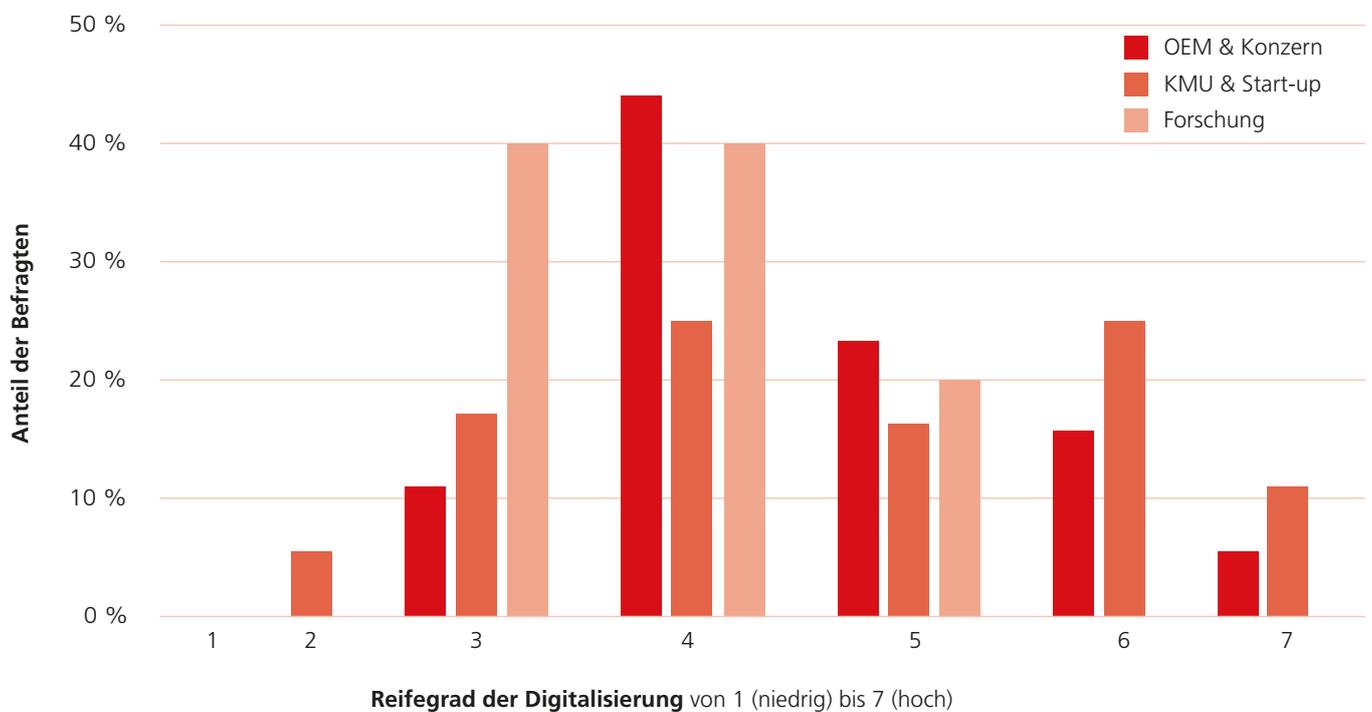
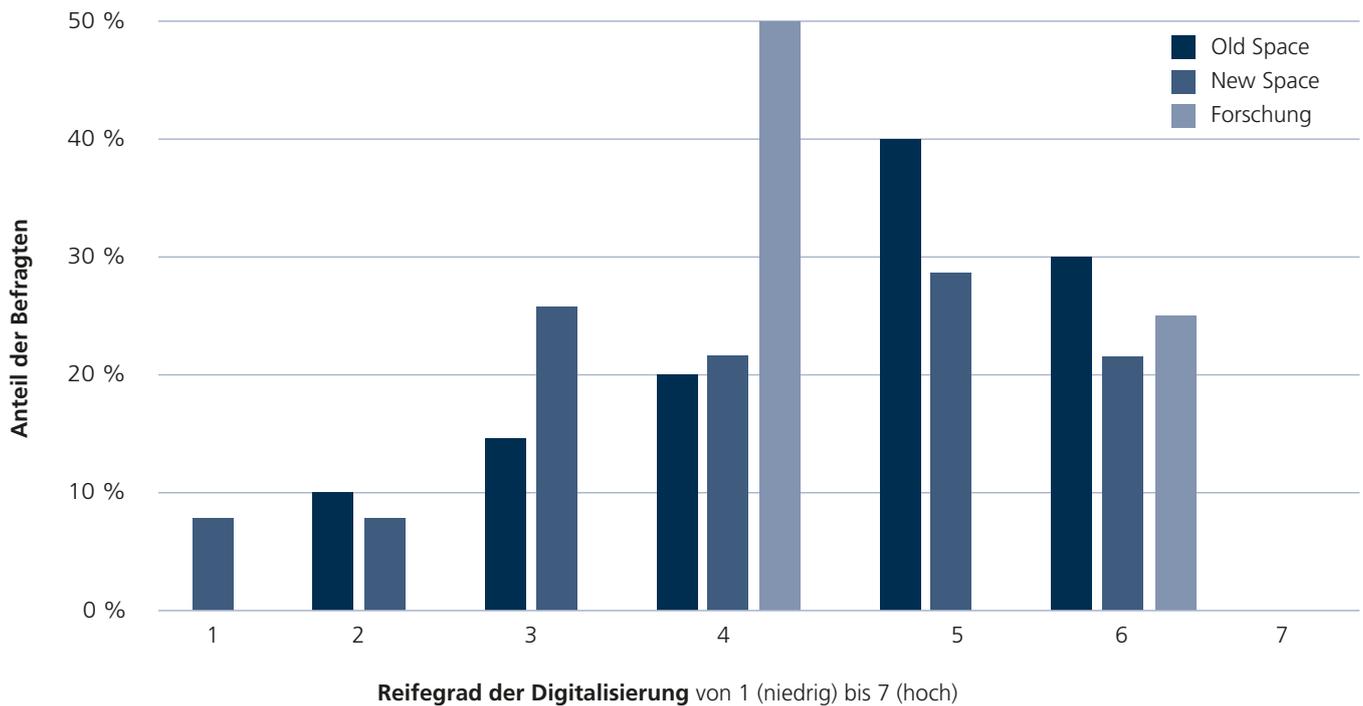


Abbildung 5-3: Reifegrad der Digitalisierung in der Mobilitätsbranche<sup>98</sup>



<sup>97</sup> Eigene Darstellung  
<sup>98</sup> Eigene Darstellung

Abbildung 5-4: Reifegrad der Digitalisierung in der Raumfahrtbranche<sup>99</sup>



Jeweils 40 % der Befragten aus dem Cluster geben an, einen Reifegrad von drei oder vier in ihrer Organisation aufzuweisen. Mit dem branchenübergreifend niedrigsten Mittelwert von 3,8 auf der Skala ist die Forschung in der Mobilität das Cluster mit dem geringsten Reifegrad. Hier handelt es sich zumeist um allgemein nicht digital durchgeführte Prozesse.

Abbildung 5-4 zeigt die Angaben über die Einordnung des Reifegrades der Unternehmen aus der Raumfahrtbranche. Hier sind Unternehmen aus dem Cluster Old Space besonders auffällig. Obwohl ein maximaler Reifegrad nicht angegeben ist, liegt das Cluster mit einem Mittelwert von 4,8 bereits vorne bei der Digitalisierung der Prozesse. Die Verteilung bleibt dabei größtenteils zwischen dem Reifegrad 4 und 6. Im Gegensatz dazu stehen Unternehmen, die der New Space-Bewegung zugeordnet werden können. Diese weisen eine breite Verteilung bei dem Reifegrad der Digitalisierung auf. Daraus ist zu schließen, dass Unternehmen aus dem Cluster Old Space, ähnlich wie Konzerne aus der Mobilität, breit in der Digitalisierung der Prozesse aufgestellt sind, jedoch ebenfalls vor großen Hürden bei der weiteren Digitalisierung stehen. Hier sind Synergiepotenziale zwischen den Clustern Old Space und OEM & Konzern zu erkennen. Unternehmen aus den Clustern KMU & Start-up und New Space haben eine ähnliche Synergie. Hier ist eine starke Reifedisparität zwischen den beiden Clustern zu erkennen.

In der Raumfahrtbranche existieren, im Gegensatz zur Mobilität, keine Unternehmen, die einen maximalen Reifegrad aufweisen. Organisationen, die dem Cluster Forschung zugeordnet werden, weisen eine ähnliche Verteilung wie in der Mobilität auf. Dies ist auf ähnliche Rahmenbedingungen wie in der Forschung zurückzuführen.

Zusammenfassend ist die Mobilitätsbranche der Raumfahrtbranche bei der Prozessdigitalisierung zwar voraus, steht aber ebenfalls noch vor Herausforderungen, um die Ziele der Digitalisierung zu erreichen. Unternehmen aus den Clustern New Space und KMU sowie Old Space und OEM weisen eine ähnliche Verteilung der Reifegrade auf, was auf ein Potenzial für Synergien schließen lässt. Im folgenden Kapitel werden daher die Angaben zu Relevanz und Nutzen von digitalen Lösungen ausgewertet, um diese Aussage zu konkretisieren.

### 5.1.2 Geschäftsbereiche und die Nutzung von Digitalisierungslösungen

Im Rahmen des Online-Fragebogens konnten die Teilnehmer zunächst auswählen, ob ihr Unternehmen in definierten Bereichen digitale Lösungen einsetzt. Im nächsten Schritt wurde abgefragt, inwiefern digitale Lösungen in diesen Bereichen für ihr Unternehmen als relevant erachtet werden. Hierzu wurden folgende Bereiche abgefragt: Entwicklung/Engineering, Supply Chain, Produktion, Simulation, Testing, Inspektion, Wartung, Reparatur und Recycling.

<sup>99</sup> Eigene Darstellung

Es sollen anhand des Vergleichs zwischen Nutzung und Relevanz der Digitalisierungslösungen mögliche Differenzen zur Entdeckung von Missständen zwischen den Clustern der Raumfahrt sowie dem Cluster Mobilität erkannt werden. Außerdem werden potenzielle Cluster-Kooperationen ausfindig gemacht. Abbildung 5-5 zeigt den aktuellen Nutzungsgrad digitaler Lösungen in den Clustern als Heatmap auf einer Skala von 1 (= niedrig) bis 9 (= hoch). Dabei stellen die dunkleren Grautöne Bereiche in den Clustern dar, in denen relativ gesehen ein höherer Anteil der Befragten Digitalisierungslösungen nutzt.

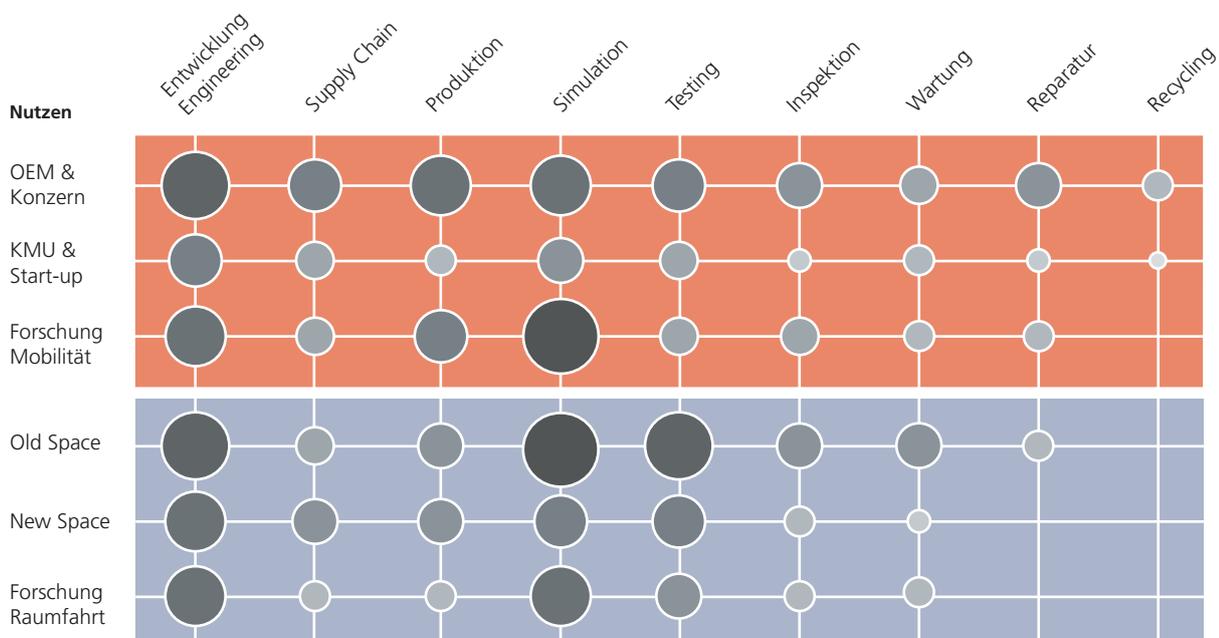
Im Gegensatz zu den restlichen Clustern nutzen Konzerne der Mobilitätsbranche bereits in allen Bereichen digitale Lösungen, woraus zu interpretieren ist, dass OEMs bei der Integration von digitalen Systemen weit fortgeschritten sind. Lediglich in den Bereichen Testing und Simulation geben mehr Teilnehmer aus dem Cluster Old Space an, Lösungen zu nutzen. Dies verweist auf mögliche branchenübergreifende Synergiepotenziale, wie zum Beispiel in den MRO-Bereichen. Diese Veranschaulichung der Nutzung von Digitalisierungslösungen zeigt eine Differenz zwischen den Clustern Old Space und New Space. Vor allem die relevanten Bereiche, die hochdigitalisiert sind, zeigen eine Differenz auf. Die klassischen Ingenieurbereiche sowie die MRO Bereiche zeigen in der Gesamtheit eine Differenz zwischen Old Space und New Space auf. Zusätzlich kann die Raumfahrtforschung maßgeblich die Nutzung von Digitalisierungslösungen mitgestalten. Durch die Fokussierung auf einzelne relevante Bereiche, wie das Engineering und die Entwicklung oder die Simulation, kann die Forschung hier Digitalisierung gezielter anwenden und implementieren. In den Bereichen Inspektion, Wartung, Reparatur und Recycling werden bisher kaum digitale Lösungen genutzt.

Im Vergleich zu der Nutzung von Digitalisierungslösungen in den beschriebenen Geschäftsbereichen ist in Abbildung 5-6 die Relevanz von Lösungen abgebildet. Beschrieben wird der prozentuale Anteil der Gesamtheit der Befragten in den Clustern der Raumfahrt bzgl. der Relevanz einer Digitalisierungslösung im jeweiligen Bereich. Die Heatmap zeigt in Grautönen den prozentualen Anteil der befragten Personen, die in den beschriebenen Bereichen eine Relevanz von Digitalisierungslösungen in ihrem Unternehmen sehen.

Allgemein ist erkennbar, dass die Abbildung insgesamt anders eingefärbt ist als Abbildung 5-5, was auf eine Diskrepanz zwischen Relevanz und aktuellem Nutzen digitaler Lösungen verweist. Besonders ist die Relevanz von digitalen Lösungen in den Bereichen Testing, Inspektion, Wartung und Reparatur im Cluster Old Space hervorzuheben, da in diesen Bereichen größtenteils keine Nutzung digitaler Lösungen von den Teilnehmern angegeben wird. Auch die Teilnehmer aus der Forschung und von OEMs aus der Mobilitätsbranche geben eine Relevanz für digitale Lösungen in diesen Bereichen an, woraus ein branchenübergreifendes Synergiepotenzial erkennbar ist. Ebenfalls auffällig ist, dass Teilnehmer aus OEMs der Mobilitätsbranche in allen Bereichen eine Relevanz von digitalen Lösungen angeben, was in den bereichsübergreifenden Systemen einiger Konzerne wiederzuerkennen ist. Dabei ist ein starker Unterschied zwischen Relevanz und Nutzen von digitalen Lösungen im Bereich Recycling zu erkennen, da kein anderes Cluster der beiden Branchen hier eine ähnliche Relevanz angibt.

