



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Entwicklung eines integrierten Frameworks für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

**Univ.-Lektor Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Jürgen Bischoff**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Stephan A. Rollmann**

00928160

Rolandstrasse 68

53179 Bonn, Deutschland

Bonn, im Oktober 2019

---

Stephan A. Rollmann



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Bonn, im Oktober 2019

---

Stephan A. Rollmann

## Kurzfassung

Die aktuelle Entwicklungsstufe der Industrialisierung, die *Industrie 4.0*, verspricht kommunizierende und intelligente Maschinen, zusätzliche Produktions- und Leistungspotenziale sowie gänzlich neue Geschäftsmodelle. Für die Industrie 4.0 ist es notwendig, dass Maschinen und Anlagen mit Sensoren sowie Hard- und Softwarekomponenten ausgestattet sind. Bei vielen Neuanlagen gehören diese Technologiekomponenten mittlerweile zum Ausstattungsstandard. Die Lebenszyklen der Bestandsanlagen im Maschinen- und Anlagenbau von bis zu 30 Jahren stehen Neuinvestitionen jedoch häufig im Wege. Die Nachrüstung von aktuellen Technologien, welche auch als *Retrofit* bekannt ist, bietet hier die Chance bestehende Maschinenparks mit überschaubaren Investitionen zukunftsfähig zu machen. So können global viele Millionen Bestandsanlagen erfolgreich digitalisiert werden und deren Betreiber an den Chancen zukünftiger Industrie 4.0-Konzepte partizipieren. Jedoch sind Retrofits und die Chancen von Retrofits für den Maschinen- und Anlagenbau bisher kaum erforscht.

Es mangelt sowohl an konzeptionellen Modellen als auch an praxisnahen Bewertungskonzepten zur Entwicklung, Auswahl und Integration von Retrofit-Lösungen. Daher wird in der vorliegenden Arbeit ein erstes konzeptionelles Framework entwickelt und vorgestellt, welches die Strategie-, Geschäftsmodell- und Anforderungskomponenten von Retrofit-Lösungen integriert abbildet. Die Entwicklung des Frameworks erfolgt durch Kombination, Weiterentwicklung und Anpassung etablierter Modelle aus der Wissenschaft.

Moderne Forschungsansätze zu *Product-Service-Systems* (PSS) und *Servitisation-Konzepten* sowie die Transformation von transaktionsfokussierten Geschäftsmodellen zu *X-as-a-Service*-Modellen versprechen den industriellen Branchen nicht nur Differenzierungsmerkmale zum Wettbewerb, sondern auch höhere Gewinnmargen und eine geringe Konjunkturanfälligkeit. In der Arbeit wird daher ein besonderer Fokus auf den Bereich der datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodelle im Retrofit-Kontext gelegt, da diese Konzepte Unternehmen ein besonders hohes Potenzial bieten.

Das hier vorgestellte integrierte Framework kann nicht nur industrieübergreifend Verantwortliche bei Retrofit-Projekten in der Praxis unterstützen, sondern auch als Ausgangsbasis für zukünftige Forschungsvorhaben im Bereich Retrofit dienen.

## Abstract

The current development stage of industrialization, *Industry 4.0*, promises communicating and intelligent machinery, additional production and performance potentials as well as entirely new business models. To enable Industry 4.0, it is necessary to equip machinery and equipment with sensors as well as hardware and software components. These technology components are already the norm for new systems. Life cycles of the existing machinery and equipment can range up to 30 years and thus hinder investments in new, replacing assets. Upgrading the existing machinery and equipment with new technologies, which is also known as *Retrofit*, offers the chance to make existing machinery pools fit for the future through manageable investments. This approach allows the successful digitalization of millions of existing machines and allows its operators to participate in the opportunities of future Industry 4.0 concepts. However, Retrofits and its opportunities for the machinery and equipment industry are barely explored.

Currently, there is a lack of conceptual models and practical valuation concepts to develop, select and integrate retrofit solutions. Therefore, a novel conceptual framework, which depicts the strategy, business model and requirement components in an integrated way, will be developed and presented in this work. The framework is developed by combining, enhancing and adapting established scientific models.

Modern research approaches to *Product-Service-Systems (PSS)* and *Servitization concepts* as well as the transformation from transaction-focused business models to *X-as-a-Service* models promise not only differentiating features compared to competitors for industrial industries, but also higher profit margins and a low cyclical vulnerability. Thus, this work focuses explicitly on the area of data-based and -supported business models within the retrofit context, since these concepts offer a particularly high potential to companies.

The presented integrated framework is not only able to support responsible managers with their retrofit projects across all industries in practice, but can also be used as a starting point for future research in the retrofit area.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Allgemeine Einleitung zu Industrie 4.0.....	1
1.2	Ausgangslage und Problemstellung .....	3
1.3	Zielsetzung und Limitierungen .....	4
1.4	Aufbau der Arbeit.....	6
2	Methodik der systematischen Literaturrecherche .....	8
2.1	Einführung in die systematische Literaturrecherche.....	8
2.2	Vorgehensweise bei der systematischen Literaturrecherche .....	10
3	Literaturrecherche .....	16
3.1	Literaturrecherche zu Retrofits .....	16
3.2	Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche.....	18
3.2.1	Definition und Beschreibung von Industrie 4.0 .....	18
3.2.2	Definition und Beschreibung von Greenfield und Brownfield .....	28
3.2.3	Definition und Beschreibung von Retrofit .....	28
3.2.3.1	Entwicklung von Retrofit Lösungen.....	36
3.2.3.2	Anwendungsbereiche von Retrofit Lösungen .....	37
3.2.3.3	Ablauf eines Retrofits .....	38
3.2.4	Standards und Referenzmodelle .....	39
3.2.5	Definition und Beschreibung eines Geschäftsmodells .....	44
3.2.6	Definition und Beschreibung von datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodellen im Industrie 4.0 Kontext.....	46
3.2.6.1	Cloud-basierte Geschäftsmodelle .....	52
3.2.6.2	Service-orientierte Geschäftsmodelle .....	52
3.2.6.3	Prozess-orientierte Geschäftsmodelle .....	68
3.2.6.4	Folgen und Auswirkungen der Geschäftsmodellveränderungen .....	68
3.2.6.5	Reifegradmodelle der datenbasierten Geschäftsmodelle .....	70
3.2.6.6	Herausforderungen bei der Transformation .....	72
3.2.6.7	Grenzen der Geschäftsmodelluntersuchungen .....	74
3.2.7	Neue Geschäftsmodelle durch Retrofits.....	75
4	Systematische Entwicklung eines integrierten Frameworks .....	76
4.1	Abgrenzung der Ziele und Absichten.....	82

4.2	Entwicklung der Strukturierungsmethodik .....	84
4.3	Klassifizierung der Komponenten .....	84
4.3.1	Klassifizierung der Einsatzbereiche .....	84
4.3.2	Technologieklassifizierung: Hardware.....	85
4.3.3	Technologieklassifizierung: Software .....	86
4.3.4	Klassifizierung der Sicherheits- und Datenschutzmerkmale .....	88
4.3.5	Klassifizierung der Integrierbarkeit .....	89
4.3.6	Klassifizierung von Training und Support.....	90
4.3.7	Klassifizierung der Geschäftsmodelle .....	91
5	Integriertes Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen .....	93
5.1	Konzeption des Frameworks .....	93
5.2	Bewertungsmatrix des Frameworks .....	97
5.3	Exemplarische Anwendung des Frameworks.....	108
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	115
6.1	Diskussion der entwickelten Modelle.....	116
6.2	Einschränkungen der Ansätze und Modelle .....	117
6.3	Weiterentwicklungen und zukünftige Forschung .....	118
7	Anhang.....	120
7.1	Verwendete Suchbegriffe in der Literaturrecherche .....	120
7.2	Dokumentation der Literaturrecherche .....	121
7.2.1	Dokumentation der Literaturrecherche in Google Scholar .....	121
7.2.2	Dokumentation der Literaturrecherche in ScienceDirect.....	122
7.2.3	Dokumentation der Literaturrecherche in CatalogPlus.....	123
8	Literaturverzeichnis .....	124
9	Abbildungsverzeichnis .....	143
10	Tabellenverzeichnis .....	145
11	Abkürzungsverzeichnis .....	146

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeine Einleitung zu Industrie 4.0

Der Einsatz von Maschinen und Anlagen steht heute sinnbildlich für den industriellen Wirtschaftszweig. Dort wo im vergangenen Jahrhundert für die Bearbeitung von einzelnen Bauteilen und ganzen Produkten noch die menschliche Arbeitskraft gefragt war, stehen nach den Epochen der Industrialisierung und der darauffolgenden Automatisierung heute hochspezialisierte Maschinen. Sie sind standardisiert und universell einsetzbar oder werden für individuelle Prozesse eines Kunden entwickelt. Sie sind leistungsstark, verfügen über komplexe Konfigurationsmöglichkeiten und können einzeln oder im Verbund überwacht werden. Sie werden global eingesetzt, stellen häufig eine signifikante Investition für ihre Betreiber dar und ihre Lebensdauer beträgt bis zu 30 Jahre. Aktuelle Innovationen und moderne Technologien finden wegen der langen Lebensdauer und hohen Investitionssummen daher meist nur sehr verzögert ihren Weg in die Praxis. Eine mögliche Abhilfe stellt die nachträgliche Aufrüstung bestehender Maschinen zur Erlangung zusätzlicher Fähigkeiten und Funktionen dar. Dieses Thema ist aktuell für viele Hersteller und Betreiber von hoher Relevanz, da die Industrie sich aktuell im Umbruch in die nächste Evolutionsstufe der Industrialisierung befindet.