Insbesondere in den MRO-Bereichen ist die Einschätzung der Relevanz digitaler Lösungen größer, als die aktuelle Nutzung vermuten lässt. Um die Bedarfe der Cluster aufzudecken, wird im Folgenden die Differenz

Abbildung 5-5: Nutzung von digitalen Lösungen in den Clustern<sup>100</sup>



100 Eigene Darstellung

Abbildung 5-6: Relevanz von digitalen Lösungen in den Clustern<sup>101</sup>

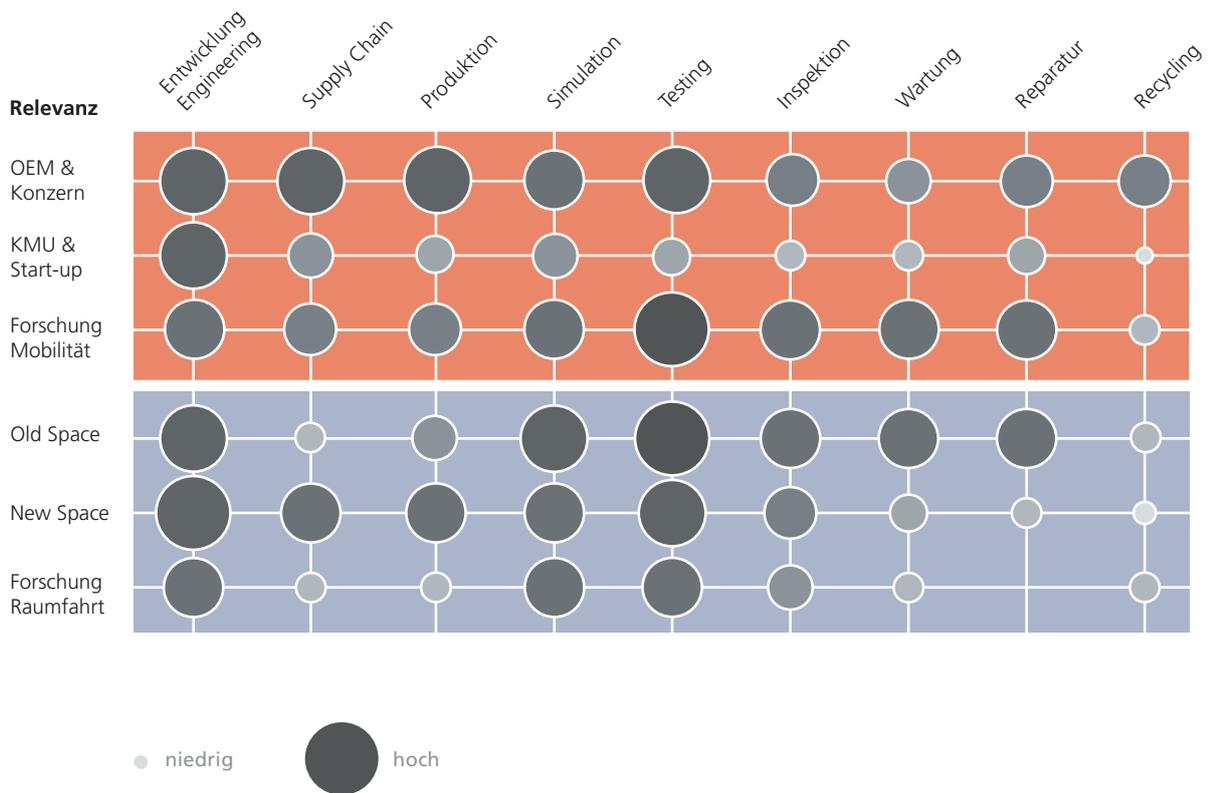
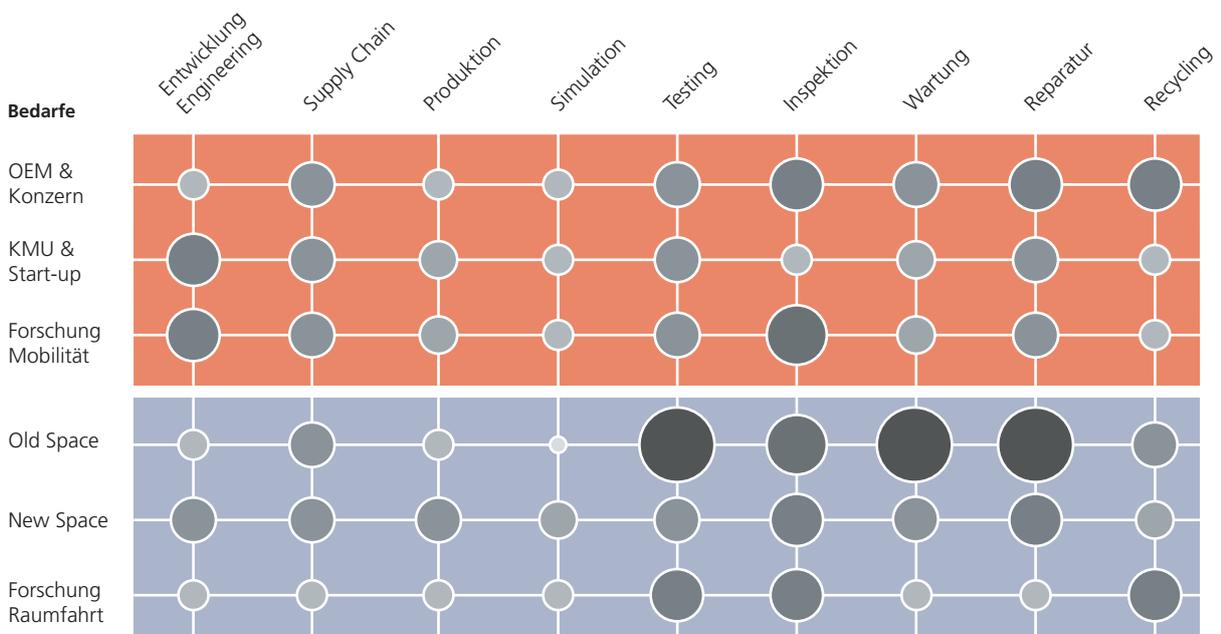


Abbildung 5-7: Bedarfe an digitalen Lösungen in den Clustern<sup>102</sup>



101 Eigene Darstellung

102 Eigene Darstellung

zwischen der Relevanz und der aktuellen Nutzung von digitalen Lösungen in den Bereichen gebildet. Abbildung 5-7 zeigt die dabei entstehende Heatmap. Dunklere Grautöne zeigen einen steigenden Bedarf an Digitalisierungslösungen in den jeweiligen Bereichen.

Erkennbar sind insbesondere die Bedarfe des Clusters Old Space. Die Differenzen zwischen der Nutzung und der Relevanz einer Lösung für die Bereiche der Unternehmen ist dort relativ hoch. Besonders die Prozesse im Testing, in der Wartung und Reparatur sowie der Inspektion zeigen einen besonderen Bedarf in dem Cluster. Da der aktuelle Nutzungsgrad von digitalen Lösungen in den MRO-Bereichen von dem Cluster OEM am höchsten ist, ist hier das Synergiepotenzial zwischen beiden Branchen hervorzuheben. Außerdem bestehen in allen Bereichen branchenübergreifend Bedarfe. Ausgenommen der Bereich Simulation im Cluster Old Space, da dort alle Teilnehmer Nutzen angeben. Neben dem Cluster Old-Space sticht das Cluster New Space in der Raumfahrtbranche hervor. Es zeigt ähnlich wie die Mobilitätsbranche in allen Bereichen Bedarfe. Dabei sind die Bereiche Entwicklung, Supply Chain und Produktion hervorzuheben, da dort von New Space-Unternehmen eine besondere Relevanz angegeben wird. Es sind Synergien in den Bereichen mit KMU und der Forschung aus der Mobilitätsbranche erkennbar. Da in den Bereichen bereits etablierte Lösungen existieren, ist ein Austausch zwischen den genannten Clustern in diesen Bereichen in Betracht zu ziehen.

Als Resümee bleibt bestehen, dass in beiden Branchen Handlungsbedarf in der Digitalisierung von Prozessen besteht. Besonders in den MRO-Bereichen können Konzerne der Mobilitätsbranche die Raumfahrtbranche unterstützen. Die Mobilitätsbranche ordnet digitale Lösungen im Bereich Recycling als sehr relevant ein. Insbesondere für OEMs, die große Mengen Material verarbeiten, wird hier ein konkreter

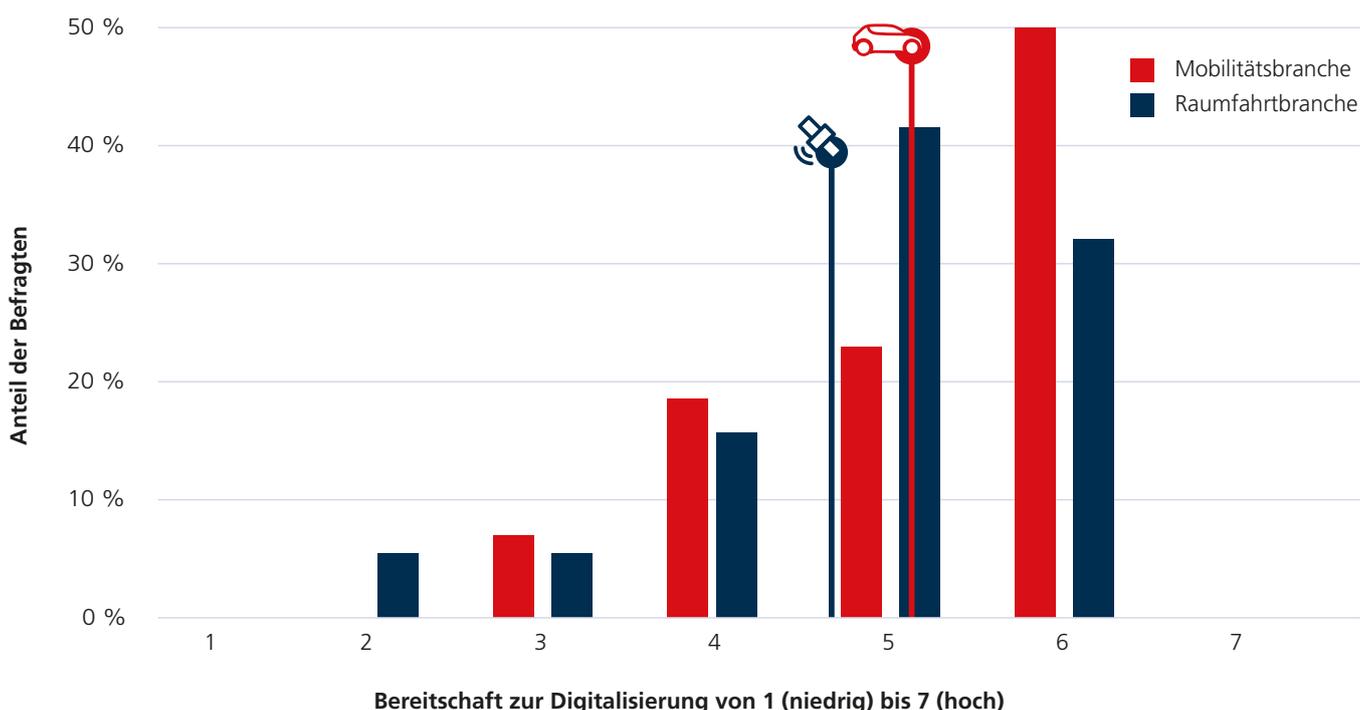
Bedarf festgestellt. In der Raumfahrtbranche ist dieser Bedarf aktuell noch nicht akut, wird jedoch mit steigenden Stückzahlen insbesondere in der Satellitenfertigung an Relevanz zunehmen. Abhängig von verarbeiteten Mengen und ökologischem Fußabdruck der verarbeiteten Materialien ist im Bereich Recycling der Nutzen von digitalen Lösungen in der Raumfahrtbranche im Einzelfall zu prüfen. Zusammenfassend ist ein Synergiepotenzial zwischen den Clustern Old Space und OEM in MRO-Bereichen und den Clustern New Space, KMU und Forschung in der Mobilität bereichsübergreifend festzustellen.

### 5.1.3 Bereitschaft und Bedenken gegenüber Digitalisierungsprozessen

Die Unternehmensbefragung untersucht auch die Bereitschaft zu weiteren Digitalisierungsprozessen und Bedenken diesen gegenüber. Bezogen auf die gewonnenen Ergebnisse bzgl. der Bedarfe von Digitalisierungslösungen ist die Bereitschaft maßgeblich zur Implementierung von weiteren digitalisierten Prozessen. Abbildung 5-8 beschreibt die Angaben der befragten Personen, wie sie die Bereitschaft zu weiteren Digitalisierungsprozessen im Unternehmen oder der Organisation einschätzen. Dabei konnten die Teilnehmer die Bereitschaft für die weitere Digitalisierung von Prozessen auf einer Skala von eins bis sieben angeben.

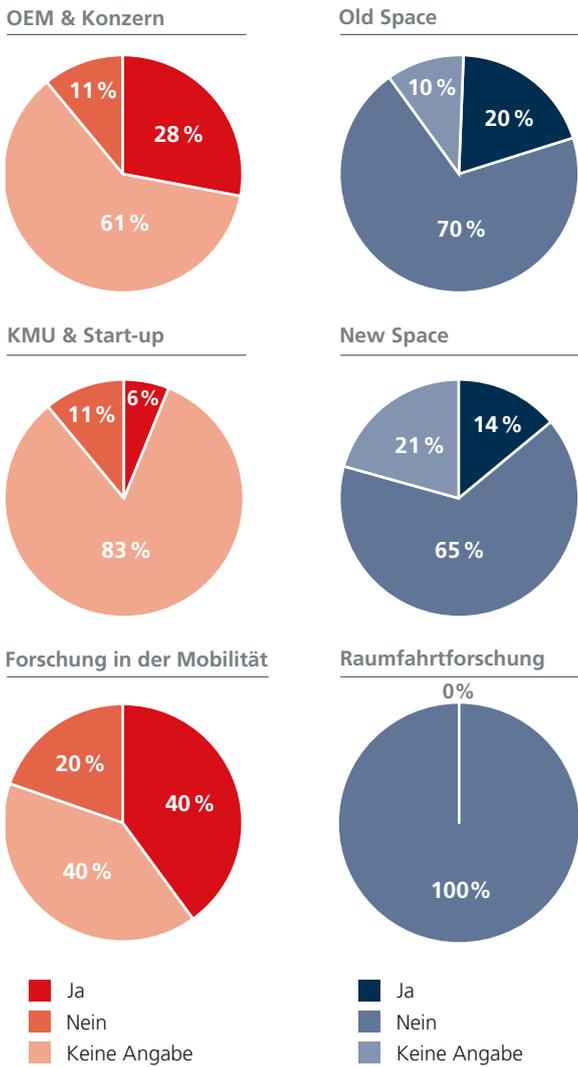
Es ist auffällig, dass kein Teilnehmer in seinem Unternehmen eine Bereitschaft von 7 angibt. Dies deutet auf Bedenken bei der weiteren Digitalisierung von Prozessen hin. Jedoch ist ebenfalls erkennbar, dass fast alle Befragten aus der Mobilität eine höhere Bereitschaft als 4, somit höher als die Skalenmitte, in ihrem Unternehmen einschätzen. Ebenfalls geben mit 50 % mehr Befragte aus der Mobilität den höchstgenannten Wert von 6 auf der Skala an als aus der Raumfahrtbranche.

Abbildung 5-8: Bereitschaft zur weiteren Digitalisierung der Prozesse<sup>103</sup>



103 Eigene Darstellung

Abbildung 5-9: Bedenken gegenüber der weiteren Digitalisierung der Prozesse<sup>104</sup>



Dass auch in der Raumfahrtbranche Bereitschaft zur Digitalisierung herrscht, ist an dem Mittelwert zu erkennen. Dieser ist nur leicht abweichend und liegt in der Raumfahrtbranche bei 4,9 und in der Mobilitätsbranche bei 5,2.

Die ausgewerteten Daten zeigen, dass Bereitschaft in beiden Branchen existiert, jedoch ebenfalls Bedenken. Der Trend einer hohen Digitalisierungsbereitschaft weiterer Prozesse wird durch die Visualisierung der Bedenken gegenüber weiteren Prozessen bestätigt (siehe Abbildung 5-9). Insgesamt geben zwei Drittel der befragten Personen an, keine Bedenken bei der weiteren Digitalisierung zu haben, während 17 % die Aussage trafen, dass weitere digitale Systeme nicht bedenkenlos implementiert werden können. Dabei geben mit 20 % mehr Teilnehmer aus der Mobilitätsbranche an Bedenken zu haben als in der Raumfahrtbranche, bei der 14 % diese Aussage treffen. Um ein detailliertes Bild über mögliche Bedenken in den Branchen zu erhalten, werden die Angaben in Cluster aufgeschlüsselt.