Der Begriff *Industrie 4.0* beschreibt diese nächste, vierte Evolutionsstufe der Industrialisierung und wurde im Zusammenhang mit der Hannover Messe 2011 geprägt.<sup>1</sup> Der Beginn dieser Evolutionsstufe wird technologisch durch den vermehrten Einsatz von cyber-physischen Systemen (CPS) geprägt.<sup>2</sup> Im Zuge dieses technologischen Evolutionsschritts wird eine zunehmende Vermischung und Überschneidung von Produktions- und Automatisierungstechnologien industrieller Maschinen und Anlagen mit Sensoren, Kommunikationsfähigkeiten der Informationstechnologien und Cloud-Funktionen erwartet.<sup>3</sup> Die Integration sogenannter *Cyber Physical Systems* (CPS) in Produktion- und Logistikprozesse dient dabei als Grundlage für die Anwendungen des Internets der Dinge und Dienste im industriellen Umfeld.<sup>4 5</sup>

Eines der erklärten Ziele von Industrie 4.0 ist die Schaffung eines digitalen Abbildes der physischen Fabrik und ihrer Maschinen. Diese digitalen Abbilder werden als digitaler Zwilling (*Digital Twin*)<sup>6</sup> bezeichnet. Die Vernetzung und kontinuierliche

<sup>1</sup> Kagermann; Lukas; Wahlster (2011)

<sup>2</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013a), S. 13f.

<sup>3</sup> World Economic Forum; A.T. Kearney (2017), S. 9

<sup>4</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013b), S. 18

<sup>5</sup> Baheti; Gill (2011), S. 1f.

<sup>6</sup> Weyrich (2018)

Synchronisierung der Objekte der physischen Realität mit ihren digitalen Abbildern verspricht eine höhere Prozesstransparenz und zukünftige Optimierungspotenziale. Dabei werden Speicher- und Kommunikationsfähigkeiten, Sensoren, Aktuatoren und Softwarekomponenten eingesetzt und bieten nicht nur technische und logistische Optimierungspotenziale, sondern auch verbesserte und standortunabhängige Überwachungsmöglichkeiten von Maschinen und Anlagen sowie gänzlich neue Geschäftsmodelle.<sup>7 8</sup>

Das Anwendungsspektrum der in der Produktion eingesetzten CPS reicht von intelligenten Maschinen und Anlagen bis zu vernetzten Logistikkomponenten und Betriebsmitteln, die für eine digitale Nutzung konzipiert wurden und entlang des Wertstroms durchgängig mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) verzahnt sind.<sup>9</sup> In diesem Zusammenhang wird auch von der *Smart Factory* gesprochen. Damit wird die Fabrik der Zukunft beschrieben, die sich durch eine reduzierte Störanfälligkeit und eine gleichzeitig gesteigerte Effizienz in der Produktion auszeichnet, da Menschen, Maschinen und Ressourcen kontinuierlich miteinander kommunizieren.<sup>10</sup> Grundlage dafür sind eine vollständige, horizontale und vertikale Integration der Systeme, Prozesse und Informationsflüsse.<sup>11</sup>

Industrie 4.0 ist seit der Einführung des Begriffs zum Oberbegriff eines Wandels geworden, der sich nicht nur auf die Integration neuer Technologien in Produktionsprozesse bezieht, sondern auch veränderte oder sogar gänzlich neue Geschäftsmodelle auf Basis der digitalisierten Güter und Prozesse umfasst. Ein in der Literatur und Praxis häufig zitiertes Beispiel für digital-unterstützte Geschäftsmodellinnovationen ist *X-as-a-Service* sowie der dazu korrespondierende Forschungsbereich *Servitisation* bzw. *Product-Service Systems (PSS)*.<sup>12 13 14 15 16 17</sup>  
<sup>18</sup> Diese und vergleichbare Konzepte sind erste Schritte hin zu neuartigen Geschäftsmodellen, die etablierte Umsatz- und Ertragsquellen, Eigentumsverhältnisse und den Transaktionsprozess eines physischen Produktverkaufs in Frage stellen und Alternativen aufzeigen.<sup>19</sup> Diese neuen Ansätze zu Geschäftsmodellen im Industriesektor werden durch den fortschreitenden Wandel der Angebotsarten im Privatkonsumentenbereich beschleunigt. Die Konsumenten

<sup>7</sup> Lee; Bagheri; Kao (2015), S. 19ff.

<sup>8</sup> Kagermann; Lukas; Wahlster (2011)

<sup>9</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013b), S. 18

<sup>10</sup> am angegebenen Ort (a.a.O.), S. 23

<sup>11</sup> ebenda (ebd.)

<sup>12</sup> Baines; Lightfoot; Evans; u. a. (2007)

<sup>13</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 14f.

<sup>14</sup> Vandermerwe; Rada (1988)

<sup>15</sup> Cedeño; Papinniemi; Hannola; u. a. (2018)

<sup>16</sup> Kohtamäki; Helo (2015)

<sup>17</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 36f.

<sup>18</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 41

<sup>19</sup> Adrodegari; Alghisi; Ardolino; u. a. (2015)



erhalten z.B. Angebote bei denen sie nur noch eine abgerufene Leistung oder ein Prozessergebnis vergüten, sich mit dem Kauf und der Instandhaltung der dazugehörigen Maschine jedoch nicht mehr befassen müssen.<sup>20</sup> Die englischsprachige Wochenzeitung *The Economist* (2015)<sup>21</sup> stellte fest, dass industrielle Produzenten sich in ihrem Angebot an den Service-orientierten Geschäftsmodellen der Informationstechnologie-Firmen (IT-Firmen) werden orientieren müssen, um auch in Zukunft erfolgreich zu sein.

Länder, deren wirtschaftliche Leistung maßgeblich von den Fähigkeiten, Kapazitäten und der Expertise des Maschinen- und Anlagenbaus abhängt, werden bei der anstehenden vierten industriellen Revolution eine aktive und gestaltende Rolle spielen müssen, um auch weiterhin den Bestand und Erfolg ihrer Wirtschaft sichern zu können.<sup>22</sup>

## 1.2 Ausgangslage und Problemstellung

Mit dem Begriff Industrie 4.0 werden heute vielzählige Innovationen verschiedener Bereiche im industriellen Umfeld beschrieben. Ein Bereich stellt die Datenerfassung und -verarbeitung durch CPS in industriellen Anwendungen dar. Zu Beginn des Industrie 4.0-Trends lag der Fokus des Bereichs der Datenerfassung und -verarbeitung auf der werksseitigen Ausrüstung von Neuanlagen mit Hard- und Software, um digitale Schnittstellen und zusätzliche Fähigkeiten zu ermöglichen. Da im Maschinen- und Anlagenbau Maschinen-Lebenszyklen von bis zu 30 Jahren Neuinvestitionen häufig im Wege stehen, haben viele bestehende und auch neue Anbieter im Markt nun den Fokus auf die Vernetzung bestehender Anlagen gelenkt. Alleine in Deutschland gilt es laut Schätzungen des deutschen Industrieunternehmens Bosch Rexroth AG (2016)<sup>23</sup> mehrere zehn Millionen Bestandsanlagen ohne Industrie 4.0-Anbindung für eine vernetzte Fertigung um-/aufzurüsten (sog. *Retrofits*). Dafür entsteht ein zunehmend wachsendes Angebot an sogenannten Retrofit-Kits, welche eine nachträgliche Vernetzung von Bestandsanlagen ermöglicht. Anbieter dieser Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen sind dabei internationale Automatisierungsspezialisten, Forschungseinrichtungen, mittelständische Industrieunternehmen und Start-Ups.

Aktuelle, nationale und internationale wissenschaftliche Publikationen legen die vielfältigen Herausforderungen der Anwender bei der Nutzung und Implementierung von Industrie 4.0 in der Praxis dar. Das Spektrum reicht dabei von technischen

---

<sup>20</sup> vergleiche (vgl.) Hui (2014)

<sup>21</sup> *Economist* (2015)

<sup>22</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013b), S. 24

<sup>23</sup> Robert Bosch GmbH (2016)

Herausforderungen bei der Auswahl und Nutzung der „richtigen“ Kommunikationsprotokolle bis hin zu juristischen Fragestellungen der Eigentümerschaft, der in den eigenen Fabrikhallen erhobenen und im Anschluss in einer Cloud gespeicherten Daten.

Es mangelt in der Wissenschaft und Praxis bisher an konzeptionellen Werkzeugen, welche die Elemente der Unternehmensstrategie mit Retrofit-Lösungen und Geschäftsmodellen in integrierter Form verbinden, das Konstrukt und seine Komponenten visualisieren und strukturierte Bewertungsmöglichkeiten für Retrofit-Lösungen anbieten.

### 1.3 Zielsetzung und Limitierungen

Immer da wo Ressourcen und Prozesse interdisziplinär agieren, ist mit einer erhöhten Komplexität des Vorhabens zu rechnen. Wenn zusätzlich noch neue und unerprobte Konzepte und Technologien beteiligt sind, kann die Komplexität zusätzlich ansteigen. Auf Projekte rund um die Industrie 4.0 trifft all dies zu. Insbesondere ist dies bei Projekten zu Industrie 4.0-Nachrüstoptionen für Bestandsanlagen (sog. *Retrofits*) festzustellen. Die erfolgreiche Umsetzung solch komplexer Vorhaben kann jedoch durch den Einsatz entsprechender Modelle und Methoden planvoll vorbereitet und damit abgesichert werden.

Bei Retrofit-Projekten steht der Anwender vor der Herausforderung auf Basis seiner bestehenden Ressourcen neue Strategien und datenbasierte und -unterstützte Geschäftsmodelle zu entwickeln und gleichzeitig eine Vielzahl komplexer technischer und operativer Herausforderungen zu meistern. Bei dieser Aufgabe können ihn eine strukturierte Herangehensweise, ein systematischer Leitfaden zur Konzeption und Umsetzung des individuellen Projekts sowie die Erfahrungen erfolgreich realisierter Vorhaben unterstützen. Die beiden erstgenannten Unterstützungen können in Form von konzeptionellen Modellen oder Methoden abgebildet werden. Dabei stellt ein Framework eine der möglichen Methodenformen dar.

Einige Aspekte, die ein Framework als Methodenform in dem Kontext der Retrofit-Projekte auszeichnen, sind:

1. Frameworks können von der Analyse bis zur tatsächlichen Umsetzung des Vorhabens methodische Richtschnur und praktisch unterstützendes Hilfsmittel zugleich sein. Entsprechend gestaltete Frameworks können somit als strukturierter Leitfaden entlang des gesamten Lebenszyklus eines Projekts dienen und somit die erfolgreiche Umsetzung des Projekts absichern.

2. Frameworks ermöglichen die Visualisierung der Zusammenhänge der einzelnen Bausteine und Elemente. Sie helfen dem Anwender die Übersicht zu bewahren und erleichtern somit auch dessen Projektmanagement.
3. Die Applikation eines Frameworks in der Praxis verspricht: strukturiertes Vorgehen, schnelles Verständnis für die Zusammenhänge, zeitsparende Einarbeitung und einfache und universale Anwendbarkeit.
4. Insbesondere für Anwender aus der Praxis, die das erste Mal vor der Aufgabe stehen, tiefgreifende Veränderungen umzusetzen, die die Strategie und den operativen Betrieb gleichermaßen beeinflussen, gilt es zahlreiche Hürden entlang des Projekts zu überwinden. Hier kann ein strukturiertes Framework auch in überschaubarem Maß Substitut fehlender Erfahrung sein.
5. Frameworks können trotz ihrer theoretischen Natur als Ausgangsbasis zur Ableitung konkreter projektbezogener Maßnahmen dienen.
6. Frameworks sind für Erstanwender und für Daueranwender gleichermaßen nutzbar und hilfreich.

Ein Framework kann die anwendenden Entscheidungsträger bei der Analyse, der Konzeption, der Auswahl und der operativen Umsetzung technologiebasierter Geschäftsmodelle und Strategien, die auf dem Retrofit der bestehender Maschinen und Anlagen basieren, unterstützen. Dabei kann das Framework sowohl als konzeptionelles Mittel als auch als begleitende Unterstützung bei der Realisierung des konkreten Projekts dienen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist somit die Entwicklung eines konzeptionellen Frameworks, welches die Zusammenhänge von Elementen der Unternehmensstrategie, möglicher Geschäftsmodelle und konkreter Anforderungen bei Retrofits aufzeigt. Darüber hinaus wird eine Bewertungskomponente für diese Retrofit-Lösungen an Hand von Anforderungsmerkmalen entwickelt. Ergänzend dient ein strukturierter Überblick der in der Wissenschaft publizierten datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodelle als Ausgangsbasis für zukünftige Geschäftsmodellkonzepte im Zusammenhang mit Retrofit. Die dadurch entstehende Klassifizierung beschränkt sich nicht nur auf die Eigenschaften und Merkmale, sondern ermöglicht auch einen Ausblick auf die betriebswirtschaftlichen Entwicklungspotenziale durch Geschäftsmodellveränderungen.

Das Framework ergänzt somit den aktuellen Stand der Forschung um eine integrierte Betrachtungsweise von Retrofit-Lösungen und kann gleichzeitig als universelles Werkzeug für den Industrieanwender bei anstehenden Retrofit-Projekten genutzt werden.

Bei der Entwicklung des Frameworks werden angesichts der Vielzahl der industriespezifischen Einsatzmöglichkeiten die einzelnen Komponenten nach besten Möglichkeiten so generisch wie möglich gehalten. Auch hinsichtlich der Aktualität des

Themas, der Innovationsgeschwindigkeit der Informations- und Kommunikations-technologie-Branchen und der länderübergreifenden Relevanz für die produzierenden Branchen, wird das Framework lediglich als Grundlage für die jeweils fallbezogene Applikation dienen können.

Die bewusst offen gehaltene Struktur erlaubt eine branchen-, länder- und maschinenbezogene Anpassung bzw. Weiterentwicklung des Frameworks in Wissenschaft und Praxis.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit besteht aus drei aufeinander aufbauenden Teilen. Im ersten Teil erfolgt die Ausarbeitung der Zielsetzung sowie die Erarbeitung einer theoretischen Systematik zur Erlangung des aktuellen Sachkenntnisstands auf dem zu bearbeitenden Gebiet. Darauf basierend wird die Systematik angewandt und die inhaltlichen Ergebnisse werden strukturiert. Im zweiten Teil werden die Bausteine des Frameworks durch Klassifizierung und übergreifende Gruppierung entwickelt. Darauf aufbauend werden das Framework und die Bewertungskomponenten im dritten Teil abgeleitet. Die detaillierte Vorgehensweise kann auch dem nachfolgenden Schaubild (Abbildung 1) entnommen werden.

Im Folgenden werden die detaillierten Elemente der drei Teile beschrieben. Im ersten Teil wird die Zielsetzung festgelegt und mit der Abgrenzung des Themas begonnen. Zur Erlangung des aktuellen Sachkenntnisstands wird die systematische Literaturrecherche und -analyse gewählt. Die dort festgelegten Gebiete bilden dann die Basis für die Recherchetätigkeit zum Auffinden von qualitativ hochwertigen Quellen aus Wissenschaft und Praxis. Die somit ermittelten Quellen dienen darüber hinaus durch die in ihnen verwendeten Verweise und Zitate wiederum als Ausgangsbasis für weitere Quellen. Diese Verweis- und Zitatanalyse findet im Anschluss an die Primärrecherche statt. Nach der Beschaffung der Quellen werden diese bearbeitet und ausgewertet. Die Erkenntnisse werden in inhaltlich zusammenhängenden Themenblöcken zusammengefasst. Im zweiten Teil folgt eine Klassifizierung der inhaltlichen Gebiete sowie die Strukturierung und daraus folgende Gruppierung der Themenblöcke für das Framework. Diese werden im dritten Teil zur Erstellung, respektive zur Ableitung des Frameworks eingesetzt. Das Framework wird dann aus den zuvor ermittelten Hauptblöcken zusammengesetzt und visualisiert.

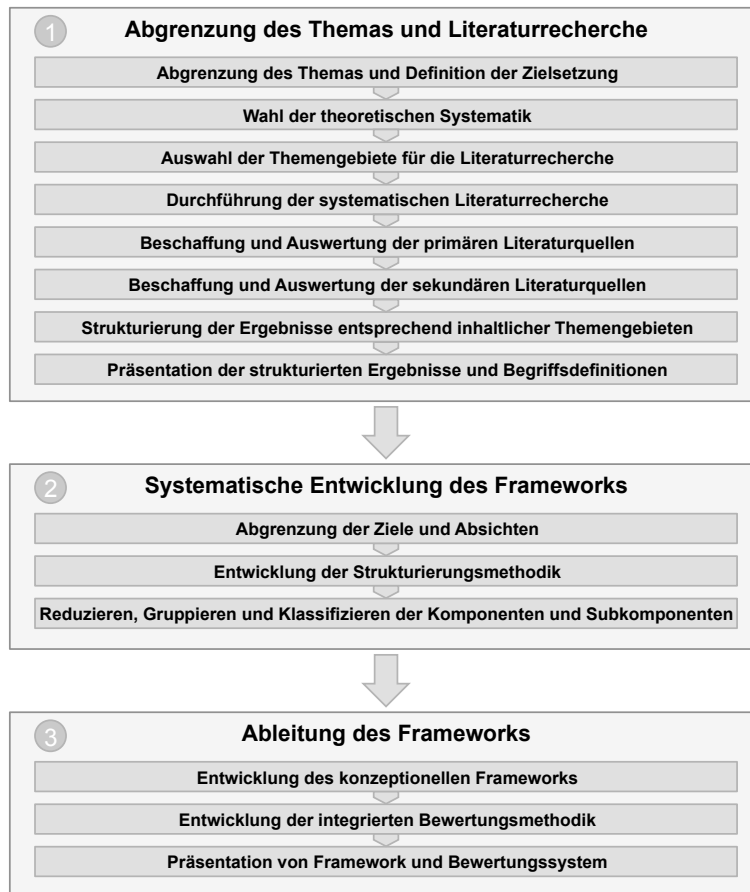


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise

## 2 Methodik der systematischen Literaturrecherche

Die Erarbeitung eines Forschungsvorhabens setzt eine vorherige, sorgfältige und fundierte Analyse der relevanten bestehenden Literatur voraus. Dazu ist zunächst eine umfangreiche und vollständige Sammlung der Beiträge des Themengebiets zusammen zu stellen. Diese wird die Ausgangsbasis für die darauf aufbauende Entwicklung von Folgerungen sein.