104 Eigene Darstellung  
105 Eigene Darstellung

In der Auswertung nach den Clustern fällt besonders die Mobilitätsforschung auf. Dort gibt die Hälfte der Befragten an, Bedenken bei der weiteren Digitalisierung zu haben. Die Cluster OEM und Old Space weisen ähnliche Bedenken gegenüber der weiteren Digitalisierung auf, was auf ähnliche Herausforderungen in den Clustern hinweist und das Synergiepotenzial bestärkt. In der Mobilität sind die Bedenken jedoch ein wenig größer. Dies ist ein Indiz für die Schwierigkeit der Integration von neuen Systemen in eine bestehende Prozesslandschaft.

### 5.1.4 Synergie- und Kooperationspotenziale

Für die Erfassung des Status Quo ist es unabdingbar, dass die Teilnehmer im Online-Fragebogen nach bereits bestehenden Kooperationen mit der jeweils anderen Branche befragt werden. In Abbildung 5-10 sind die Angaben aller Befragten prozentual aufgezeigt. Es ist erkennbar, dass 50 % der teilnehmenden Unternehmen, über die eine Aussage getroffen wurde, bereits an branchenübergreifenden Kooperationen teilnehmen. Daraus ist zu erkennen, dass branchenübergreifende Kooperationen sinnvoll und wertschöpfend sind, und zeigt, dass noch Potenzial für weitere Zusammenarbeit besteht.

Abbildung 5-10: Bestehende branchenübergreifende Kooperationen<sup>105</sup>

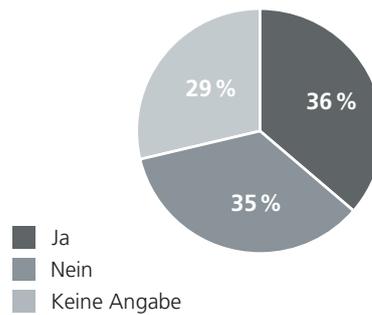
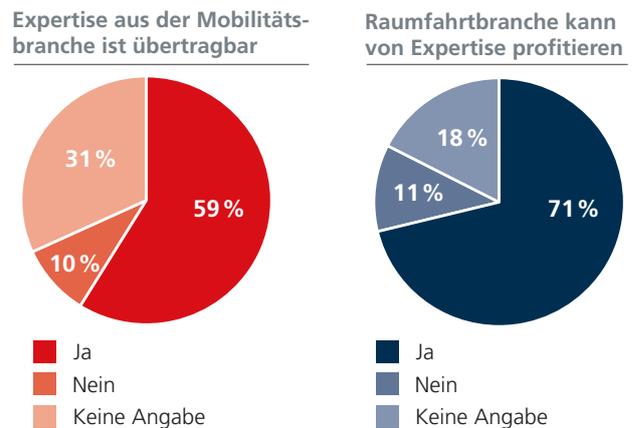


Abbildung 5-11: Übertragbarkeit von Expertise aus der Mobilitätsbranche auf die Raumfahrtbranche<sup>106</sup>



106 Eigene Darstellung

Im Anschluss daran wird betrachtet, ob die Befragten der Meinung sind, dass Expertise aus der Mobilitätsbranche in andere Branchen übertragen werden kann. Dazu werden die Teilnehmer gefragt, ob ihr Unternehmen Expertise besitzt, welche für die jeweils andere Branche nutzbar ist, und ob sie von der Expertise aus der jeweils anderen Branche profitieren können, vgl. Abbildung 5-11. Zunächst werden die Angaben von Befragten betrachtet, die in der Mobilitätsbranche tätig sind, ob Expertise aus ihrem Unternehmen auf die jeweils andere Branche übertragbar ist. Mit 32 % machen viele Teilnehmer dazu keine Angabe. Dies ist mit den nicht vorhandenen Kenntnissen über Anforderungen in der Raumfahrtbranche zu begründen. Der Großteil der Befragten gibt mit 59% an, dass Expertise aus ihrem Unternehmen auf die Raumfahrtbranche übertragbar ist. 10 % sind der Meinung, dass dies nicht der Fall ist. Aus diesem Verhältnis ist abzulesen, dass die Mobilitätsbranche mit aktuellen Entwicklungen die Raumfahrtbranche unterstützen kann.

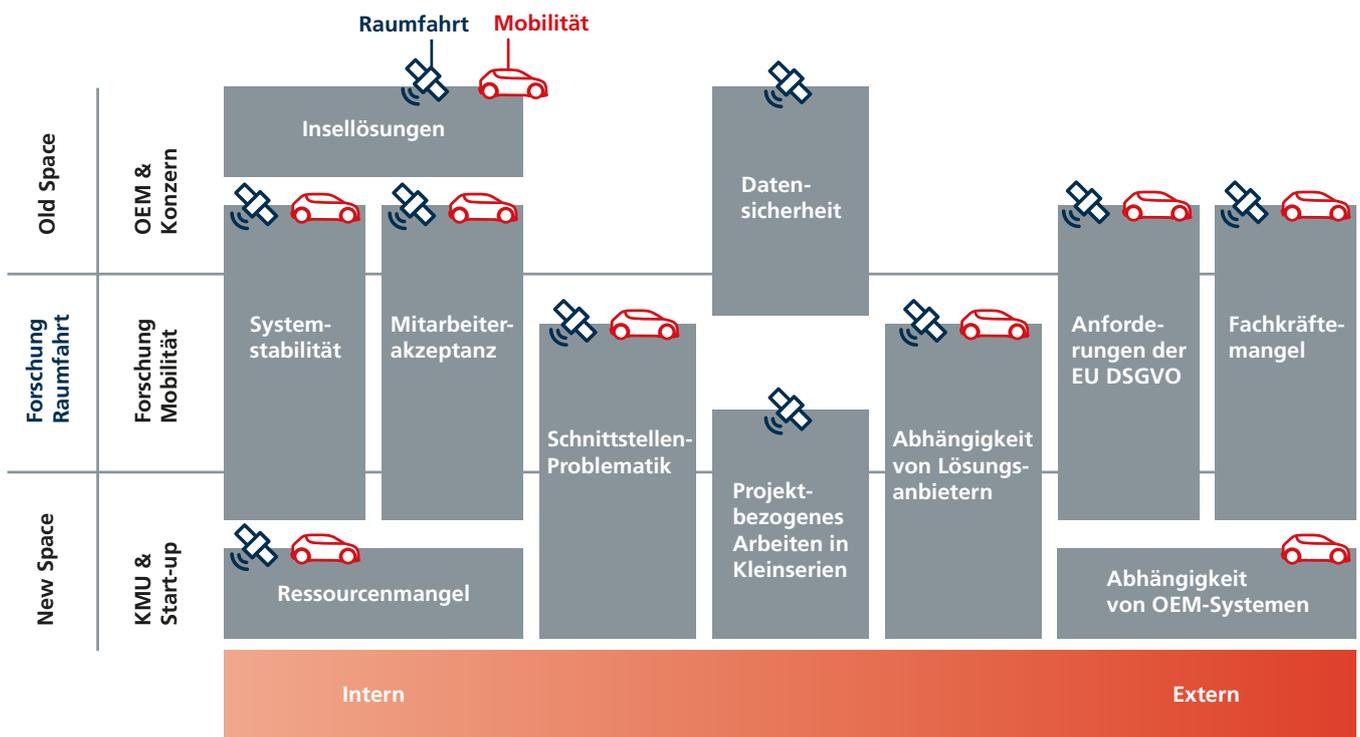
Anschließend wird betrachtet, ob die Raumfahrtbranche von Expertise aus der Mobilitätsbranche profitieren kann. Dazu werden die Angaben der Teilnehmer aus der Raumfahrtbranche betrachtet, ob ihr Unternehmen von der Expertise der jeweils anderen Branche profitieren kann. 71 % der Befragten geben an, dass die Raumfahrtbranche von der Expertise der Mobilität profitieren kann. 11 % sind der Meinung, dass die Raumfahrtbranche nicht von der Expertise profitieren kann, und 18 % machen keine Angabe; dies sind weniger als 33 % aus der Mobilitätsbranche. Da den Expertinnen und Experten aus der Raumfahrtbranche die nötigen Anforderungen bekannt sind, ist dies ein weiteres Indiz, dass der Technologietransfer im Bereich Digitalisierung aus der Mobilitätsbranche ein sinnvolles Mittel für die Digitalisierungsstrategien in anderen Branchen ist.

Schlussfolgernd besitzt die Mobilitätsbranche Expertise, von der die Raumfahrtbranche profitieren kann. Besonders in der Entwicklung, Supply Chain, Produktion und Simulation kann die Mobilitätsbranche die Raumfahrtbranche unterstützen. Dabei besteht insbesondere dafür, dass Expertise seitens des Clusters OEM & Konzern in die Raumfahrtbranche übertragen wird, ein großes Potenzial. Hiervon auszunehmen ist der Bereich der Simulation, da die Raumfahrtbranche hier bereits hervorragend aufgestellt ist. Im Gegenteil besitzt der simulative Bereich der Raumfahrtbranche einen Vorzeigecharakter für andere Branchen.

## 5.2 Erkenntnisse aus den Experteninterviews und befragten Clustern

Die aus dem Fragebogen gewonnenen Ergebnisse und Auswertungen wurden für die danach terminierten Interviews mit den Expertinnen und Experten als Grundlage für weitere Fragestellungen genutzt. Die in Kapitel 4 deklarierte Methodik der Interviewführung wird angewandt und mit gesprächsspezifischen Folgefragen ergänzt, um das bestmögliche qualitative Ergebnis für die Auswertung zu erhalten. Besonders betrachtet werden die Aussagen aus den Interviews hinsichtlich der Digitalisierungsmöglichkeiten und -lösungen, deren Herausforderungen, Gefahren und Risiken sowie Wünsche an die politischen Rahmenbedingungen. Die Interviewergebnisse werden folgend in den eruierten Clustern ausgewertet. Abbildung 5-12 zeigt eine Übersicht der Herausforderungen in Bezug auf die Digitali-

Abbildung 5-12: Herausforderungen der Digitalisierung in Raumfahrt und Mobilität<sup>107</sup>



107 Eigene Darstellung

sierung in beiden Branchen, aufgeteilt auf die zuvor definierten Cluster und geordnet nach Branchen. Es ist erkennbar, dass bis auf zwei Ausnahmen beide Branchen grundsätzlich vor den gleichen Herausforderungen stehen. Der Umgang mit diesen Herausforderungen mag unterschiedlich sein, allerdings ist durch die Ähnlichkeit der Herausforderungen das Potenzial hier Synergien zu nutzen, um die Digitalisierung in beiden Branchen zu fördern, deutlich erkennbar.

### 5.2.1 Raumfahrtbranche: Old Space

Folgend werden die Aussagen der interviewten Personen zunächst hinsichtlich der Möglichkeiten und Lösungen der Digitalisierung sowie anschließend bzgl. der entstehenden Herausforderungen, Gefahren und Risiken ausgewertet. Insbesondere die Bereiche der Produktion, Engineering, Entwicklung und Testing sowie das Datenmanagement werden von den Experten als digitalisierte Bereiche genannt. Letztere beinhalten größtenteils die Themen Datensicherheit und Datenaustausch. Die herausgestellten Schwierigkeiten bei der Digitalisierung im Cluster Old Space sind die Themen Datenmanagement, Veränderung und Wandel im Raumfahrtsektor sowie fortwährend ändernde Anforderungen, vgl. Tabelle 2.

Tabelle 2: Kernergebnisse aus dem Cluster Old Space

<b>Projekte sind meist zu individuell, um übergreifende Lösungen zu finden</b>
<b>Fehlendes Fachpersonal</b>
<b>Starre Regularien bei steigenden Anforderungen an digitale Lösungen</b>
<b>Hoher Implementierungsaufwand komplexer Systeme</b>
<b>Schwieriger Datenaustausch mit Dritten</b>

Die Implementierung eines Digitalen Zwillings ist eine der Kernlösungen in der Wertschöpfungskette von Unternehmen aus dem Old Space-Sektor. Der Digitale Zwillings soll auf Produkt- und Produktionsebene eingeführt werden und ähnlich über die gesamte Wertschöpfungskette Bestand haben und optimiert werden.

Die Einführung des Digitalen Zwillings auf Produktebene ist in der Raumfahrt bereits in frühen Entwicklungsphasen in viele Bereiche integrierbar, u. a. in der Entwicklung, Produktion bis zu MRO-Prozessen. Die Implementierung auf der Produktionsebene zielt auf eine vollständig digitalisierte Fabrik ab. Wenn die gesamten Produktionsprozesse digitalisiert werden, wird die Produktionseffizienz gesteigert und die Produktionskosten gesenkt. Zusätzlich wird der Digitale Zwillings zu Zwecken der Parametrisierung genutzt, was zu kostengünstigen und nachhaltigen Engineering-Prozessen führt.

In der Produktion ist erkennbar, dass in der Raumfahrt bei Old Space-Unternehmen die Automatisierung und neue Fertigungstechnologien Anwendung finden. Durch die zunehmende Kommerzialisierung werden Automatisierung und virtuelle Montageplanung in der Produktion profitabel. Dieser Branchenwandel von projektbasierter Fertigung zu einer kleinseriellen Fertigung führt zu einer vereinfachten Implementierung von Digitalisierungslösungen in Produktions- und Fertigungsprozessen. Aufgrund steigender Automatisierung in den Produktionsprozessen steigen die internen und externen digitalen Schnittstellen mit anderen Bereichen; somit wächst der Vernetzungs- und Digitalisierungsgrad in der gesamten Raumfahrtbranche.

Den Befragten zufolge werden insbesondere im Testing aktuell Digitalisierungslösungen implementiert. Hier werden Machine Learning (ML) und KI-Lösungen in der Fehlererkennung vor allem angewandt. In Old Space-Unternehmen wird bereits das gesamte Testing virtuell mit Softwareerprobungen und einer Modularisierung von Testing-Softwarebausteinen durchgeführt. Durch diese KI-getriebenen Testing-Methoden kann die Fehlererkennung von Bauteilen durch zielgerichtete Prozesse im Service der Raumfahrt angegangen werden. Besonders für die sogenannte Predictive Maintenance werden hier aussichtsreiche Lösungen präsentiert.

Datenmanagement und insbesondere Datenaustausch lösen Unternehmen aus dem Old Space-Cluster ähnlich. Es werden externe, meist amerikanische, cloudbasierte Marktlösungen von den meisten befragten Unternehmen genutzt. Datendurchgängigkeit soll in internen Projekten weiter gezielt gelöst werden, indem bereichsübergreifende Schnittstellen geschaffen werden. Dies hat ebenfalls Einfluss auf datensicherheitsrelevante Aspekte. Durch die Größe der Unternehmen und aufgrund der bestehenden Verbindung in den militärischen Bereich wird die Datensicherheit mit internen Cloudlösungen gelöst, da letzterer hohe Sicherheitsfreigaben voraussetzt.

Herausforderungen bei der weiteren Prozessdigitalisierung entstehen durch große Datenmengen, die durch anhaltende Speicherung von Daten und Automatisierung in der Branche stetig wachsen. Durch datensicherheitsrelevante Themen und Projekte steigen die Risiken mit mehr aufkommenden hochautomatisierten und digitalisierten Systemen. Weiter ist durch die Konzernstrukturen des Old Space-Clusters Datendurchgängigkeit eine Herausforderung. Ebenso wichtig ist eine Harmonisierung der Daten bei bereits gewachsenen Systemen in den Unternehmen, um Schnittstellenprobleme zu vermeiden. Diese Vernetzung ist eine zentrale Herausforderung für das Datenmanagement der Unternehmen.

Die sich wandelnde Raumfahrt stellt die Old Space-Unternehmen vor neue Herausforderungen. Die projektbezogene Arbeit erschwert die Implementierung von Digitalisierungslösungen, da die individualisierten Lösungen der Projekte meist nicht wiederverwendet werden. Die veränderte Produktion benötigt zusätzlich geschultes Personal, was mit groß ausgelegten Weiterbildungsangeboten zu bewerkstelligen ist. Hier ist insbesondere fehlendes IT-Fachpersonal zu nennen, um digitale Lösungen in der Raumfahrt fachgerecht zu bedienen und zu implementieren. Dies kann dazu führen, dass Teile des Gesamtprozesses digitalisiert sind, aber digitale Lösungen nicht über den ganzheitlichen Prozess zielgerichtet implementiert werden können. Die Herausforderung besteht darin, den Wandel zur Produktion in Kleinserie mit geeigneten Fachkräften zur Implementierung der Digitalisierungslösungen durchzuführen.