Zur Realisierung dieser systematischen Literaturrecherche ist zunächst eine schlüssige und robuste Methodik zu erarbeiten. Die folgenden Unterkapitel setzen sich mit der Entwicklung dieser Methodik auseinander und beschreiben die theoretische und operative Vorgehensweise der Recherche. Dabei steht die Beantwortung dreier Fragen im Vordergrund:

- Wie ist die systematische Literaturrecherche definiert?
- Wie gestaltet sich der Ablauf einer systematischen Literaturrecherche?
- Wie sehen die dokumentarischen Voraussetzungen bei einer systematischen Literaturrecherche aus?

### 2.1 Einführung in die systematische Literaturrecherche

Der Zweck einer Literaturrecherche besteht darin dem Leser eine Übersicht und Abschätzung des bestehenden *intellectual territory* zu ermöglichen sowie eine Forschungsfrage zu erarbeiten, die den bestehenden Stand der Wissenschaft weiterentwickelt.<sup>24</sup> Nach Hart (1998)<sup>25</sup> ist der Literaturüberblick definiert durch: „*The selection of available documents (both published and unpublished) on the topic, which contain information, ideas, data and evidence written from a particular standpoint to fulfill certain aims or express certain views on the nature of the topic and how it is to be investigated, and the effective evaluation of these documents in relation to the research being proposed*“. Fink (2005)<sup>26</sup> fasst die Definition einer subjektiven Übersicht mit den Eigenschaften, „*systematic, explicit, comprehensive, and reproducible*“ zusammen. Ergänzend beschreiben Moher et al. (2009)<sup>27</sup> sowie Higgins und Green (2006)<sup>28</sup>, dass ein systematischer Überblick sich durch eine klar formulierte Frage sowie eine systematische und eindeutige Methode zur

<sup>24</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 208

<sup>25</sup> Hart (1998), S. 13

<sup>26</sup> Fink (2005), S. 17

<sup>27</sup> Moher; Liberati; Tetzlaff; u. a. (2009), S. 264

<sup>28</sup> Higgins; Green (2006)

Identifizierung, Auswahl und kritischen Beurteilung von relevanten Forschungsergebnissen auszeichnet. Die Voraussetzung einer schlüssigen und nachvollziehbaren Literaturrecherche ist ihr systematischer Ansatz und die konsequente Einhaltung des zuvor definierten Ablaufs. Um der möglichen Voreingenommenheit bzw. verzerrten Wahrnehmung (im Englischen, abgekürzt: engl.: „Bias“) des Forschers entgegenzuwirken, werden Prinzipien aus der Methode der systematischen Literaturrecherche übernommen. Diese Methode wird in den medizinischen Wissenschaften genutzt und wurde von anderen Wissenschaften übernommen. Sie beinhaltet zum Beispiel (z.B.) die explizite Kennzeichnung von Werten und Annahmen.<sup>29</sup>

Beispielhaft seien im Folgenden drei verschiedene Formen von möglichen Biases vorgestellt:

- Retrievalbias<sup>30 31</sup>:  
In Datenbanken vorhanden, Beitrag jedoch nicht aufgefunden
- Publikationsbias<sup>32</sup>:  
Forschungsergebnisse werden nicht publiziert, da sie nicht die gewünschten Ergebnisse bestätigt haben
- Selektionsbias<sup>33</sup>:  
Selektive Literatúrauswahl bzw. bewusstes Außerachtlassen ganzer Beiträge
- Sprach- und geographischer Bias<sup>34</sup>:  
Präferenz bezüglich der Indexierung einzelner Sprachräume, oder fehlende Indizierung von Beiträgen aus Entwicklungs- und Schwellenländern

Die Anwendung eines systematischen anstelle eines narrativen Ansatzes ermöglicht Fehler sowie individuellen Bias zu reduzieren.<sup>35</sup> Nach Ginsberg & Venkatraman (1985)<sup>36</sup> ist das analytische Schema einer Literaturübersicht notwendig, um systematisch Muster in einem weiten Fundus an Studien zu erkennen und um die wissenschaftlichen Beiträge zu einer Forschungsfrage zu beurteilen.

Jede Recherchetätigkeit lässt sich an zwei Parametern maßgeblich beeinflussen. Das sind bildlich gesprochen die Tiefe und Weite der Recherche. Die Abwägung und Gewichtung zwischen den beiden Rechereschwerpunkten Genauigkeit und Vollständigkeit der Recherche wird auch als Dilemma verstanden.<sup>37</sup> Das

<sup>29</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 208

<sup>30</sup> Motschall (2005), S. 1

<sup>31</sup> Guba (2008), S. 69

<sup>32</sup> Gechter; Nothacker; Khan; u. a. (2013), S. 7

<sup>33</sup> Guba (2008), S. 69

<sup>34</sup> Gechter; Nothacker; Khan; u. a. (2013), S. 7

<sup>35</sup> Cook; Mulrow; Haynes (1997), S. 377

<sup>36</sup> Ginsberg; Venkatraman (1985), S. 422

<sup>37</sup> Motschall (2005), S. 1

nachfolgende Schaubild (Abbildung 2) visualisiert die möglichen Schnittmengen und erleichtert das Verständnis der in diesem Zusammenhang zu definierenden Termini.

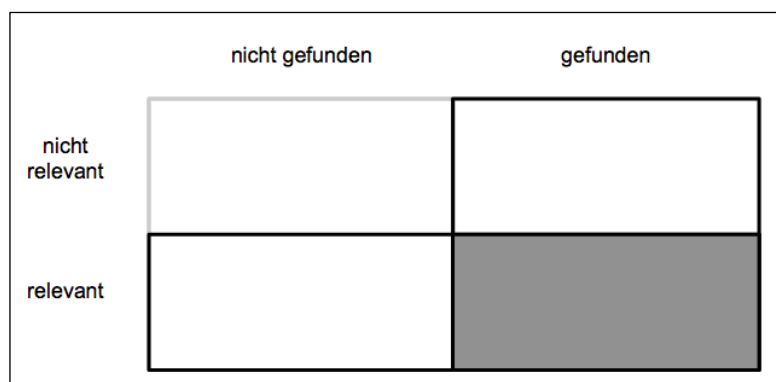


Abbildung 2: Dilemma zwischen Genauigkeit und Vollständigkeit<sup>38</sup>

Die zwei für die Schnittmenge der gefundenen, relevanten Quellen bzw. Zitate hervorzuhebenden Begriffe *Genauigkeit* und *Vollständigkeit* werden gemeinsam mit dem Begriff der *Spezifität* wie folgt definiert:<sup>39 40</sup>

- *Präzision* beschreibt die Menge der gefundenen relevanten Zitate im Verhältnis zur Gesamtheit aller gefundenen Zitate
- *Vollständigkeit (Sensitivität)* beschreibt die Menge der gefundenen relevanten Zitate im Verhältnis zur Gesamtheit der in der Datenbank vorhandenen relevanten Zitate
- *Spezifität* beschreibt die Menge der nicht gefundenen nicht relevanten Zitate im Verhältnis zur Gesamtheit aller nicht relevanten Zitate in der Datenbank

Die individuelle Gewichtung zwischen Präzision und Vollständigkeit ist auch abhängig vom jeweils verfolgten Ziel. Bei kurzfristigen Recherchen wird der Genauigkeit eine größere Bedeutung beigemessen, während bei einer systematischen Recherche die Vollständigkeit im Fokus steht.<sup>41</sup>

## 2.2 Vorgehensweise bei der systematischen Literaturrecherche

Die methodisch gründliche Vorgehensweise ist das differenzierende Merkmal einer systematischen Literaturrecherche im Vergleich zu sog. *expert reviews*, welche auf einer ad hoc Literaturselektion basieren.<sup>42</sup> Der Ablauf einer systematischen

<sup>38</sup> nach Motschall (2005), S. 1

<sup>39</sup> ebd.

<sup>40</sup> Gechter; Nothacker; Khan; u. a. (2013), S. 30

<sup>41</sup> ebd.

<sup>42</sup> Kitchenham; Pearl Brereton; Budgen; u. a. (2009), S. 8



Literaturrecherche entspricht einem zuvor detailliert festgelegten Protokoll, welches nach Tranfield et al. (2003)<sup>43</sup> aus drei Bausteinen besteht:

1. Die Planung der Recherche
2. Die Durchführung der Recherche
3. Die Berichterstattung und Verbreitung der Recherche

Diese drei Schritte wurden von Crossan und Apaydin (2010)<sup>44</sup> mit Blick auf die zu ermittelnden und auszuwertenden Daten verallgemeinernd mit 1.) Datensammlung 2.) Datenanalyse und 3.) (Daten-)Synthese beschrieben. Okolis (2015)<sup>45</sup> achtstufiger Leitfadens deckt sich inhaltlich mit den beiden beschriebenen Vorgehensweisen, unterscheidet sich jedoch in der feineren Abstufung und somit noch präziseren Erläuterung der genauen Vorgehensweise der einzelnen Schritte.