Die sich ändernden Standards führen zu zusätzlichen Herausforderungen und Risiken. Die Anforderungen an Digitalisierungslösungen steigen, bei durch Institutionen und Politik vorgegebenen gleichbleibenden Regulatorien. Dies führt dazu, dass weitere Digitalisierungsprozesse und Innovationen gehemmt werden.

### 5.2.2 Raumfahrtbranche: New Space

Ähnlich wie im vorherigen Kapitel werden folgend zuerst die Digitalisierungsmöglichkeiten des Clusters New Space aus den Interviews der entsprechenden Unternehmen ausgewertet und im Anschluss die Herausforderungen, Gefahren und Risiken der Digitalisierung analysiert. Grundsätzlich fällt auf, dass Unternehmen im Cluster New Space größere Differenzen aufzeigen, insbesondere inwiefern die Befragten Digitalisierungslösungen nutzen und welche in ihrer Roadmap geplant sind. Die Kernergebnisse aus dem Cluster New Space werden in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Kernergebnisse aus dem Cluster New Space

<b>Gehemmte Finanzierung hinsichtlich innovativer digitaler Lösungen</b>
<b>Nutzung von eigens programmierten Lösungen erhöht die Schnittstellenproblematik</b>
<b>Produktion ist eher Manufaktur als Serienproduktion</b>
<b>Digitale Produktionsprozesse sind nicht wirtschaftlich</b>
<b>Fehlende europäische Cloud-Infrastruktur erschwert Gewährleistung der Datensicherheit</b>

Ein weiterer Grund ist die breitere Aufstellung des Produkts im Vergleich zum Cluster Old Space. Im Cluster New Space werden mehr Anwendungsbereiche (Downstream) in kleinen Start-ups entwickelt. Aus den Interviews können die Aussagen in die Themenbereiche Entwicklung und Engineering, Produktion sowie Datenmanagement eingegliedert werden. Herausforderungen, Gefahren und Risiken im Cluster New Space sind in der Finanzierung der Lösungen, dem Produktionsvolumen und dem Datenmanagement zu finden. Speziell in den Bereichen der Entwicklung sind die Unterschiede zum Teil signifikant. Eine Mehrheit gab an, dass sie in der Entwicklung und dem Engineering auf Standardlösungen zurückgreift. Im Gegensatz dazu nutzen einige Unternehmen eigens programmierte Lösungen. Dies hat den Hintergrund der hohen laufenden Lizenzkosten für eine dauerhafte Version der genannten Softwarelösungen des Industriestandards. Vor allem New Space-Unternehmen, die noch keine Produktion vorweisen können und deren Gründung kürzlich erfolgte, haben Probleme bei der Finanzierung der Softwarekosten. Auf der anderen Seite nutzen New Space-Unternehmen hochtechnologische Digitalisierungslösungen, wie den Digitalen Zwilling oder Augmented-

Reality(AR)-Lösungen in Produktionsumgebungen. Diese Lösungen werden in den Unternehmen aktuell zu einem kleinen Teil genutzt. Die Unterschiede im New Space-Cluster sind hier hoch. Unterschiedliche Zeitpunkte der Marktreife von Produkten bekräftigen Differenzen der Aussagen bzgl. der Digitalisierungslösungen in der Produktion. Dennoch kann dies zu einer Verbesserung der Digitalisierung in diesen Bereichen führen. Kooperationen bilden die optimale Grundlage zur Digitalisierung. Zudem bestehen in der Fertigung und Produktion Differenzen bei der Einführung von Digitalisierungslösungen in den Unternehmen.

Bei Unternehmen, bei denen noch keine aktive Produktion, sondern nur Prototypenbau besteht, läuft dieser vollständig manuell ab. Unternehmen, die bereits produzieren, nutzen teilweise Maschinen in der Fertigung, die aus Kostengründen keine Sensorik verbaut haben und somit nicht automatisierbar sind. In Kontrast dazu stehen Unternehmen, die teilautomatisierte Maschinen nutzen sowie die, die die gesamte Produktionslinie mittels Marktlösungen digitalisiert haben, um Schnittstellen-Probleme zu vermeiden. Diese Entwicklung im New Space-Cluster ist in der Ausrichtung der Unternehmen zu erkennen. Viele Unternehmen können bereits in Kleinserienproduktion fertigen und mit geringer Automatisierung und digitalisierter Produktion Kosten und Zeit einsparen und somit im wachsenden Markt wettbewerbsfähig bleiben.

Im Bereich des Datenmanagements nutzt die Mehrheit der Befragten Datenaustausch-Lösungen vom Markt. Von Start-ups und KMU wird die Datendurchgängigkeit innerhalb der Organisation als weniger wichtig erachtet.

Die Auswertung der Herausforderungen, Gefahren und Risiken des Clusters New Space zeigt, dass eine Gemeinsamkeit vieler Unternehmen die fehlende Finanzierung für Digitalisierungslösungen ist. Die optimalen Tools und Softwarelösungen sind kostenintensiv bzgl. der Lizenzen, was eine Investition in die Software ausschließt. Aus diesem Grund setzen die Unternehmen auf Eigenlösungen. Diese lösen zwar spezifische Problemstellungen, bieten aber keine optimale Nutzung, da sie die übergreifende Arbeit intern sowie extern erschweren. Eine weitere Herausforderung besteht in der Branche selbst. Durch die kleinen Stückzahlen, die in der Produktion gefertigt werden, wird die wirtschaftliche Digitalisierung der Produktion herausfordernder. Die anhaltende Individualität der Branche durch Kundenanpassungen und projektspezifische Arbeit hemmt die Digitalisierung vor allem in der Produktion. Es ist ersichtlich, dass eine zentrale Herausforderung der Digitalisierung in dem New Space-Cluster die Einführung flexibler Lösungen im Bereich der Produktion ist. Unternehmen des Clusters New Space stehen bei ihrem Datenmanagement vor Herausforderungen. Ein zentraler Punkt besteht darin, Datensicherheit zu gewährleisten. Vor allem cloudbasierte Systeme müssen hohe Anforderungen für die Anwendung in den Bereichen des New Space erfüllen. Hier fehlt es auch an Lösungen aus dem europäischen Raum, die den Datenaustausch über die Cloud ermöglichen. Europäische Unternehmen müssen daher auf Cloudlösungen aus dem amerikanischen Raum zurückgreifen. Hier besteht Handlungsbedarf, um eine europäische IT-Landschaft für die Industrie und ihre sensiblen Daten zu generieren.

### 5.2.3 Raumfahrtbranche: Forschung

Folgend werden die Interviews des Clusters Forschung hinsichtlich Möglichkeiten sowie Herausforderungen, Gefahren und Risiken ausgewertet. In der Forschung wird die Raumfahrt als Enabler der Digitalisierung gesehen. Zukunftstechnologien, wie autonome und intelligente Mobilität, Smart Farming, IoT und Cloud-Lösungen können mithilfe der Raumfahrt ermöglicht werden. Dazu gehört eine digitalisierte Raumfahrt, die über die Nutzung der klassischen Engineering-Software hinausgeht. Die Entwicklung eines echten Digitalen Zwillings anstelle des realen Zwillings soll vorangetrieben werden, genauso wie eine digitale Zulieferkette und eine digitale Wertschöpfungskette des Produktes. Weitere Forschungsfelder sind die smarte Wartung im Zuge der vierten industriellen Revolution und KI-gestützte Datennutzung in relevanten Bereichen, wie dem Service oder der Wartung. Die zentralen Herausforderungen der Raumfahrt liegen bei der Senkung der Produktionskosten, schnelleren Entwicklungszyklen und der Ressourcenschonung. Vor allem in der Produktion und der Ressourcenschonung müssen Forschungsfelder entstehen, um die Dysbalance in der Raumfahrt bzgl. der hohen Individualität der Produkte zu kompensieren. Gefahren werden in der Forschung ebenfalls beim Thema Datensicherheit gesehen. Kompromittierte Raumfahrtsysteme, sowohl an Satelliten als auch an Kontrollzentren beeinflussen unmittelbar die Errungenschaften der digitalisierten Welt. Vgl. Tabelle 4.

Tabelle 4: Kernergebnisse aus dem Cluster Raumfahrtforschung

<b>Softwarelösungen sind häufig Expertentools (nur von wenigen Personen bedienbar)</b>
<b>Erschwerter Datenaustausch durch ausgeprägte Sicherheitsbedenken</b>
<b>Bürokratische Beantragung von Förderungen</b>

### 5.2.4 Mobilitätsbranche: OEM & Konzerne

Dieses Kapitel wertet die Aussagen der befragten Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die bei einem OEM oder Konzern in der Mobilitätsbranche beschäftigt sind, aus. Die Hauptaussagen werden dafür mit den ermittelten quantitativen Ergebnissen in Kontext gestellt.

Auch die Aussagen der Expertinnen und Experten bestätigen, dass die Mobilitätsbranche in einer fortgeschrittenen Stufe des digitalen Wandels ist. Besonders die Luftfahrt und Automobilbranche sind Vorreiter. Dabei werden die Bereiche Entwicklung/Engineering, Produktion und Simulation besonders hervorgehoben. Digitale Lösungen sind bei allen befragten Firmen in allen Prozessen der Wertschöpfungskette etabliert und werden sukzessive fortentwickelt.

Alle Expertinnen und Experten gaben an, einen Digitalen Zwilling produkt- und prozessseitig zu nutzen, oder an einer Lösung zu arbeiten. Im Bereich Produktion ist durch die Auswertung der Interviews erkennbar, dass OEMs auf einen ganzheitlichen Ansatz im Produktlebenszyklus

setzen. Im Vergleich bieten neue digitale Lösungen eine wesentlich höhere Flexibilität und Bedarfsorientierung sowie Transparenz in der Produktion. Diese Aspekte gewannen durch weltweite Krisen, die damit verbundenen Lieferengpässe und einen disruptiven Markt an Bedeutung. Weiter nutzen alle Befragten aus diesem Cluster ERP-Systeme, an die die in der Produktion entstandenen Daten übermittelt werden. So wird unternehmensweit Echtzeit-Transparenz in Bezug auf Materialien, Aufträge und Anlagen geschaffen. Um den strenger werdenden Emissionsauflagen zu genügen – so gaben einige Befragte an, auch EMS-Systeme zu nutzen, welche Energieströme erfassen und analysieren. So können Fehlerquellen identifiziert werden und es ist sichergestellt, dass die komplette Produktion effizient arbeitet.

Tabelle 5: Kernergebnisse aus dem Cluster OEM & Konzern

<b>Historisch gewachsene Prozesslandschaften wurden durch Eigenentwicklung digitalisiert. Hier fehlen jedoch allumfassende interne und externe Schnittstellen</b>
<b>Alle Befragten arbeiten an einem ganzheitlichen bereichsübergreifenden Ansatz eines Digitalen Zwillings. Verschiedene MBSE-Tools werden mittels cloudbasierter Systeme verbunden</b>
<b>Bei Big Playern ist die Managementebene die tragende Kraft bei digitaler Transformation; Entwicklung und Aufstellung einer transparenten Digitalisierungsstrategie werden als Schlüssel genannt</b>
<b>Vorreiter etablieren eigene Softwareunternehmen innerhalb der Organisation zur Etablierung eigener Plattformen und Standards</b>
<b>Akzeptanz der Mitarbeitenden, Datensicherheit und Skalierbarkeit von digitalen Lösungen im Sinne der Übertragbarkeit auf die relevanten Prozesse des Gesamtunternehmens werden als Hauptherausforderungen bei der Implementierung der Lösungen genannt</b>

Im Bereich Forschung und Entwicklung gaben alle Befragten an, CAx-Softwaretools zu nutzen. Dabei bilden Schnittstellen zwischen den Tools eine besondere Herausforderung für den ganzheitlichen Ansatz. Die Expertinnen und Experten gaben zudem an, dass im Bereich Entwicklung Simulationen immer mehr an Bedeutung gewinnen. Beispielsweise können durch simulative Crashtests enorme Kosten beim Prototypenbau eingespart oder neue Kenntnisse über das Bauteilverhalten gewonnen werden, was gerade bei der Elektromobilität einen großen Nutzen generiert. Ein Digitaler Zwilling wird in der Entwicklung durch verschiedene bereichsspezifische Teilsimulationen zwar realisiert, ein ganzheitlicher Digitaler Zwilling ist allerdings noch keine im Markt etablierte Branchenlösung. Softwareanbieter sind primär anfrageorientiert auf bereichsspezifische Simulationen spezialisiert und bieten noch keine Schnittstellen für eine umfassende disziplinübergreifende Lösung. Vorreiter in der Branche kooperieren nach Angabe der Expertinnen und Experten mit Softwareentwicklern aus allen Bereichen, um angebotene und eigene Tools zu vernetzen. Im Bereich Lieferkette verwenden einige befragte Unternehmen sukzessiv gewachsene, teilweise nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entsprechende

Datenbanken, welche zudem nur zum Teil intern und extern vernetzt sind. Aktuell wird aber von allen befragten OEMs an der Einbindung bestehender Datenbanken und Tools in einen ganzheitlichen digitalen Ansatz gearbeitet.

Um aus dem kompletten Lebenszyklus des Produkts Daten zu generieren, soll in zukünftigen Modellen Sensorik zur Datenerfassung verbaut werden, so die Befragten. Diese Daten dienen der frühzeitigen Wartungserkennung des Fahrzeugs und sollen Rückschlüsse über die Lebensdauer einzelner Komponenten erlauben. Um die Vorteile des Digitalen Zwillings vollumfänglich auszunutzen, werden die gesammelten Fahrzeugdaten in Zukunft in frühen Phasen der Entwicklung des virtuellen Zwillings eingespeist, damit Entwickelnde nach neuen Wegen suchen können, um die Reichweite und Leistung ihrer Fahrzeuge zu erhöhen. Im Allgemeinen kann dies zu niedrigeren Kosten für das Prototyping und zu signifikant weniger – nach Angaben der Expertinnen und Experten 40 % – physischen Tests sowie zu einem verbesserten Nutzungserlebnis für den Fahrzeugnutzer führen. Für die Verknüpfung des Digitalen Zwillings eines Fahrzeugs mit den realen Fahrzeugdaten bestehen bereits vereinzelt Softwarelösungen, die in der Entwicklung und Validierung von Prototypen Verwendung finden. Es ist zu resümieren, dass sich die untersuchten OEMs und Konzerne in der Mobilitätsbranche beim Ansatz des Digitalen Zwillings nach MADNI ET AL. in Stufe drei befinden und dass sie an der Umsetzung von Optimierungssoftware mittels Künstlicher Intelligenz arbeiten, was dann die Stufe vier darstellen würde. Ein bereichsübergreifender Ansatz über den gesamten Produktlebenszyklus wird dabei allerdings noch nicht erzielt. Die größten Herausforderungen bei der weiteren Digitalisierung der Prozesse sind laut Angaben der Befragten die Akzeptanz der Mitarbeitenden, fehlende Standards für Datenaustausch und Datenmanagement sowie Schnittstellen zwischen Systemen, die Anforderungen an die Datensicherheit, eine „gefühlte“ zu strenge europäische Datenschutzgrundverordnung (EU-DSGVO) und der Fachkräftemangel im Bereich IT.

Die am häufigsten genannte Herausforderung bei der weiteren Digitalisierung von Prozessen ist laut den Befragten die Akzeptanz im Unternehmen, sowohl in der Managementebene (u. a. hohes Risiko für Fehlinvestitionen) als auch bei den Mitarbeitenden (u. a. Angst vor Arbeitsplatzverlust). Dabei werden von den Expertinnen und Experten verschiedene Aspekte hervorgehoben, die Bedenken im Unternehmen schaffen. Diese Bedenken treten vor allem bei Unternehmen auf, die keine klare Digitalisierungsstrategie entwickelt haben und die keine Transparenz im Planungs- und Umsetzungsprozess schaffen.

Eine weitere häufig genannte Herausforderung sind fehlende Standards und Schnittstellen sowie internes Datenmanagement und Datensicherheit. Fehlende Standards und Schnittstellen betreffen alle Bereiche der Prozessketten. Im Kontext von Industrie 4.0 stellen Hersteller von Hard- und Software zwar teilweise disziplin-/bereichsübergreifende Schnittstellen bereit, meist aber nur im eigenen Umfeld. Eine bei komplexen Anlagen oder Entwicklungen notwendige Integration von verschiedenen Systemen ist dabei als schwierig zu erachten.