Bei der gewählten Methodik nach Tranfield et al. (2003)<sup>46</sup> beinhaltet der erste Schritt, Planung der Recherche, anders als in den medizinischen Wissenschaften eine konzeptionelle Diskussion der Forschungsfrage und eine Erklärung der Bedeutung des Problems anstelle einer bereits ausgefeilten Forschungsfrage. Da in den Managementwissenschaften die Literaturrecherchen häufig ein explorativer Prozess der Entdeckung und Entwicklung sind, ist es „inakzeptabel“ die Literaturrecherche (zu) genau zu planen.<sup>47</sup> Durch eine möglichst breit angelegte Suche werden neben der erhöhten Wahrscheinlichkeit der Auffindung aller relevanten Daten gleichzeitig auch die Effekte eines Reporting-Bias reduziert.<sup>48</sup> Ein flexiblerer Ansatz legt lediglich die Absicht des Forschers fest, kann jedoch im Laufe des Prozesses - unter der Voraussetzung der entsprechenden Protokollierung - angepasst werden.<sup>49</sup> Somit kann eine Balance zwischen einer im Vergleich zu narrativen Literaturrecherchen reduzierten Bias-Anfälligkeit und einer immer noch offenen Herangehensweise gewährleistet werden. Über die in diesem Schritt ferner zu definierenden Einbeziehungs- und Ausschlusskriterien wird bereits ein Rahmen abgesteckt, der die spätere Vorselektion der Relevanzbewertung strukturiert. Smith et al. (2011)<sup>50</sup> führen hierzu beispielsweise (bspw.) den Ausschluss aller nicht durch *randomized controlled trials*-erhobenen Studien im medizinischen Bereich an.

Im zweiten Schritt, der Durchführung der Recherche, wird durch die Identifizierung von Keywords und Suchbegriffen die Grundlage für die spätere Suche gelegt.<sup>51</sup>

<sup>43</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 214ff.

<sup>44</sup> Crossan; Apaydin (2010), S. 1156

<sup>45</sup> Okoli (2015), S. 884

<sup>46</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 215

<sup>47</sup> ebd.

<sup>48</sup> Smith; Devane; Begley; u. a. (2011), S. 2

<sup>49</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 215

<sup>50</sup> Smith; Devane; Begley; u. a. (2011), S. 3

<sup>51</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 215

Diese meist umfangreiche Sammlung an Suchwörtern wird dann auf eine Auswahl an geeigneten und relevanten Termini begrenzt.

Ein wichtiges Hilfsmittel bei der vollständigen Durchführung einer suchwörterbasierten Suche ist die Nutzung sogenannter Boolescher Operatoren. Diese dienen der kombinierenden, substituierenden oder exkludierenden Verknüpfung von Suchwörtern. Ein bekannter und auch in Internetsuchmaschinen nutzbarer sowie häufig voreingestellter Operator ist die UND-Verknüpfung (im engl. „AND“).<sup>52</sup> Die UND-Verknüpfung legt fest, dass bei der Angabe von zwei Suchworten beide Suchworte in den Ergebnissen vorhanden sein müssen. Ein weiterer Operator ist ODER (im engl. „OR“). Dieser Operator legt fest, dass bei zwei angegebenen Suchwörtern mindestens eines der beiden Suchwörter in den Ergebnissen vorhanden sein muss.<sup>53</sup> Ein exkludierender Operator ist NICHT (im engl. „NOT“). Dieser Operator schließt Suchwörter, die explizit nicht berücksichtigt werden sollen, aus.<sup>54</sup> So besteht die Möglichkeit bei einer Suche mit Suchwörtern, die verschiedenen Themenbereichen zugeordnet werden können, wie bspw. bei Homonymen, einzelne Themenbereiche durch die Angabe des Bereichsbegriffs und des NICHT-Operators auszuschließen. Dies grenzt die Ergebnisse auf die für die Fragestellung relevanten Gebiete ein und erhöht somit die Effizienz bei der Suche. Neben den drei logischen Operatoren gibt es noch sogenannte Kontext-Operatoren. Dies sind z.B. NEAR, NEXT und ADJ. Diese Operatoren werden genutzt um festzulegen, dass die verwendeten Suchwörter in einer meist frei definierbaren, räumlichen Umgebung zueinander im Text vorzukommen haben.<sup>55</sup> Ein weiteres Hilfsmittel für die Suche stellen die Trunkierungszeichen (im engl. „Truncations“ bzw. „Wildcards“) dar. Trunkierung bezeichnet die Reduktion eines Wortes auf seinen Wortstamm.<sup>56</sup> Dabei ist es möglich eine beliebige Anzahl an Zeichen am Ende eines Suchwortes wegfallen zu lassen, diese gegen ein Trunkierungszeichen (häufig wird z.B. ein „\*“ genutzt) auszutauschen und dennoch das gesamte Spektrum der möglichen Wortvariationen und Schreibweisen in den Ergebnissen wiederzufinden.<sup>57</sup> So findet „Digitalisierungs\*“ zum Beispiel Digitalisierungsstrategie, Digitalisierungsprojekt, Digitalisierungsgrad, etc.. Alternative Trunkierungszeichen sind z.B. \$, ? und #. Diese werden jedoch innerhalb des Suchworts eingesetzt bzw. an den Anfang des Suchworts gestellt; übernehmen jedoch dieselbe Funktion.<sup>58</sup> Voraussetzung bei der Nutzung dieser Trunkierungszeichen ist immer, dass die verwendete Datenbank bzw. Suchsoftware diese Operatoren und Variablen kennt und anzuwenden weiß. Dies wird mit der Retrievalsprache festgelegt. Diese besagt

<sup>52</sup> Gechter; Nothacker; Khan; u. a. (2013), S. 32

<sup>53</sup> ebd.

<sup>54</sup> ebd.

<sup>55</sup> Gechter; Nothacker; Khan; u. a. (2013), S. 33

<sup>56</sup> Läger; Sonntag; Drazek; u. a. (2010), S. 5

<sup>57</sup> Gechter; Nothacker; Khan; u. a. (2013), S. 33

<sup>58</sup> ebd.

wie in der jeweiligen Datenbank zu suchen ist. Ob Operatoren, Trunkierungszeichen, und wenn ja, welche genutzt werden können.<sup>59</sup>

Besonderes Augenmerk ist darauf zu legen, dass die Suchstrategie und -protokollierung eine Reproduzierbarkeit der Suche gewährleistet. Zur Auswahl der Quellen und Datenbanken empfehlen Tranfield et al. (2003)<sup>60</sup> nicht nur auf publizierte und in Datenbanken veröffentlichte Journals zurückzugreifen, sondern ebenso unpublizierte Studien, Konferenzberichte, Industriestudien, Internetquellen und persönliche Quellen zu berücksichtigen. Smith et al. (2011)<sup>61</sup> weisen darauf hin, dass es nicht ratsam ist Spracheinschränkungen vorzunehmen, dies jedoch angesichts der begrenzten Fremdsprachenkenntnisse und Übersetzungsressourcen notwendig sein kann. Diese Einschränkungen sind protokollarisch zu erwähnen. Tranfield et al. (2003)<sup>62</sup> schlagen vor, die gesammelten Ergebnisse in eine Liste einzutragen, welche die wichtigsten Beiträge des folgenden Überblicks beinhaltet. Für die weiteren Schritte sind nur die Beiträge zu berücksichtigen, die den zuvor festgelegten Einbeziehungskriterien entsprechen und nicht von Ausschlusskriterien betroffen sind. Diese rigide Differenzierung soll dem Anspruch gerecht werden, die Literaturrecherche auf einer Evidenz bestmöglicher Qualität basieren zu lassen. Sollte die Forschungstätigkeit von mehreren Forschern bzw. Rezensenten durchgeführt werden, empfehlen die Autoren diesen verhältnismäßig subjektiven Prozess auf mehrere Personen aufzuteilen. Die Spezifizierung und Durchführung der qualitativen Bewertung von Studien wird als signifikante Herausforderung angesehen, welche in den Managementwissenschaften meist durch die Betrachtung implizierter Qualitätsfaktoren des publizierenden Journals (bspw. ist ein Journal bzw. der Ruf des Journals „besser“ oder „schlechter“) anstelle von Einzelfallbetrachtungen der jeweiligen Artikel stattfindet.<sup>63</sup> Um menschliche Fehler und Bias zu reduzieren, schlagen die Autoren vor, Datenextraktionstechniken anzuwenden, die neben allgemeinen Daten (Autor, Titel, Jahr, etc.) auch Notizen darüber enthalten warum welche Studien ausgeschlossen wurden.<sup>64</sup> Ferner dient die Datenextraktion als Grundlage für die späteren Zusammenfassungsübersichten und die Analyse.

Der operative Ablauf des Schritts, Durchführung der Recherche, beinhaltet im Hauptprozess drei Teilschritte. Zunächst verschafft sich der Forscher einen Überblick über alle möglicherweise relevanten Zitate, die in der Suche aufgefunden wurden. Dann werden relevante Quellen abgerufen, um sie einer genaueren Prüfung des Volltexts zu unterziehen. Aus dieser Gesamtheit werden dann die Beiträge ausgewählt, die in der späteren Arbeit berücksichtigt werden. Während dieses

---

<sup>59</sup> Guba (2008), S. 69

<sup>60</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 215

<sup>61</sup> Smith; Devane; Begley; u. a. (2011), S. 3

<sup>62</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 215

<sup>63</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 216

<sup>64</sup> a.a.O., S. 217

mehrstufigen Vorgangs wird die Anzahl der ein- und ausgeschlossenen Ergebnisse dokumentiert.