Des Weiteren geben Befragte an, dass sich „Wissens- oder Datensilos“ im Unternehmen immer mehr anhäufen. Dies ist laut einiger Expertinnen und Experten auf ein fehlerhaftes oder nicht ganzheitlich gedachtes Datenmanagement zurückzuführen. Es kam heraus, dass gerade bei langfristig dynamisch gewachsenen Unternehmen bestehende Insel-

lösungen eine große Herausforderung darstellen. Das punktuelle Hinzufügen von Schnittstellen ist zwar im Allgemeinen für die Wertschöpfungskette wünschenswert, bietet aber mangels durchgängiger Sicherheitssysteme auch Angriffsfläche für Cyberangriffe. Dies ist ebenfalls eine Herausforderung, die von fast allen Befragten genannt wurde. In diesem Zusammenhang wird zudem die Abhängigkeit von nicht-europäischen Cloudanbietern genannt. Dabei spielt allerdings nicht nur die Datensicherheit eine Rolle, sondern auch die Kosten.

Als weiteres Hindernis der Digitalisierung sehen Expertinnen und Experten den IT-Fachkräftemangel in Deutschland. Hierzu gab es in diesem Cluster stark differenzierte Aussagen. Unternehmen, die nach außen als sehr digital präsentiert sind, haben keine Probleme bei der Suche nach geschultem Personal.

Ein weiterer Innovationshemmer im Bereich Digitalisierung ist laut einigen Expertinnen und Experten die EU-DSGVO. Der Verbraucherschutz wird zwar gelobt, jedoch sehen die meisten Befragten zu diesem Thema eine zu große Blockade bei der Erhebung der benötigten Daten. Bereits das innovationsfördernde Arbeiten in Netzwerken sei durch den strengen Schutz von Kontaktdaten erschwert worden.

Im letzten Teil des Interviews wurden die Expertinnen und Experten gebeten, Wünsche an die Politik und/oder Industrie zu äußern. Dabei ist vor allem erkennbar, dass die Expertinnen und Experten einen stärkeren Stellenwert der Digitalisierung in Deutschland fordern. Um weiter Vorreiter in Entwicklung zu bleiben und „Made in Germany“ als Qualitätsstandard zu erhalten, muss die Politik die Digitalisierung auf jeder Ebene stärker fördern und Rahmenbedingungen setzen, auf die die Industrie verlässlich aufbauen kann. Bemängelt wurden dabei die fehlende oder zu eingeschränkte finanzielle Förderung von Digitalisierung und der zögerliche Netzausbau. Ebenfalls soll die Festlegung von Standards von öffentlichen Institutionen gezielt vorangetrieben werden.

## 5.2.5 Mobilitätsbranche: KMU & Start-up

In diesem Kapitel werden die Aussagen der im Cluster KMU & Start-up interviewten Personen gemäß dem Gesprächsleitfaden ausgewertet. Die meistgetroffenen Aussagen der Expertinnen und Experten werden dargestellt und mit den ermittelten quantitativen Ergebnissen in Kontext gestellt.

Auch kleine und mittelständische Unternehmen in der Mobilitätsbranche befinden sich in fortgeschrittenen Stufen des digitalen Wandels, wobei im Vergleich zu OEMs eine größere Differenz im Reifegrad besteht. Der Trend zur Digitalisierung ist jedoch auch bei kleinen Unternehmen und Start-ups deutlich erkennbar.

Die Interviews mit Expertinnen und Experten aus dem Cluster zeigen ein differenziertes Bild (vgl. Tabelle 6). Einige Unternehmen nutzen bereits ERP-Systeme und verknüpfte PLS-, MES- und EMS-Systeme, um die Produktion unter Klimaaspekten effizient zu gestalten. Andere KMUs stehen noch am Anfang ihrer Digitalisierung. Alle Befragten geben an, im Engineering und in der Simulation volldigitalisiert zu sein, und auch die Start-ups sind durchgehend digital aufgestellt. Die Einführung digitaler Systeme wird jedoch mit Vorsicht betrachtet, aufgrund begrenzter Ressourcen und der Gefahr von Fehlinvestitionen.

Der Digitale Zwilling wird ebenfalls im Cluster eingesetzt, jedoch eher bereichsspezifisch. Die Unternehmen nutzen bestehende CAx-Tools oder für den Digitalen Zwilling ausgelegte Lösungen. Die digitale Reife der Unternehmen im Cluster variiert stark, wobei cloudgestützte KI-Analysen darauf hinweisen, dass das Cluster zwischen den Stufen eins und drei einzusortieren ist.

Die Einführung und Nutzung digitaler Systeme in kleinen Unternehmen gelten als risikoreich, da dies oft mit hohem Ressourcenaufwand verbunden ist. Die Abhängigkeit von OEMs und die Herausforderungen bei der Identifikation gewünschter Lösungen werden als problematisch betrachtet.

Es mangelt sowohl in IoT- als auch in CAx-Anwendungen an Standards, was die Dateninterpretation und Integration erschwert. Die DSGVO wird als Innovationshemmnis betrachtet, und eine Anpassung wird gefordert, insbesondere für KMUs und Start-ups. Die Akzeptanz von digitalen Lösungen ist im Cluster eine große Herausforderung, wobei die Benutzerfreundlichkeit betont wird. Der Fachkräftemangel stellt eine noch größere Herausforderung dar als im vorherigen Cluster.

Die Befragten fordern einheitliche Richtlinien, insbesondere im Bereich Mobilität, sowie Standards in der Industrie. Die Politik wird aufgefordert, einen Rahmen für den Austausch in Digitalisierung und Standardisierung zu schaffen. Mehr EU-Förderungen für Kooperationen im Bereich Digitalisierung werden gewünscht, wobei das Gaia-X-Projekt als Beispiel genannt wird. Die Förderung von Digitalisierung wird stark gewünscht, mit Vorschlägen wie der Förderung von Programmiersprachen, digitaler Schulbildung und einem Beratungsangebot für KMUs und Start-ups. Ein beschleunigter Netzausbau wird ebenfalls oft genannt, um eine wirtschaftliche Anbindung zu ermöglichen.

Tabelle 6: Kernergebnisse aus dem Cluster KMU & Start-up

<b>KMUs beschäftigen wenige IT-Fachkräfte</b>
<b>Vorreiter nutzen digitale Lösungen in allen Bereichen</b>
<b>CAx-Tools sind Standard</b>
<b>Vorreiter haben Integration von digitaler Fabrik abgeschlossen</b>
<b>Abhängigkeit von OEMs bei Auswahl von digitalen Systemen hoch</b>

## 5.2.6 Mobilitätsbranche: Forschung in der Mobilität

Auch der Forschungscluster arbeitet an aktuellen Technologien wie KI-gesteuerter Big-Data-Analyse, IoT und vor allem Digitalen Zwillingen in verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette. Die Interviews zeigen eine bestehende Kooperation in beiden Branchen. Die Forschung konzentriert sich auf aktuelle Herausforderungen digitaler Technologien, wobei die Digitalisierung interner Prozesse begrenzt ist. Im Bereich Digitaler Zwillinge in der Industrie 4.0 hat die Implementierung einen hohen Stellenwert, wobei Unternehmen auf existierende CAx-Lösungen zurückgreifen. Die Befragten betonen, dass die Definition des Digitalen Zwillings oft missverstanden wird und empfehlen, nur für den Prozess relevante Daten aufzunehmen. Die Forschung arbeitet an der Digitalisierung der Industrie, jedoch sind interne Prozesse nicht vollständig digitalisiert und mit bürokratischem Aufwand verbunden. Bei der Zusammenarbeit mit externen Firmen werden etablierte Marktlösungen verwendet, und bei vertraulichen Informationen kommen Serverlösungen zum Einsatz.

Die Befragten arbeiten an der Umsetzung des Digitalen Zwillings mit neuesten Lösungen und haben einen Überblick über die technischen Herausforderungen der Digitalisierung von Prozessen. Die Datendurchgängigkeit spielt eine wichtige Rolle, erfordert jedoch oft Einzelösungen für Schnittstellen, da keine Standards für den Datenaustausch existieren.

Herausforderungen bei der Einführung digitaler Lösungen in Unternehmen liegen in der Akzeptanz neuer Technologien und der Schulung der Mitarbeitenden. Im Cluster KMU & Start-up wird der bürokratische Aufwand besonders bemängelt, und das Investmentrisiko ist höher als im Cluster OEM & Konzern.

Datensicherheit ist ein großes Risiko, und die Befragten betonen die Fehlerquelle Mensch. Die Anpassung der EU-DSGVO wird gefordert, ebenso wie Standardisierung zur Datendurchgängigkeit und finanzielle Förderung der Digitalisierung. Ein beschleunigter Netzausbau ist als Innovationshemmer zu überwinden, um die Transformation Deutschlands in eine digitale Nation zu ermöglichen.

Tabelle 7: Kernergebnisse aus dem Cluster Mobilitätsforschung

<b>Entwicklungsarbeit ist völlig digital</b>
<b>Forschung an Digitalem Zwilling der Stufe vier; bereits Use-Case-spezifische Implementierung</b>
<b>Besonders im Bereich Simulation gut aufgestellt</b>
<b>Klassische Bürokratie und Förderlandschaft hemmt Innovationen enorm</b>

## 5.3 Branchenübergreifende Synergiepotenziale

Aus Umfrageergebnissen und Experteninterviews geht hervor, dass die Mobilitätsbranche in der Implementierung digitaler Lösungen bereits weit fortgeschritten ist. OEMs arbeiten flächendeckend an der Umsetzung eines Digitalen Zwillinges ihrer Produkte und nutzen Daten von Fahrzeugen im Betrieb. Der Reifegrad des Digitalen Zwillinges dient als Indikator für den Digitalisierungsfortschritt, wobei vier Level von einem pre-Digitalen Zwilling bis hin zu einem intelligenten Digitalen Zwilling unterschieden werden. Die Mobilitätsbranche zeigt dabei einen knappen Vorsprung vor der Raumfahrtbranche, insbesondere durch fortgeschrittenere Anwendungen des Digitalen Zwillinges im operativen Geschäft. Die Produktion ist bereits vollständig automatisiert und datengetrieben, wobei Sensortechnologien wie hochauflösende Kamerasysteme eingesetzt werden, deren Daten mittels künstlicher Intelligenz ausgewertet werden. Ziel ist ein vollständig vernetztes System entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Trotz dieser Fortschritte stehen beide Branchen vor Herausforderungen, wobei potenzielle Synergien identifiziert werden können, von denen die Raumfahrtbranche profitieren kann.

Das Cluster Old Space arbeitet an der Digitalisierung der Produktion und entwickelt ebenfalls Digitale Zwillinge in verschiedenen Bereichen. Ähnlich wie bei den meisten OEMs und Konzernen wurden anforderungsspezifische digitale Lösungen entwickelt – ohne Rücksicht auf Schnittstellen oder Wiederverwendbarkeit. In der Mobilitätsbranche, insbesondere bei OEMs und Konzernen, werden kontinuierlich bereichsübergreifende Schnittstellen für Insellösungen geschaffen, wobei das Datenmanagement zur Vermeidung von Datensilos im Vordergrund steht. Die Synergie mit dem plattformbasierten Datenbankansatz der Raumfahrtbranche kann genutzt werden, um Best Practices bei der

Harmonisierung von Daten und Systemen zu übernehmen. Die Herausforderung besteht darin, geeignete Software für die Schnittstellen zwischen den Prozessen intern und extern zu identifizieren. Die Integration von digitalen Lösungen hat die Effizienz der Produktion gesteigert, indem Produktionslinien flexibler und transparenter gemacht wurden.

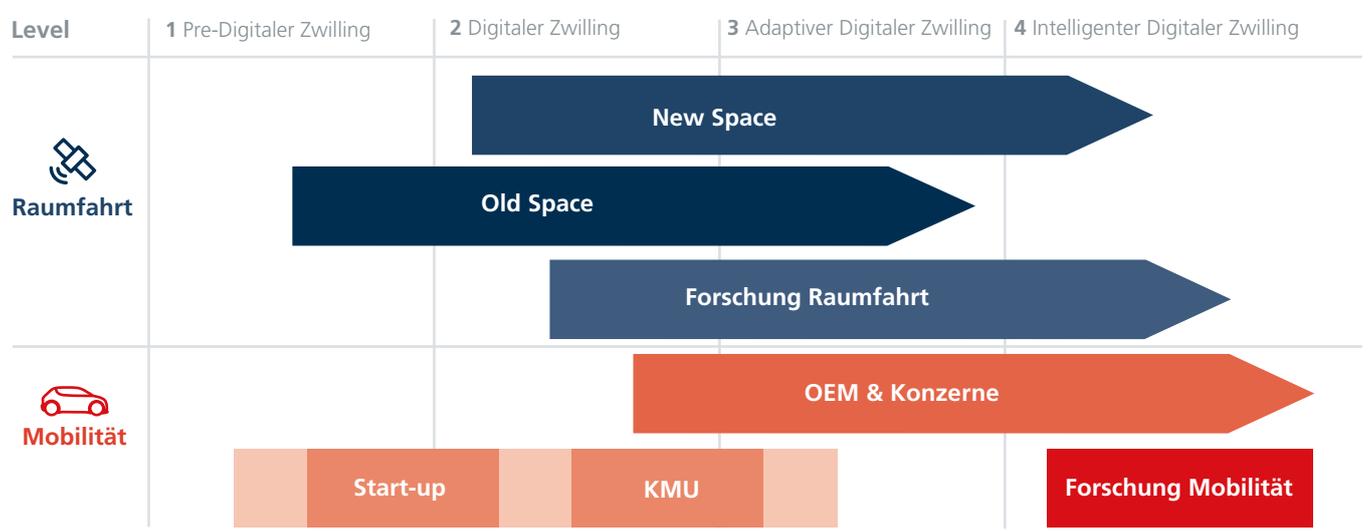
In der Mobilitätsbranche konzentrieren sich Konzerne vermehrt auf die Erfassung und Nutzung von Fahrzeugdaten im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes des Digitalen Zwillinges. Fahrzeugdaten werden im Betrieb erfasst, um die Abnutzung von Bauteilen frühzeitig zu erkennen und Kunden rechtzeitig zur Wartung zu informieren, bevor es zu erheblichen Schäden kommt. Diese Daten können auch in der Entwicklung zukünftiger Iterationen oder Modelle genutzt werden, um Einblicke in das Verhalten einzelner Bauteile zu erhalten und Rückschlüsse auf ihre Lebensdauer zu ziehen.

In der Raumfahrt könnte diese Technologie beispielsweise bei der Satellitenüberwachung eingesetzt werden. Um den Anforderungen gerecht zu werden, arbeitet die Automobilbranche derzeit an Plattformen für autonomes Fahren, die die reibungslose, sichere Kommunikation der Fahrzeuge ermöglichen und Standards für die Ansteuerung von Mechanik sowie Datenübertragung von Sensorik bieten sollen. Dadurch sollen Entwicklungsprozesse verkürzt und die Datendurchgängigkeit in den Produkten sichergestellt werden.

Die genannten Ansätze zeigen Synergien mit den Bedarfen der Raumfahrtbranche auf, die sich auch in der quantitativen Auswertung widerspiegeln. Insbesondere in den Bereichen Inspektion, Entwicklung, Simulation und Testing ist das Synergiepotenzial deutlich erkennbar. Eine Zusammenarbeit oder Kooperation zwischen Konzernen beider Branchen könnte somit einen Mehrwert für beide Seiten schaffen.

Ein weiteres Synergiepotenzial besteht zwischen KMUs und Start-ups beider Branchen, die jedoch unterschiedliche digitale Reifegrade auf-

Abbildung 5-13: Einstufung der Cluster nach MADNI ET AL.<sup>108</sup>



108 Eigene Darstellung

weisen. Beide Branchen stehen ähnlichen Herausforderungen gegenüber, wie der Einführung von digitalen Systemen. Die Verfügbarkeit von Ressourcen spielt eine entscheidende Rolle für die Digitalisierung. Lizenzkosten für Tools stellen ein finanzielles Risiko dar und das Fehlen standardisierter IoT-Schnittstellen in der Produktion ist eine besondere Herausforderung. Einige Unternehmen haben bereits in digitale Lösungen investiert, während anderen Fachkräfte oder Ressourcen fehlen. Zudem sind viele KMUs bei der Auswahl digitaler Systeme auf Konzerne der Branche angewiesen. Die Integration digitaler Lösungen bei projektgebundenen Aufträgen stellt eine weitere Herausforderung dar, da Produkte individualisiert werden und nicht von automatisierten Produktionslinien gefertigt werden können.

Bei der Auswahl geeigneter Software werden zentrale Herausforderungen bei der Implementierung von Digitalisierungslösungen deutlich, insbesondere aufgrund des herrschenden Fachkräftemangels in den Unternehmen. Der Mangel an IT-Kenntnissen erschwert die Implementierung und Nutzung geeigneter Softwarelösungen für Digitalisierungsprozesse. Dies wirkt sich auch auf die Bereitschaft zu weiteren Digitalisierungsprozessen aus, die aufgrund fehlender Fachkräfte nicht effektiv in die IT-Landschaft der Unternehmen integriert werden können.

Die Forschung arbeitet branchenübergreifend an aktuellen Herausforderungen digitaler Lösungen, wobei der Digitale Zwilling im Kontext der Industrie 4.0 besonders hervorgehoben wird. Ansätze zur Analyse großer und komplexer Datenströme mittels KI und Cloud-Computing sollen datengetriebene Entscheidungen ermöglichen, die bereits teilweise in der Produktion Anwendung finden. Ähnliche Ansätze werden auch beim autonomen Fahren angewendet. Die Nutzung von Echtzeit-Fahrzeugdaten in Simulationen zur frühzeitigen Identifikation von Schäden und Lebensdauer einzelner Bauteile wird ebenfalls erforscht. Die Bedeutung simulativer Ansätze für zukünftige Technologien wird sowohl quantitativ als auch qualitativ betont, und es gibt Synergien mit den Bedarfen der Raumfahrtbranche, insbesondere im Bereich Simulation.

Eine branchenübergreifende Herausforderung sind die Schnittstellen von Hard- und Software in Systemen, insbesondere in der Produktion, wo Standards für IoT-Geräte fehlen. Ein industrieweiter Austausch zu diesem Thema wird empfohlen. Beide Branchen haben eine Vorreiterrolle in der Digitalisierung eingenommen, daher sollte der Austausch zu Standards von Unternehmen beider Branchen vorangetrieben werden, wobei jedoch berücksichtigt werden sollte, dass Standards zwar die Implementierung und Nutzung digitaler Systeme effizienter gestalten können, aber auch Innovationen hemmen könnten.

Abbildung 5-14 symbolisiert die Synergieeffekte zwischen den Clustern beider Branchen. Es wird auf konkrete Synergien eingegangen, bei denen bereits Best Practices für Herausforderungen in anderen Bereichen gefunden wurden.

Unternehmen im Cluster Old Space sehen Herausforderungen bei der Implementierung von Digitalisierungslösungen in frühen Phasen – aufgrund komplexer Konzernstrukturen. Im Cluster New Space können Lösungen bereits in frühen Phasen eingeführt werden, da Unternehmen oft spezifisch ausgerichtet sind und Bereiche wie Entwicklung oder Produktion frühzeitig digitalisiert werden können. Eine frühzeitige Einführung von Digitalen Zwillingen oder KI kann dabei Schnittstellen-

probleme zwischen den Bereichen vermeiden.

Durch Synergien mit dem Forschungscluster können im Old Space Forschungsfelder übertragen werden, die auf eine industrielle Nutzung abzielen. Hier sind Synergien bei der Nutzung von Digitalen Zwillingen auf Produkt- und Produktionsebene, IoT, cloudbasierten Datenmanagementlösungen und der Digitalisierung im MRO-Bereich erkennbar. Unternehmen im Old Space können durch Erprobung und Nutzung in der Forschung Digitalisierungslösungen implementieren und skalieren. Zwischen den Clustern Old Space und OEMs sind Synergien erkennbar, insbesondere im Bereich der Produktion hinsichtlich digitaler Fabriken und Automatisierung. Diese Lösungen und Möglichkeiten aus der Mobilitätsbranche können auf das Old Space-Cluster übertragen werden, insbesondere zwischen OEMs und Old Space-Unternehmen aufgrund ähnlicher Konzernstrukturen. Eine vollständig digitalisierte Produktion wird angestrebt, wobei die bereits in der Mobilitätsbranche angewandte teilweise oder vollständig automatisierte Fertigung zentrale Synergien für Old Space-Unternehmen darstellt.

In der Mobilitätsbranche werden Digitale Zwillinge und IoT in der Fertigung eingesetzt, um Produktionsprozesse zu optimieren. Die Datenkontinuität in der Mobilitätsbranche bietet bereits Möglichkeiten, die auch für Old Space relevant sind, stellt aber auch Herausforderungen hinsichtlich der Schnittstellen dar.

Es sind auch Synergien zwischen den Lösungen des Old Space-Clusters und den Herausforderungen des New Space Clusters zu identifizieren. Probleme bei der Einführung und Identifikation geeigneter Lösungen aufgrund geringer Produktionsvolumina im New Space können durch teilweise vorhandene Digitalisierungslösungen im Bereich der Produktion in Old Space-Unternehmen abgedeckt werden, was Synergien zwischen den Clustern ermöglicht.

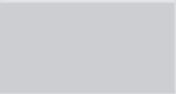
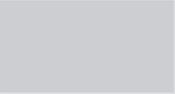
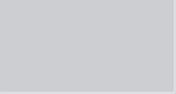
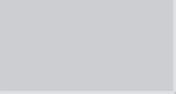
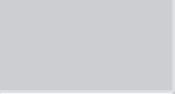
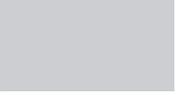
New Space-Unternehmen können vom Cluster Old Space lernen und bereits für kleine Stückzahlen Lösungen in der Produktion, wie den Digitalen Zwilling und Teilautomatisierung, implementieren. Eine zentrale Herausforderung im New Space-Cluster liegt in der mangelnden Finanzierung beim Wechsel von Eigenlösungen zu existierenden Software-Marktlösungen, die häufig von Unternehmen im Old Space genutzt werden. Hier besteht Potenzial für New Space-Unternehmen, von den Erfahrungen anderer zu lernen und die Implementierung von Marktlösungen zu gewährleisten, insbesondere im Bereich Datenaustausch und Datensicherheit.

Eine weitere Synergie besteht zwischen Forschung und New Space bei der Nutzung von Digitalisierungslösungen, die aktuell in Forschungsprojekten behandelt werden. New Space-Unternehmen können diese Lösungen frühzeitig in ihre Prozesse integrieren und von Forschungsprojekten profitieren, insbesondere in den Bereichen KI, Digitaler Zwilling und cloudbasiertes Datenmanagement.

Im Mobilitätsbereich besteht bereits eine toolübergreifende Arbeitsweise durch die eingeführten Digitalisierungslösungen entlang der Wertschöpfungskette. Dadurch ergeben sich sowohl intern als auch extern Herausforderungen bei der Einführung ähnlicher Lösungen für das New Space-Cluster, insbesondere bei der Identifizierung geeigneter Software und der Bewältigung von Schnittstellenproblemen.

Abbildung 5-14: Branchenübergreifende Synergien<sup>109</sup>

**Best Practices**

Synergieeffekt 		Raumfahrt 			Mobilität 		
		Old Space	New Space	Forschung	OEM	KMU & Start-up	Forschung
Herausforderungen	Raumfahrt 	Old Space					
		New Space					
		Forschung					
	Mobilität 	OEM					
		KMU & Start-up					
		Forschung					

In der Raumfahrtforschung besteht Synergiepotenzial zur Entwicklung von Handlungsstrategien, um die zunehmend kürzeren Entwicklungszyklen und die Nutzung von Digitalisierungslösungen zu bewältigen. Ähnliche Herausforderungen bestehen bereits in der Mobilitätsbranche, wo ressourcen- und kapitalschonende Digitalisierung Synergien mit den Forschungs Herausforderungen schaffen kann.

Gemeinsame Herausforderungen wie Datenmanagement, Implementierungsschwierigkeiten und Schnittstellenprobleme sind identifizierbar. Diese umfassen Fragen zur Datensicherheit und zum Datenaustausch, wobei Kosten, Ressourcen und Transparenz bei hoher Datensicherheit in beiden Branchen eine Rolle spielen. Eine fehlende standardisierte Lösung aus Europa oder Deutschland führt zur Nutzung von amerikanischen oder chinesischen Marktlösungen für den Datenaustausch, während Eigenlösungen keine optimale Nutzung gewährleisten.

Die Schnittstellen zwischen den Digitalisierungsprozessen sind eine zentrale Herausforderung, da eine Mischung aus Eigen- und Marktlösungen sowie unterschiedliche Softwarenutzungen in Unternehmen Schnittstellenprobleme bei interner Arbeit und externer Kooperation verursachen. Die Identifikation geeigneter Software wird durch Lizenzkosten und die Vermeidung von Schnittstellenschwierigkeiten zusätzlich behindert.

## 5.4 Handlungsempfehlungen zur Förderung von Digitalisierung

### Fachkräftemangel im IT-Bereich:

Um das Interesse von IT-Fachkräften aus anderen Branchen zu wecken, empfiehlt es sich, ein innovatives Image mit Fokus auf Softwareentwicklung zu schaffen oder sogar ein eigenes Softwareunternehmen auszugründen. Dies kann potenzielle Fachkräfte anziehen.

### Gezielte Anwerbung und Ausbildung:

Unternehmen sollten gezielt IT-Fachkräfte anwerben und in disziplinspezifischen Tools schulen. Die Förderung von Fächern wie Informatik und Elektrotechnik an Schulen sowie die Integration von Digitalisierungsthemen in Ausbildung und Studium sind ebenfalls wichtig.

### Managementebene treibt Digitalisierung:

Die Digitalisierung sollte von der Managementebene getrieben werden. Transparente Kommunikation einer Digitalisierungsstrategie und die Bildung von disziplinübergreifenden Teams bei der Auswahl von Systemen sind empfohlen, um Wissensilos zu vermeiden.

### Investitionsrisiko für KMUs und Start-ups:

KMUs und Start-ups sollten Zugang zu geförderter Beratung für die Digitalisierung erhalten, um das Risiko von Investitionen in digitale Lösungen zu minimieren. Gezielte Förderungen in digitale Lösungen können ebenfalls die Bereitschaft zur Investition steigern.

109 Eigene Darstellung

### Standardisierung und Schnittstellen:

Die Definition von Standards und Schnittstellen zwischen verschiedenen Systemen ist notwendig, erfordert aber einen branchenübergreifenden Austausch. Gremien, in denen KMUs und OEMs vertreten sind, können diesen Austausch erleichtern.

### Nutzung von Cloudsystemen:

Es ist wichtig, sichere und unabhängige Cloud-Dienste für die Datenspeicherung und -verarbeitung zu finden. Transparente Zertifikate von neutralen Organisationen können eine Grundlage zur Bewertung von Cloud-Angeboten bieten.

### DSGVO und Datenschutz:

Die DSGVO sollte als neue Anforderung an die Datennutzung betrachtet werden. Die Blockchain-Technologie kann zur Einhaltung der DSGVO beitragen.

### Kooperationen zwischen Branchen:

Branchenübergreifende Kooperationen sind entscheidend, um Synergien zu nutzen und die Digitalisierung voranzutreiben. Die Zusammenarbeit zwischen Start-ups und etablierten Unternehmen kann Schnittstellenprobleme reduzieren und Innovationen fördern.

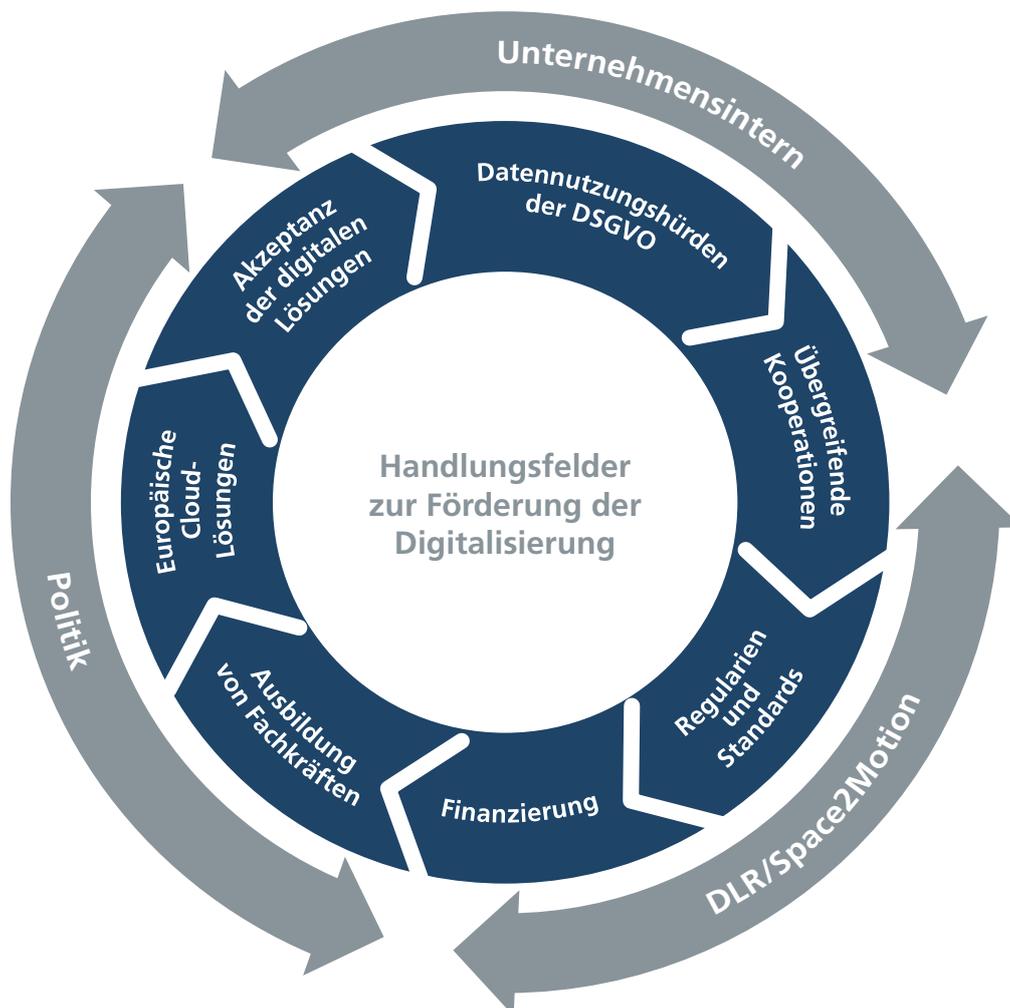
### Regulatorien und Standards:

Einheitliche Standards und Regulatorien, insbesondere im Bereich Datensicherheit und -austausch, sind notwendig. Eine Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Clustern und Institutionen kann dabei helfen.

### Finanzierung:

Es ist wichtig, finanzielle Unterstützung für KMUs, Start-ups und Digitalisierungsprojekte bereitzustellen, um die Digitalisierung zu beschleunigen. Strategische Partnerschaften und finanzielle Unterstützung können helfen, die Kosten für Software und Lizenzen zu teilen.

Die Handlungsempfehlungen können in sieben Kernbereiche unterteilt werden: Akzeptanz von digitalen Lösungen, Umgang mit Datennutzungshürden der DSGVO, unternehmensübergreifende Kooperation, Regularien und Standards, Datensicherheit und -austausch sowie Finanzierung. Diese Empfehlungen sind entscheidend, um die Digitalisierung in verschiedenen Branchen voranzutreiben und den Bedürfnissen von Unternehmen, insbesondere KMUs und Start-ups, gerecht zu werden.



# 6

## AUSBLICK UND FAZIT

Bei der Auswertung der Angaben zu Forschungseinrichtungen aus beiden Branchen ist deutlich geworden, dass diese in den branchenübergreifend relevanten Forschungsgebieten bereits zusammenarbeiten. Die Institute aus der Mobilität forschen zudem intensiv an den prozessumfassenden Herausforderungen der Industrie 4.0. Besonders ist hier der Ansatz des Digitalen Zwillings zu erwähnen, welcher in verschiedenen Use-Cases bereits Anwendung findet. Dadurch entstehende Synergien mit den Herausforderungen der Raumfahrtbranche können durch branchenübergreifende Industrieprojekte und gemeinsame oder aufeinander abgestimmte Bearbeitung von Forschungsfragen genutzt werden und zu einem Mehrwert für beide Branchen führen.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist eine Ausarbeitung von Strategien für die Digitalisierung der deutschen Raumfahrt. Anhand der erkannten Synergien und Auswertungen der Interviews können drei strategische Rahmenpunkte identifiziert werden, die zur Erreichung der Digitalisierung notwendig sind. Eine erste zentrale Ausarbeitung thematisiert dabei die Kooperationen und strategischen Partnerschaften zu branchenübergreifender Kollaboration, Wissensaustausch sowie horizontalem Technologietransfer. Diese Kooperationen dienen zur Optimierung der internen Prozesse und der Implementierung der geeigneten Digitalisierungslösungen. Eine kooperative und einheitliche Digitalisierung innerhalb der Raumfahrtbranche kann durch die bereits erkannten Lösungen in der Mobilität Handlungsoptionen ableiten.