Mittels des dritten Schritts, der Berichterstattung und Verbreitung der Recherche, soll der Forscher in der Lage sein einen umfänglichen, deskriptiven Bericht des untersuchten Bereichs abzugeben.<sup>65</sup> Dazu gehören spezifische Beispiele sowie ein Protokoll, welches die gezogenen Schlüsse rechtfertigt.<sup>66</sup> Zur Aufbereitung des Berichts wird ein zweistufiges Verfahren von den Autoren vorgeschlagen, welches zunächst einen vollumfänglichen und detaillierten Überblick mittels Meta-Parametern (bspw. Alter der Publikationen) und dann einen thematischen Überblick ermöglicht.<sup>67</sup>

Die Berichterstattung baut auf der zuvor erwähnten Liste zur Protokollierung der Recheredurchführung auf. Diese Dokumentation ist ausschlaggebend für die angesprochene Nachvollziehbarkeit der Recherchetätigkeit. Läser et al. (2010)<sup>68</sup> stellen fest, dass der Evidenzbasierten Medizin (EbM) eine Pionierrolle in der Dokumentation der systematischen Übersichtsarbeiten zukommt. Sie verweisen auf Booth (2006)<sup>69</sup>, der festgestellt hat, dass bisher kein einheitlicher Standard zur Protokollierung von Literaturrecherchen definiert wurde. Auf den Ergebnissen aus der Studie von Booth basierend, entwickelten Läser et al. (2010)<sup>70</sup> einen Dokumentations-Vorschlag, der aus den folgenden Angaben bzw. Meta-Daten besteht:

- Angabe der verwendeten Datenbank
- Angabe der verwendeten Suchbegriffe
- Angabe der eingesetzten Suchstrategie (z.B. Freitextsuche, Schlagwortsuche, Boolesche Operatoren)
- Angabe der gegebenenfalls gesetzten Filter (z.B. Begrenzung der betrachteten Jahrgänge, Begrenzung auf Publikationsmedien, etc.)
- Angabe der erhaltenen Trefferanzahl in der durchsuchten Datenbank

Bei der Recherche in mehr als einer Datenbank ist diese Dokumentation für jede Datenbank gesondert vorzunehmen.

Diesen Vorschlägen wird in der folgenden systematischen Literaturrecherchen Folge geleistet.

Zur besseren Veranschaulichung des zuvor beschriebenen Ablaufs dient das folgende Schaubild (Abbildung 3).

---

<sup>65</sup> a.a.O., S. 218

<sup>66</sup> ebd.

<sup>67</sup> ebd.

<sup>68</sup> Läser; Sonntag; Drazek; u. a. (2010), S. 9

<sup>69</sup> Booth (2006), S. 425

<sup>70</sup> Läser; Sonntag; Drazek; u. a. (2010), S. 11



Abbildung 3: Schematische Beschreibung der Durchführung einer systematischen Literaturrecherche (auf Basis des Konzepts von Tranfield et al. (2003))<sup>71</sup>

<sup>71</sup> Smart; Tranfield; Denyer (2003), S. 214

## 3 Literaturrecherche

### 3.1 Literaturrecherche zu Retrofits

Das Ziel der avisierten Literaturrecherche ist die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Was ist der aktuelle Forschungsstand zum Thema Retrofit im industriellen Zusammenhang zur Ermöglichung von Industrie 4.0 Konzepten für bestehende Maschinen und Anlagen.
- Welche Erkenntnisse wurden bisher beim Nachrüsten bzw. Retrofit im Kontext von Industrie 4.0 gewonnen und welche Potenziale werden für diesen Markt erwartet.
- Welche datenbasierten oder -unterstützten Geschäftsmodelle wurden im Industrie 4.0 bzw. Industrial Internet of Things (IIoT) Bereich, insbesondere für Retrofits, entwickelt und angewendet.

Zur Beantwortung der oben gestellten Fragen wird in den Datenbanken Google Scholar<sup>72</sup>, dem Gesamtkatalog der Bibliothek der Technischen Universität Wien CatalogPlus<sup>73</sup> und ScienceDirect<sup>74</sup> nach geeigneten Publikationen gesucht. Die Statistik Datenbank Statista<sup>75</sup> wurde nach einer Vorprüfung auf mögliche Einträge zum Thema „Retrofit“ auf Grund mangelnder Ergebnisse von der weiteren Recherche ausgeschlossen. Bei mangelnden Zugriffsrechten auf ausgewählte Publikationen wird in Einzelfällen auf die Suchmaschinen Google und Microsoft Bing zurückgegriffen.

Die definierten Suchbegriffe werden entsprechend eines logischen Schemas abgeleitet und umfassen dabei sowohl deutsch- als auch englischsprachige Ergebnisse. Mittels des Einsatzes von Booleschen Operatoren wurde die Konnexität zwischen der Retrofit-Thematik und dem Industrie 4.0 Themenbereich sichergestellt. Auf Grund des Leerzeichens im Begriff Industrie 4.0 wurde der Begriff zur Suche in einzelnen Fällen in Anführungszeichen gesetzt, da dieses Vorgehen der Such-Software signalisiert, dass es sich dabei um einen zusammenhängenden Begriff handelt. Um eine bessere Übersichtlichkeit und Differenzierung zwischen den einzelnen Suchvorgängen zu ermöglichen wurde auf die Nutzung des ODER (bzw. OR) Operators verzichtet. Stattdessen wurden die andernfalls mit ODER verknüpften, alternativen Suchbegriffe in mehreren dedizierten Suchvorgängen abgefragt. Die Kombination des englischen Terminus Retrofit wird sowohl mit

---

<sup>72</sup> Google Inc. (<https://scholar.google.de/>)

<sup>73</sup> Technische Universität Wien

(<https://catalogplus.tuwien.ac.at/primolibrary/libweb/action/search.do?vid=UTW>)

<sup>74</sup> Elsevier B.V. (<https://www.sciencedirect.com/>)

<sup>75</sup> Statista GmbH (<https://de.statista.com/>)

deutsch- als auch englischsprachigen Kombinationssuchbegriffen verknüpft, da der Begriff zumindest in Fachkreisen in den deutschen Sprachgebrauch eingegangen ist. Dies ist mit dem deutschen Wort Nachrüsten (bzw. Nachrüstung) ins Englische nicht geschehen, sodass von einer umgekehrten Kombination nicht Gebrauch gemacht wird. Im Zuge einer Vorprüfung über die Datenbank Google Scholar im Dezember 2018 bezüglich der Nutzung von Substantiven oder Verben für die Beschreibung der Tätigkeit des „*nachträglichen Versehens mit einem passenden zusätzlichen Gerät*“<sup>76</sup> wurde festgestellt, dass die dominierende semantische Nutzung des Substantivs sich auf Themen aus dem Bereich der Hardware-orientierten Informatik bezieht. Wohin gegen das Verb im Zusammenhang mit dem Themenbereich der industrieorientierten Nutzung verwendet wurde. Diese feine Differenzierung ist lediglich für die Suche in deutscher Sprache zu berücksichtigen und wurde auch nur dort angewendet. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass alle relevanten Ergebnisse einer substantivbasierten Suche ebenfalls in den verbbasierten Suche wiederzufinden waren.

Die verwendeten Suchterme sind der Tabelle 1 im Anhang zu entnehmen.

Angesichts der Prägung des Begriffs *Industrie 4.0* im Zusammenhang mit der Hannover Messe 2011, wurde der berücksichtigte Publikationszeitraum auf die Jahre 2010 bis 2018 eingegrenzt.<sup>77</sup> Der Begriff wurde im Jahr 2010 von Wahlster (2016)<sup>78</sup> miteingeführt und lässt somit das Schöpfungsdatum dieses Neologismus auf das Jahr 2010 eingrenzen.

Die weitere Parametrierung der Suche hinsichtlich der Anzahl der berücksichtigten Ergebnisseiten, sowie der Wahl von inkludierten oder exkludierten Medientypen und Publikationsarten ergab sich aus den datenbankeigenen Eigenschaften und Einstellungsmöglichkeiten.

Nach einer Vorprüfung wurde festgestellt, dass in der Datenbank Google Scholar die Ergebnisse ab der vierten Ergebnisseite deutlich an Relevanz verloren, sodass die Anzahl der zu berücksichtigenden Seiten auf fünf festgelegt wurde. Dies entspricht den ersten 50 Suchergebnissen pro Suchbegriff. Die gleiche Anzahl an Suchergebnissen wurde auch für die Suche in der Datenbank CatalogPlus gewählt. Für die Datenbank ScienceDirect wurden in der Vorprüfung auch über den 50. Suchbegriff hinaus noch vereinzelt relevante Suchergebnisse erzielt, sodass hier die ersten 75 Suchergebnisse (drei Seiten á 25 Suchergebnisse pro Seite) berücksichtigt wurden.

<sup>76</sup> Bibliographisches Institut GmbH (<https://www.duden.de/rechtschreibung/nachruesten>)

<sup>77</sup> Kagermann; Lukas; Wahlster (2011)

<sup>78</sup> Wahlster (2016)

Google Scholar bietet eine überschaubare Anzahl an auswählbaren Medientypen und Publikationsarten, die in der Suche berücksichtigt werden sollen. Daher wurden hier die nicht als relevant erachteten Medientypen und Publikationsarten in der Suche explizit exkludiert. In ScienceDirect und CatalogPlus ist die Auswahl der zu berücksichtigenden Medientypen und Publikationsarten deutlich umfangreicher, sodass hier als relevant erachtete Medientypen und Publikationsarten aktiv ausgewählt wurden.

Die ausgeführte Suche ergab bei Verwendung der zuvor aufgelisteten Suchbegriffe/-kombinationen die im Folgenden aufgeführten Resultate. Die in der Spalte „Anzahl der Downloads“ bezifferte Zahl entspricht dabei der Anzahl der zum jeweiligen Suchbegriff heruntergeladenen Publikationen, die nicht nur zugänglich waren, sondern auch die Vorselektion durch Analyse des Titels und Abstracts positiv passierten und noch nicht in einer der vorherigen Suchabfragen in der gleichen oder einer der zuvor befragten Datenbanken heruntergeladen wurden. Nach dem Herunterladen und den vollständigen Sichtungen der Publikationen wurde im nachfolgenden Selektionsschritt der Umfang auf die für diese Arbeit als relevant erachteten Ergebnisse reduziert.

Die vollständige Dokumentation und die Ergebnisse der Suchvorgänge in den drei Datenbanken ist den Tabellen 2, 3 und 4 im Anhang zu entnehmen.

Im Verlauf der Sichtung der heruntergeladenen Publikationen wurden in den Publikationen zitierte Quellen, sofern sie den Eindruck vermittelten von signifikanter Relevanz für das weitere Verständnis und die Analyse der Forschungsfrage zu sein, ebenfalls über die Datenbanken beschafft und anschließend gesichtet.

## 3.2 Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche

### 3.2.1 Definition und Beschreibung von Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 wurde im Zusammenhang mit der Hannover Messe 2011 als vierte Evolutionsstufe der Industrialisierung geprägt.<sup>79</sup> Bauernhansl (2017)<sup>80</sup> stellt fest, dass die ersten drei Evolutionsstufen jeweils durch die Neueinführung von Technologien definiert wurden, welche die bestehenden Produktionsabläufe und Arbeitsmethoden maßgeblich verändert haben. Detailliert beschreibt der Autor die folgenden Revolutionsschritte. Die erste industrielle Revolution (Industrie 1.0) Ende des 18. Jahrhunderts wurde angestoßen durch die Einführung der wasserkraft- und dampfgetriebenen mechanischen Fertigungen. Anfang des 20. Jahrhunderts folgte

<sup>79</sup> Kagermann; Lukas; Wahlster (2011)

<sup>80</sup> Bauernhansl (2017), S. 1–4



die zweite industrielle Revolution (Industrie 2.0) basierend auf der Einführung der elektrischen Massenproduktion und unterstützt durch die Einführung der Arbeitsteilung. Anfang der 1970er Jahre folgte mit dem Einzug der Elektronik und Informationstechnologien in die Fertigung die dritte industrielle Revolution (Industrie 3.0). Maßgeblich trug die fortschreitende Anwendung von speicherprogrammierbaren Steuerungen in den Fabrikhallen zu einer höheren Automatisierung der Fertigungs- und Logistikabläufe bei.<sup>81</sup> Der Beginn der Industrie 4.0 wird technologisch durch den (vermehrten) Einsatz von cyber-physischen Systemen (CPS) geprägt.<sup>82</sup> Der Übergang in die Industrie 4.0 wird häufig als Revolution bezeichnet, ist jedoch eher als Evolution von Technologien zu verstehen, die bereits über ein Jahrzehnt alt sind. Denn vielmals ist eine zunehmende Vermischung und Überschneidung von Produktions- und Automatisierungstechnologien mit Sensoren, Cloud-Funktionen und Kommunikationsfähigkeiten der Informationstechnologien zu beobachten.<sup>83</sup> Eine grafische Darstellung des Entwicklungspfads stellt das nachfolgende Schaubild (Abbildung 4) dar.

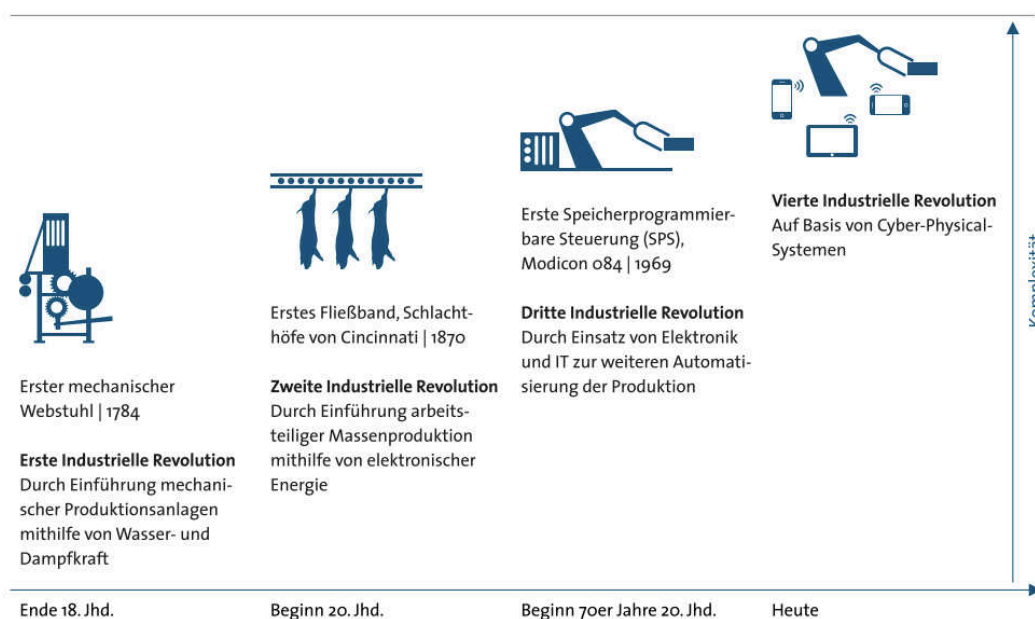


Abbildung 4: Die vier Stufen industrieller Revolutionen<sup>84</sup>

Wee et al. (2015)<sup>85</sup> definieren Industrie 4.0 spezifischer als die „*Digitalisierung der verarbeitenden Industrie*“, die sich durch die Integration eingebetteter Sensoren und CPS in alle Komponenten, Maschinen und Anlagen samt Analyse aller relevanten Daten beschreiben lässt. Bauernhansl et al. (2015)<sup>86</sup> deklinieren vernetzte, eingebettete Systeme, Cloud-Computing und die Smart Factory als „die drei

<sup>81</sup> Bauer; Schlund; Marrenbach; u. a. (2014), S. 9f.

<sup>82</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013a), S. 13f.

<sup>83</sup> World Economic Forum; A.T. Kearney (2017), S. 9

<sup>84</sup> Bauer; Schlund; Marrenbach; u. a. (2014), S. 10

<sup>85</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 7

<sup>86</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 14

*tragenden Grundpfeiler der Industrie 4.0-Technologie“*. Die Kommunikation von CPS untereinander sowie mit Menschen über große Netzwerke hinweg ist dabei Auslöser für diese industrielle Revolution.<sup>87</sup> CPS bzw. CPPS (cyber-physische Produktionssysteme) gelten als Grundlage für intelligente, vernetzte Wertschöpfungsketten in der selbststeuernden, industriellen Produktion.<sup>88</sup> Häufig wird zur Definition des übergeordneten Begriffs Cyber-Physical System in der Fachliteratur auf die Definition der *acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften* verwiesen, die festlegt:

*„CPS umfassen eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen. Cyber-Physical Systems sind offene soziotechnische Systeme und ermöglichen eine Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften.“<sup>89</sup>*

Diese Definition wird im Weiteren verwendet, da sie alle wichtigen Bausteine alternativer, im Rahmen der Literaturrecherche untersuchter Definitionen, beinhaltet. Einen grundlegenden Designentwurf samt Abgrenzung der CPS von den zuvor bereits bekannten eingebetteten Systemen über die Ergänzung der Netzwerk-/Kommunikationsfähigkeit liefert Lee (2015)<sup>90</sup>. Damm et al. (2010)<sup>91</sup> weisen zusätzlich darauf hin, dass eingebettete Systeme bereits *„vielfach in Investitionsgütern eingesetzt (werden), bei denen es auf hohe Produktivität und Verlässlichkeit ankommt“*, diese jedoch auf Grund ihrer begrenzten lokalen Rechen- und Speicherplatzkapazitäten im Anwendungsspektrum limitiert sind. Eine schematische Struktur eines CPS zum allgemeinen Verständnis der Schnittstellen liefert Mikusz (2014)<sup>92</sup> (Abbildung 5).