Zweitens bestehen durch eine Erarbeitung und Anpassung der Standards und Regularien zentrale Handlungsoptionen. Diese müssen zum einen eine kooperative Arbeitsweise innerhalb der Unternehmen fördern, dürfen jedoch die Innovation der Digitalisierungsmöglichkeiten nicht hemmen. Eine Standardisierung der IT-Landschaft innerhalb der Raumfahrtbranche fördert die toolübergreifende Digitalisierung weiterer Prozesse. Speziell im Rahmen der Datendurchgängigkeit und bei der Behandlung von Schnittstellenproblemen zwischen einzelnen Bereichen stellt eine Standardisierung eine Stütze der erarbeiteten Handlungsoptionen dar.

Drittens besteht durch die Finanzierung von Digitalisierung eine zentrale Herausforderung für die Unternehmen des Clusters New Space. Durch hohe Projektkosten in der Raumfahrtbranche sowie mangelnde Finanzierung der Lizenzkosten der optimalen Software, nutzen speziell Start-ups aus dem New Space-Cluster mehrfach Eigenlösungen. Diese garantieren für die Nutzung in der IT-Landschaft sowie bei Kooperationen mit externen Unternehmen keine geeignete Nutzung. Die fehlende Finanzierung der Lizenzkosten hemmt die Digitalisierung der Branche. Die Ausarbeitung dieser Untersuchung zeigt, dass die finanzielle Unterstützung schneller in die Organisationen schon in frühen Phasen der Implementierung gelangen soll.

Durch die wachsende Kommerzialisierung der Raumfahrtbranche steht diese inmitten eines technologischen und strukturellen Wandels. Die Raumfahrt bezeichnet historisch eine Branche, die für den Technologietransfer in andere Branchen essenziell ist. Nun kann die Mobilitätsbranche das Thema Digitalisierung über branchenübergreifende Synergien in die Raumfahrt transferieren. Ziel ist es, eine zukunftsfähige deutsche Raumfahrt im Vergleich mit der Konkurrenz darzustellen. Dies ist nur dann möglich, wenn die Raumfahrtbranche die Digitalisierung ihrer Prozesse fortführt. Die Einbindung der Institutionen ist ein essenzieller Bestandteil der erarbeiteten Digitalisierungsstrategien. Durch diese können Kooperationen geschaffen werden,

Regularien und Standards angepasst sowie finanzielle Unterstützung in die Unternehmen gebracht werden.

Anhand der in dieser Untersuchung formulierten Digitalisierungsstrategien sollen Kooperationen geschaffen werden, die durch geeignete Netzwerke zwischen der Raumfahrt- und der Mobilitätsbranche gebildet werden. Durch die erkannten Synergien zwischen den Branchen Mobilität und Raumfahrt sowie innerhalb der Cluster New Space, Old Space und Raumfahrtforschung können Strategien und Kooperationen zu branchenübergreifenden Partnerschaften gebildet werden. Diese sollen anhand der in dieser Untersuchung erörterten Synergien angewendet werden, sodass die Digitalisierung weiter fortschreitet. Die formulierten Handlungsempfehlungen bilden ein Rahmenwerk für die Digitalisierungsstrategie der deutschen Raumfahrt. Anhand der Erarbeitung dieser Ergebnisse kann der Digitalisierungsstandort Deutschland durch branchenübergreifenden Technologietransfer und Synergieidentifikation gesichert werden.

Als Ausblick ist festzuhalten, dass zur Nutzung der Synergiepotenziale und zum breiteren Ausbau der Digitalisierung verschiedene Akteure tätig werden müssen. Mögliche Aktivitäten der Raumfahrtkonzerne, jedoch ggf. auch der Mobilitätsbranche können der folgenden Tabelle 8 entnommen werden:

Tabelle 8: Empfohlene Aktivitäten zur Nutzung der Synergiepotenziale

<p><b>Bildung von Kooperationen mit in der Digitalisierung führenden Konzernen aus der Mobilität zur Erarbeitung von Best Practices bei der Harmonisierung von Datenbanken und Systemen für den plattformbasierten Ansatz der Raumfahrtbranche</b></p>
<p><b>Offene und breite Kommunikation und Veröffentlichung der Erkenntnisse aus Kooperationen, auch als Grundlage für ergänzende/vertiefende Folgeprojekte</b></p>
<p><b>Auflegen branchenübergreifender Industrieprojekte mit gemeinsamer oder aufeinander abgestimmter Bearbeitung von Forschungsfragen</b></p>

Mögliche Aktivitäten der Politik zur Förderung der Digitalisierung von KMUs und Start-ups sind der Tabelle 9 zu entnehmen:

Tabelle 9: Empfohlene politische Aktivitäten zur Förderung der Digitalisierung von KMUs und Start-ups

<b>Einführung einer öffentlichen Förderung von digitalen Lösungen durch Bund oder Land</b>
<b>Einführung einer öffentlichen Beratung zur Digitalisierung der Prozesse</b>
<b>Bildung von Fachgremien unter Einbindung aller Cluster der Industrie zur Erarbeitung einer Digitalisierungsstrategie der deutschen Industrie und von Industriestandards für Schnittstellen als Grundlage für ein folgendes Gesetzgebungsverfahren</b>
<b>Ausbau der MINT-Förderung in Kindergärten und Schulen sowie Festlegung, dass Digitalisierung Pflichtfach in allen Schulformen wird</b>

Abschließend seien grundsätzliche Handlungsempfehlungen für Unternehmen beider Branchen aufgeführt, die sofort umsetzbar sind und den kommunikativen Umgang mit der Digitalisierung und Datensicherheit betreffen, siehe Tabelle 10:

Tabelle 10: Empfohlene Aktivitäten zur Förderung der Kommunikation bzgl. Digitalisierung und Datensicherheit

<b>Entwicklung und Kommunikation einer auf das eigene Unternehmen ausgelegten Digitalisierungsstrategie zur Schaffung von Transparenz bei den Mitarbeitenden und Förderung der Akzeptanz sowie der Attraktivität des Unternehmens für IT-Fachkräfte</b>
<b>Eingliederung der EU-DSGVO mit weitgehender Automatisierung in die Prozesse und Klärung geeigneter Technologien zur Anonymisierung von Daten</b>

Es wurde gezeigt, dass eine aktive und kontinuierliche Befassung mit den Herausforderungen und Hemmnissen der Digitalisierung sowohl im einzelnen Betrieb, branchenübergreifend, aber auch auf politischer Ebene erforderlich ist.

Allen Beteiligten der Untersuchung wird ein herzlicher Dank für die Unterstützung ausgesprochen. Durch die eingebrachte Expertise wird hier ein umfassendes Bild vom aktuellen Stand der Digitalisierung aufgezeigt und vielversprechende Ansätze für die weitere Förderung der Digitalisierung identifiziert. Nun gilt es, die gewonnenen Erkenntnisse zu nutzen und konkrete Projekte zu initiieren, sei es in Form von bilateralen Kooperationen, im Rahmen der Arbeitsgruppen des Space2Motion-Netzwerks, oder indem die Erkenntnisse zur Formulierung einer übergreifenden Digitalisierungsstrategie genutzt werden, um den Digitalisierungsstandort Deutschland durch branchenübergreifenden Technologietransfer zu stärken.

# LITERATURVERZEICHNIS

**Adler, L; Frank, A; Gimpel, H; Heger, S; Nüske, N; Starke, J; Waldmann, D; Wöhl, M. (Datenaustausch von Maschinen):**

Auf dem Weg zum vertrauensvollen, unternehmensübergreifenden automatisierten Datenaustausch von Maschinen – Identifikation von schützenswertem Wissen im Zeitalter von Industrie 4.0, Jg. 58, 2021, Nr. 6, S. 1521–1534

**Akyildiz, I. F; Kak, A. (The Internet of Space Things):**

The Internet of Space Things/CubeSats. In: IEEE Network, Jg. 33, 2019, Nr. 5, S. 212–218

**Badea, V; Zamfiroui, A; BONCEA, R.**

**(Big Data in the Aerospace):**

Big Data in the Aerospace Industry. In: Informatica Economica, Jg. 22, 2018, Nr. 1, S. 17–24

**Barney, J. (Firm Resources and Advantage):**

Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. In: Journal of Management 1991, Nr. 1, S. 99–120

**Blessing, L. T. M; Chakrabarti, A.**

**(DRM, a Design Research Methodology):**

DRM, a Design Research Methodology. London: Springer London Limited, 2009

**Bogner, K; Landrock, U.**

**(Antworttendenzen in standardisierten Umfragen):**

Antworttendenzen in standardisierten Umfragen. 1.1 Aufl. Mannheim: Leibniz Institute for the Social Sciences, 2015

**Bracht, U; Geckler, D; Wenzel, S. (Digitale Fabrik):**

Digitale Fabrik (VDI-Buch). 2 Aufl. Berlin: Springer Verlag, 2018

**Bundesministerium der Justiz**

**(§267 Umschreibung der Größenklassen):**

§267 Umschreibung der Größenklassen. HGB , 17.01.2023

**Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland**

**(Digitalisierung gestalten):**

Digitalisierung gestalten. Umsetzungsstrategie der Bundesregierung. 6 Aufl. Berlin, 2021

**Deckert, R. (Digitalisierung und Industrie 4.0):**

Digitalisierung und Industrie 4.0. Technologischer Wandel und individuelle Weiterentwicklung (SpringerLink Bücher). 1 Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019

**Deckert, R; Dirrler, P. (Digitalisierung und Luftfahrt):**

Digitalisierung und Luftfahrt. Technologischer Wandel in der Flugzeuginstandhaltung (Springer eBook Collection). 1 Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

**(Künstliche Intelligenz im DLR):**

Künstliche Intelligenz im DLR. Köln, 2019

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

**(Zukunftstechnologien für die Gesellschaft DLR):**

Zukunftstechnologien für die Gesellschaft DLR 2030. Köln, 2019

**Ehrenfreund, P. (Artificial intelligence at DLR):**

Artificial intelligence at DLR. <https://www.dlr.de/content/en/dossiers/2019/artificial-intelligence.html>. Abruf 25.06.2022

**Feddeck, P; Mittelbach, E; Fleischmann, M; Gonzalez, D.**

**(Industrie 4.0 und Raumfahrt):**

Industrie 4.0 und Raumfahrt. Weichen Richtung Zukunft stellen. In: countdown newsletter 2018, Nr. 36

**Fidler, D. P. (Cybersecurity and the New Era):**

Cybersecurity and the New Era of Space Activities. Indiana, 2018

**Friebe, R. (Digitale Transformation Luft- und Raumfahrt):**

Digitale Transformation in der Luft- und Raumfahrt. Köln, 2018

**GBTEC Group (Digitale Transformation: 7 digitale Trends):**

Digitale Transformation: 7 digitale Trends, die sie 2022 nicht verpassen sollten. Bochum, 2022

**Girimonte, D; Izzo, D.**

**(Artificial Intelligence For Space Applications):**

Artificial Intelligence For Space Applications. In: Schuster, A. (Hrsg.): Intelligent Computing Everywhere 1 Aufl. London: Springer London Limited, 2007, S. 235–253

**Glaessgen, E; Stargel, D. (Digital Twin Paradigm):**

The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference: Special Session on the Digital Twin, 23.-26. April. Honolulu 2012.

**Grimm, A; Pfaff, M. (Transformation der Wertschöpfung):**

Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche. Teilbericht Arbeitspaket 4: Entwicklungen im Regime. 249 Aufl. Düsseldorf, 2022

**Heimes, H; Kampker, A; Bühler, U; Krottil, S.**

**(Potenziale und Hürden von Data Analytics):**

Potenziale und Hürden von Data Analytics in der Serienfertigung. In: I40M, Jg. 2019, 2019, Nr. 35, S. 57–60

**Heimes, H; Kampker, A; Bühler, U; Steinberger, A; Eirich, J;**

**Krottil, S. (Hrsg.) Scalable Data Analytics from Predevelopment:**

Scalable Data Analytics from Predevelopment to Large Scale Manufacturing. Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering, 18.-19. April. Depok, Indonesien: Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering 2019.

**Heimes, H; Locke, M; Offermanns, C; Rahimzei, E.**

**(Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030):**

Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030. Frankfurt am Main, 2021  
Heng, S. (Industrie 4.0: Upgrade des Industriestandorts):  
Industrie 4.0: Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor. Frankfurt am Main, 2014

**Jarzombek, T. (Zukunftsfähige deutsche Raumfahrt):**

Eine zukunftsfähige deutsche Raumfahrt. In: Zeitschrift für Politikwissenschaft, Jg. 29, 2019, Nr. 4, S. 505–516

**Kampker, A; Gerdes, J; Schuh, G. (Think Big, Start Small):**  
Think Big, Start Small. Streetscooter Die e-Mobile Erfolgsstory: Innovationsprozesse radikal effizienter. 1. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2017

**Kampker, A; Heimes, H; Bühner, U; Lienemann, C; Krottil, S. (Enabling Data Analytics in Large):**  
Enabling Data Analytics in Large Scale manufacturing. 4th International Conference on System-Integrated Intelligence, 7.-9- Juni: Elsevier 2010.

**Kampker, A; Kreisköther, K; Kleine Büning, M; Möller, T; Busch, M. (Vorausschauende Instandhaltung durch Maschinelles Lernen):**  
Vorausschauende Instandhaltung durch Maschinelles Lernen in der Prozessindustrie. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 113, 2018, Nr. 4, S. 195–198

**Kaps; Robert (Digitaler Zwilling Anwendungsstudie Maintenance):**  
Digitaler Zwilling Anwendungsstudie anhand eines Maintenance-Szenarios (15. Wissenschaftstag). Köln, 2018

**Kennedy, J.; Holt, T.; Cheng, B. (Automotive cybersecurity: assessing a new platform for cybercrime and malicious hacking):**  
Automotive cybersecurity: assessing a new platform for cybercrime and malicious hacking. In: Journal of Crime and Justice Volume 42, Ausg. 5, 2019

**Khan, S. K.; Shiwakoti, N.; Stasinopoulos, P; Chen, Y. (Cyberattacks in the next generation cars):**  
Cyberattacks in the next generation cars. In: Accident Analysis & Prevention 148, 2020

**Kind, S; Jetzke, T; Nögel, L; Bovenschulte, M; Ferdinand, J.-P. (New Space – neue Dynamik):**  
New Space – neue Dynamik in der Raumfahrt. 1 Aufl. Berlin, 2020

**Kirchgeorg, M (Definition: Original Equipment Manufacturer (OEM)):**  
Definition: Original Equipment Manufacturer (OEM). In: Springer, 15.02.2018

**Klostermeier, R; Haag, S; Benlian, A. (Geschäftsmodelle Digitaler Zwillinge):**  
Geschäftsmodelle Digitaler Zwillinge. HMD Best Paper Award 2018 (Springer eBooks Computer Science and Engineering). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020

**Kosfeld, R. (Deskriptive Statistik):**  
Deskriptive Statistik. In: Kosfeld, R. (Hrsg.): Klausurtraining Deskriptive und Induktive Statistik, 2. Auflage Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018, S. 15–163

**Kunandt, F; Burbiel, J; Schotter, S; Azzam, M. (Digitalisierung im DLR):**  
Digitalisierung im DLR. Köln, 2021

**Langenbach; Christian (DLR - Forschungsdatenmanagement):**  
DLR - Forschungsdatenmanagement. [https://www.dlr.de/zb/desktopdefault.aspx/tabid-17574/27868\\_read-72265/](https://www.dlr.de/zb/desktopdefault.aspx/tabid-17574/27868_read-72265/). Abruf 16.06.2022

**Lasi, H; Fettke, P; Kemper, H.-G; Feld, T; Hoffmann, M. (Industry 4.0):**  
Industry 4.0. In: Business & Information Systems Engineering, Jg. 6, 2014, Nr. 4, S. 239–242

**Liu, M; Fang, S; Dong, H; Xu, C. (Review of digital twin):**  
Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. In: Journal of Manufacturing Systems, Jg. 58, 2021, S. 346–361

**Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet der Dinge (IoT):**  
Eine Literaturübersicht. Journal of Computer and Communications, 3, 164-173.

**Madni, A; Madni, C; Lucero, S. (Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering):**  
Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. In: Systems 2019, Nr. 7

**Manulis, M; Bridges, C. P; Harrison, R; Sekar, V; Davis, A. (Cyber security in New Space):**  
Cyber security in New Space. Analysis of threats, key enabling technologies and challenge. In: International Journal of Information Security, Jg. 20, 2020, Nr. 3, S. 287–311

**Manogaran, G.; Thota, C.; Lopez, D.; Sundarasekar, R. (Cybersecurity for industry 4.0):**  
Big Data Security Intelligence for Healthcare Industry 4.0. In: Cybersecurity for industry 4.0, Springer Series in Advanced Manufacturing 2017, S. 103-126

**Marquardt, W. (Digitalisierungsstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft):**  
Digitalisierungsstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft. Bonn, 2019

**Matthias Pfaff; Anna Grimm; Jens Clausen (Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche?):**  
Wie beeinflussen Landscape-Veränderungen die Automobilbranche? Eine Analyse der Auswirkungen von Digitalisierung, Globalisierung sowie Klima- und Umweltschutz. Düsseldorf, 2022

**NASA Office of the Chief Technologist (NASA Modeling, Simulation, Information Technology):**  
NASA Modeling, Simulation, Information Technology & Processing - TA11. Washington D.C., 2010

**Piasek, B; Vickers, J; Lowry, D; Scotti, S; Stewart, J; Calomino, A. (Materials, Structures, Mechanical Systems Roadmap):**  
Materials, Structures, Mechanical Systems and Manufacturing Roadmap. Technology Area 12. Washington D.C., 2010

**Probst, L; Pedersen, B; Dakkak-Arnoux, L. (Big Data in Earth Observation):**  
Big Data in Earth Observation. Brüssel, 2017

**Raman, S; Weigel, R; Lee, T. The Internet of Space (IoS):**

The Internet of Space (IoS): A Future Backbone for the Internet of Things? – IEEE Internet of Things. <https://iot.ieee.org/newsletter/march-2016/the-internet-of-space-ios-a-future-backbone-for-the-internet-of-things.html>. Abruf 25.06.2022

**Reifsnider, K.; Majumdar, P. Multiphysik-angeregte Simulations-Digitaltwin-Methoden für Flottenmanagement.**

In den Proceedings der 54. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics und Materials Conference, Boston, MA, USA, 8.–11. April 2013; S. 1578

**Schilling, K. (Internet of Space - Weltweit verbunden):**

Internet of Space - Weltweit verbunden. In: Sonderprojekte ATZ/MTZ, Jg. 24, 2019, Nr. 2, S. 46–48

**SpaceTec Capital Partners**

**(Geschäftsmodelle an der Schnittstelle Raumfahrt Wirtschaft):**

Geschäftsmodelle an der Schnittstelle von Raumfahrt und digitaler Wirtschaft. München, 2016

**T. Funke, M. Buscher, et al.**

**(Eigenschaften und Entwicklung von Kleinstsatelliten):**

Eigenschaften und Entwicklung von Kleinstsatelliten. Berlin, 2016

**Theis, K; Lindner, A; Eisenmann, H.**

**(Digitaler Zwilling als Sprungbrett der Digitalisierung):**

Der Digitale Zwilling als Sprungbrett für die Digitalisierung. Den Digitalen Zwilling verstehen, umsetzen und dessen Komplexität beherrschen. 1 Aufl. Darmstadt, 2021

**Trenkle, J; Beichert, C.-P. (Typologisierung von Innovationsnetzwerken für Technologietransfer):**

Typologisierung von Innovationsnetzwerken für horizontalen und vertikalen Wissens- und Technologietransfer. München, 2020

**Ullrich, P.**

**(Das explorative ExpertInneninterview):**

Das explorative ExpertInneninterview. Modifikationen und konkrete Umsetzung der Auswertung von ExpertInneninterviews nach Meuser/Nagel. In: Engartner, T; Kuring, D; Teubl, T. (Hrsg.): Die Transformation des Politischen 66 Aufl. Berlin: Karl Dietz, 2006, S. 100–109

**Weber; Theresia, S; Wernitz; Frank**

**(Die Inhaltsanalyse nach Mayring):**

Die Inhaltsanalyse nach Mayring als Auswertungsmethode für wissenschaftliche Interviews. In: IUBH Discussion Papers - Business & Management 2021, Nr. 6, S. 1–15

**Weber, U; Grosser, H.**

**(Digitale Zwillinge):**

Digitale Zwillinge. Wegbereiter für Ökosysteme von morgen. Berlin, 2019

**Welte, T; Klippfahn, F; Schäfer, K. (Raumfahrtindustrie profitiert von digitalen Geschäftsmodellen und Megatrends):**

Wie die Luft- und Raumfahrtindustrie von digitalen Geschäftsmodellen und Megatrends profitiert. In: Tewes, S; Niestroj, B; Tewes, C. (Hrsg.): Geschäftsmodelle in die Zukunft denken: Erfolgsfaktoren für Branchen, Unternehmen und Veränderer Wiesbaden: Springer Gabler, 2020, S. 119–130

**Westkämper, E.**

**(Struktureller Wandel durch Megatrends):**

Struktureller Wandel durch Megatrends. In: Westkämper, E; Spath, D; Constantinescu, C; Lentjes, J. (Hrsg.): Digitale Produktion 1 Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2013, S. 7–9

**Wohlfeld, D.**

**(Digitaler Zwilling für die Produktion):**

Digitaler Zwilling für die Produktion von Übermorgen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 114, 2019, Nr. 1, S. 65–67

**Wolf, T; Strohschen, J.-H.**

**(Digitalisierung: Definition und Reife):**

Digitalisierung: Definition und Reife. In: Informatik Spektrum, Jg. 41, 2018, Nr. 1, S. 56–64

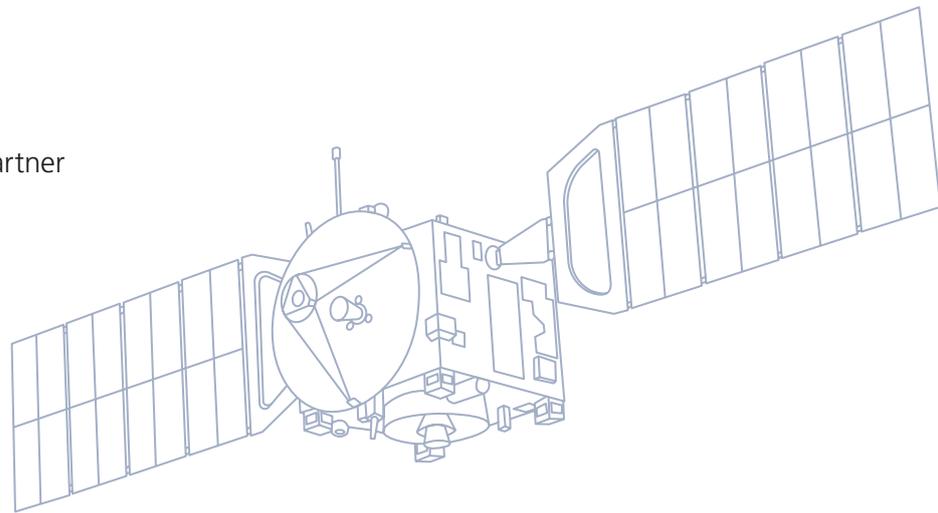
**Yin Z, H; Wang, L.**

**(Application and Development Prospect of):**

Application and Development Prospect of Digital Twin Technology in Aerospace. In: IFAC-PapersOnLine, Jg. 53, 2020, Nr. 5, S. 732–737

# ANHANG

## Auflistung der Interviewpartner



### Unternehmen Raumfahrt

### Position des Interviewpartners

---

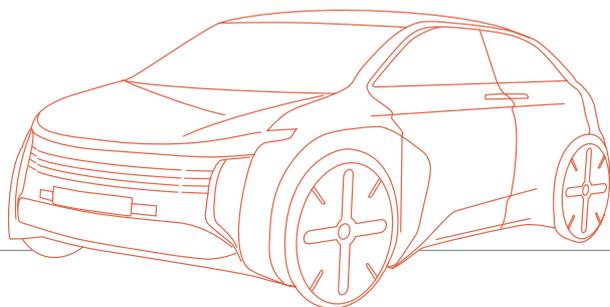
Zentrum für Telematik	Vorstand
EOS GmbH	Key-Account Manager Aerospace
NavCert GmbH	Laborleiter
CeraNovis GmbH	Geschäftsführer
LEVITY UG	Geschäftsführer
Bosch General Aviation Technology GmbH	Geschäftsführer
Airbus Defence & Space	Projektleiter DDMS Projekt
Vyoma GmbH	Space Systems Engineer
Kunststoffverarbeitung Hoffmann GmbH	Projektleiterin Luft- und Raumfahrt
European Space Agency	Private Consultant
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik	Gruppenleiter
Tesat Spacecom GmbH & Co KG	Teamleiter
Space Team Aachen e.V.	Teamleiter
VRI GmbH	Geschäftsführer
STT-SystemTechnik GmbH	Geschäftsführer
CGI Deutschland BV & Co KG	VP-Space
TU Berlin	Doktorand
Engineering Minds Munich GmbH	Geschäftsführer
diondo GmbH	Leiter Business Development
Reflex Aerospace	Strategie und Business Architekt
S4 - Smart Small Satellite Systems GmbH	Geschäftsführer
NEUROSPACE GmbH	Geschäftsführerin
OHB SE	Projektleiter Digitalisierung

---

## Unternehmen Mobilität

## Position des Interviewpartners

Merkle & Partner GbR	Inhaber und Geschäftsführer
IAV GmbH	Head of Trendscouting and Innovationmanagement
Volkswagen AG	Doktorand
Robert Bosch GmbH	Leiter CoC 3D Druck
HTV Halbleiter-Test & Vertriebs-GmbH	Assistent der Geschäftsleitung
Bosch	Innovationsmanager
Fraunhofer LBF	Abteilungsleiter
Fraunhofer IWU	Geschäftsfeldleiter Leichtbau
EVO GmbH	Business Development Manager
SDFS Smarte Demonstrationsfabrik Siegen GmbH	Projektleiter
Bareways GmbH	Geschäftsführer
db electronic GmbH	Vertrieb Süd
AE Driven Solutions GmbH	Geschäftsführer
Velocity Moility	Geschäftsführer
Mercedes-AMG GmbH	Junior Projektmanager
CQC Aviation GmbH	Geschäftsführer
CiS electronic GmbH	Leiter Marketing & Innovation
PEM der RWTH Aachen University	Gruppenleiter
BMW Group	PO Machine Learning
QLab Think Tank GmbH	Junior Coach
Continental	Manager Innovation
Toyota Motor Europe	Direktor
Datenraum Mobilität GmbH	Manager for Standards
DB AG	Junior Manager
BMW Group	Projektingenieurin
Audi AG	Technische Entwicklung
Audi AG	Ingenieurin
Audi AG	Teamleiter
GEOSat GmbH	Geschäftsführer
KINTO Deutschland GmbH	Product Owner
IVU Traffic Technologies AG	Geschäftsfeldleiter
Tesla	Ingenieur



# Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr sowie in den Querschnittsbereichen Sicherheit und Digitalisierung. Die im DLR angesiedelte Deutsche Raumfahrtagentur setzt die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung um. Mit ihren mehr als 300 Mitarbeitenden in Bonn integriert die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR die deutschen Raumfahrtaktivitäten auf nationaler und europäischer Ebene und vertritt im Auftrag der Bundesregierung die deutschen Raumfahrtinteressen weltweit. Zu ihren Aufgaben gehören insbesondere die Konzeption und Umsetzung des nationalen Raumfahrtprogramms sowie die Steuerung der deutschen Beiträge für die Europäische Weltraumorganisation ESA und im Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe der Europäischen Kommission. Zudem arbeitet die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR eng mit der EU-Raumfahrtprogrammagentur EUSPA (European Union Agency for the Space Programme) und der Europäischen Organisation zur Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT) zusammen.

## Impressum

### **Herausgeber:**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Deutsche Raumfahrtagentur im DLR  
Königswinterer Straße 522-524 | 53227 Bonn  
Telefon: +49 228 447-0  
Internet: DLR.de/de/ar/  
Dr. Michael Brockamp  
Innovation und Neue Märkte  
E-Mail: michael.brockamp@dlr.de  
Dr. Youngkyu Kim  
Innovation und Neue Märkte  
E-Mail: youngkyu.kim@dlr.de

### **Durchführung:**

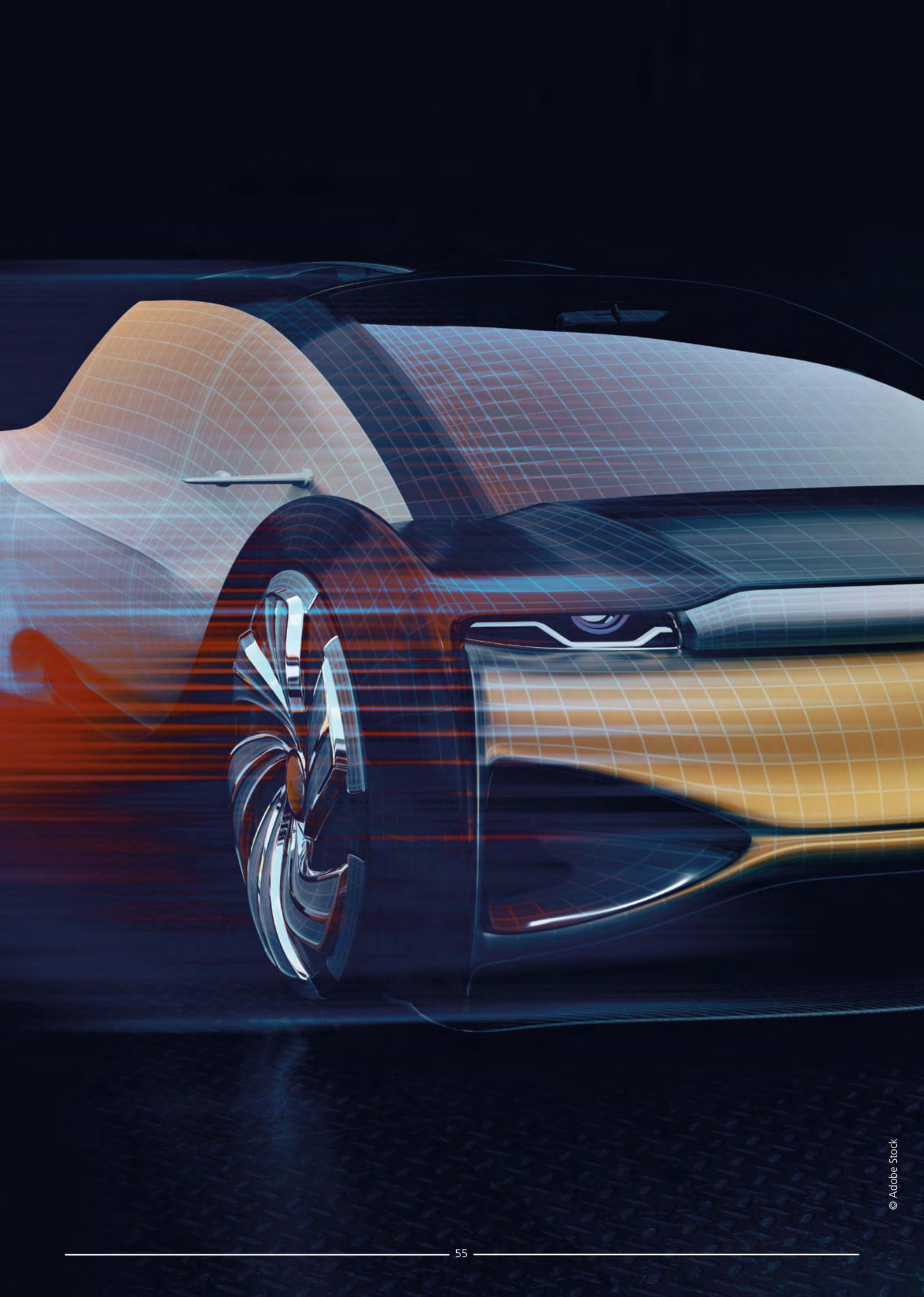
EurA AG Niederlassung Aachen  
Dennewartstraße 25-27 | 52068 Aachen  
Telefon: +49 241 963-1212  
Internet: www.eura-ag.com | E-Mail: info@aura-ag.de

### **Gestaltung:**

CD Werbeagentur GmbH  
Burgstraße 17 | 53842 Troisdorf  
Telefon: +49 2241 39 79-0  
Internet: www.cdonline.de

### **Druck:**

network2print GmbH  
Bohnenkampsweg 29 | 51371 Leverkusen  
Telefon: +49 214 74 09 77 85  
Internet: www.network2print.de



Diese Untersuchung wurde im Auftrag der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR erstellt:  
**EurA AG – Niederlassung Aachen**

Stand August 2024