<sup>87</sup> Brettel; Friederichsen; Keller; u. a. (2014), S. 37

<sup>88</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Produktion und Dienstleistung - Zukunft der Arbeit (2015), S. 7

<sup>89</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013a), S. 84

<sup>90</sup> Lee (2008), S. 366

<sup>91</sup> Damm; Achatz; Beetz; u. a. (2010), S. 93

<sup>92</sup> Mikusz (2014), S. 386

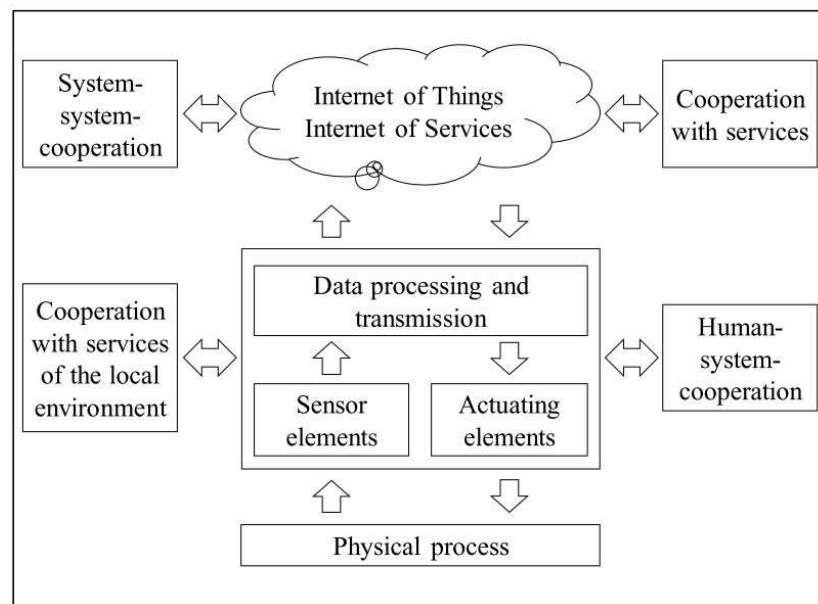


Abbildung 5: Struktur eines Cyber-Physischen Systems<sup>93</sup>

Zhong et al. (2017) prognostizieren, dass Fertigungssysteme mittels Sensorik, Vernetzung und Software im Zuge von Industrie 4.0 zu intelligenten Systemen werden.<sup>94</sup> Dabei unterscheiden sich CPS von bisherigen eingebetteten Systemen durch die vernetzten Interaktionen, welche für die Vernetzung von physischer Eingabe und Ausgabe mit digitalen Zwillingdiensten entwickelt wurden, wie z.B. Regelalgorithmen und Rechenkapazitäten.<sup>95</sup> Jedes vernetzte Objekt der physischen Realität erhält bei der Nutzung von CPS ein digitales Abbild, einen sogenannten digitalen Zwilling (*Digital Twin*).<sup>96</sup> Die heute noch häufig mangelnde Vernetzung der Anlagen und somit fehlende Synchronisierung eines digitalen Zwillings mit den Informationen seines physischen Gegenstücks, wird auch als *digital gap* bezeichnet.<sup>97</sup> Bei einem über den gesamten Lebenszyklus vollständigen Informationsfluss ist auch die Nutzung von CPS zur vollumfänglichen technischen Dokumentation der Maschinen und Anlagen vollstellbar.<sup>98</sup>

Die in diesem Kontext häufig zitierte Smart Factory bezeichnet die um digitale Informationen angereicherte physische Fabrik der Zukunft.<sup>99</sup> Diese Informationen werden über CPS erfasst, sodass die CPS das technologische Fundament für zukünftige Informationsströme bilden. Internationale Anwendungsbeispiele für Smart Factories erläutern z.B. Wiktorsson et al. (2018)<sup>100</sup>.

<sup>93</sup> ebd.

<sup>94</sup> Zhong; Xu; Klotz; u. a. (2017), S. 618

<sup>95</sup> a.a.O., S. 620

<sup>96</sup> Weyrich (2018)

<sup>97</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 28f.

<sup>98</sup> Barthelmey; Störkle; Kuhlenkötter; u. a. (2014)

<sup>99</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 15f.

<sup>100</sup> Wiktorsson; Noh; Bellgran; u. a. (2018)

Von dieser Definition abweichend werden von einigen Autoren auch andere Technologien unter den Begriff Industrie 4.0 subsummiert, wie z.B. Additive Fertigungsmethoden, Big Data, Künstliche Intelligenz oder Virtual Reality.<sup>101 102</sup> Diese sind für die Fokussierung auf die Retrofit-Thematik jedoch von geringerer Bedeutung, sodass auf sie nicht detailliert eingegangen wird. Der Fokus liegt auf der Ertüchtigung bestehender, industrieller Maschinen und Anlagen durch den nachträglichen Einsatz von Systemen mit CPS-Eigenschaften, die in Kombination mit bestehenden oder neu zu applizierender Sensorik unmittelbar physikalische Daten erfassen und weiteren Systemen, Diensten und Datenbanken zur Verfügung stellen. Dies entspricht dem ersten der fünf Funktionsbereiche (*Datenerfassung und -verarbeitung*) aus dem fünf Funktionsbereiche umfassenden Modell der Anwendung von Industrie 4.0 in Unternehmen nach Bischoff et al. (2015)<sup>103</sup>. Die vier weiteren Funktionsbereiche sind *Vernetzung & Integration*, *Assistenzsysteme*, *Dezentralisierung & Serviceorientierung* und *Selbstorganisation / Autonomie*.<sup>104</sup> Die Erfassung von präzisen und zuverlässigen Daten ist der erste Schritt und die aktuell größte Herausforderung in der Entwicklung von CPS Anwendungen.<sup>105 106</sup> Fan und Chang (2018)<sup>107</sup> sehen daher den Aufbau eines Datenerfassungssystems (im engl. „data acquisition system“, abgekürzt: DAQ) als Grundlage, um eine Maschine Industrie 4.0-fähig zu machen. Die drei Felder Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datenvisualisierung werden auch von Wank et al. (2016)<sup>108</sup> als die Bereiche mit dem größten Entwicklungs- und Effizienzpotenzial bei einer Industrie 4.0 Implementierung identifiziert. Bei der Umsetzung eines effizienten und zukunftsorientierten Produktionssystems empfehlen Sie der Datenerfassung und -verarbeitung, samt einer digitalen Kommunikationsmöglichkeit der Daten, höchste Priorität einzuräumen.<sup>109</sup>

Zur Differenzierung der verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten von Industrie 4.0 Lösungen je nach Dimension der involvierten Einheiten (von der Maschine bis zur Fabrik) und Umfang der datenbasierten Unterstützung bzw. autonomen Entscheidung (von der Maschinensteuerung bis zur autonomen Entscheidungsfindung), haben Qin et al. (2016)<sup>110</sup> ein entsprechendes Klassifizierungsframework (Abbildung 6) entwickelt.

<sup>101</sup> Arm; Zezulka; Bradac; u. a. (2018), S. 473

<sup>102</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 7

<sup>103</sup> Bischoff; Taphorn; Wolter; u. a. (2015), S. 75

<sup>104</sup> a.a.O., S. 37

<sup>105</sup> Lee; Bagheri; Kao (2015), S. 19

<sup>106</sup> Gao; Wang; Teti; u. a. (2015), S. 19

<sup>107</sup> Fan; Chang (2018), S. 1

<sup>108</sup> Wank; Adolph; Anokhin; u. a. (2016), S. 90f.

<sup>109</sup> a.a.O., S. 91

<sup>110</sup> Qin; Liu; Grosvenor (2016), S. 5f.

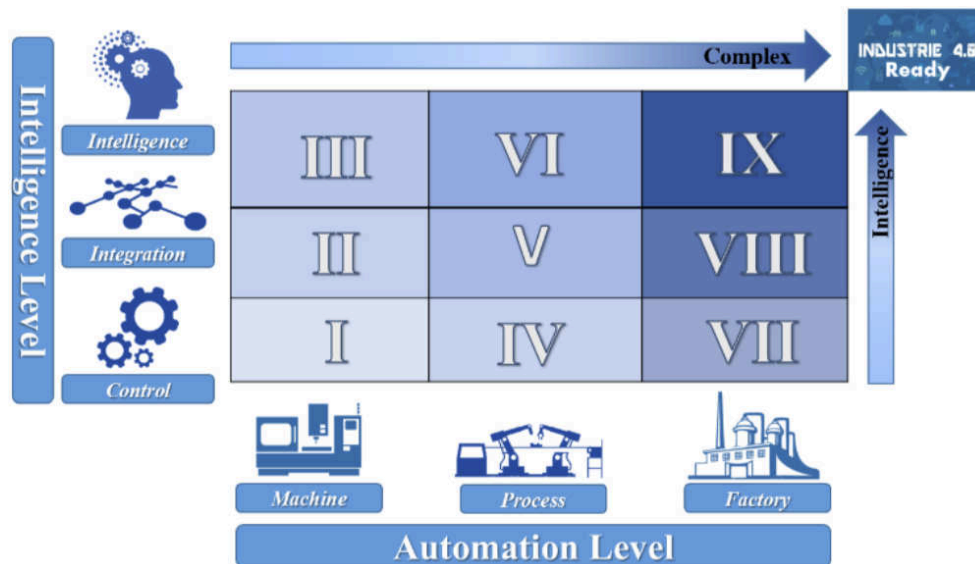


Abbildung 6: Klassifizierungsframework nach Qin et al. (2016)<sup>111</sup>

Eine umfassende Übersicht der Forschungsaktivitäten zum Thema Industrie 4.0 mit Bezug auf Produktionsforschung und Betriebswirtschaft präsentieren Brettel et al. (2014)<sup>112</sup> in Form einer Clusteranalyse.

### Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0

Um das Potenzial der Industrie 4.0 auszuschöpfen schlagen Wee et al. (2015)<sup>113</sup> Unternehmen vor drei Maßnahmen zu ergreifen: 1.) Die lückenlose Integrität sowie die grenzübergreifende Analyse von Daten. Diese soll helfen die *Overall-Equipment-Effectiveness* (OEE) zu verbessern; 2.) Die Anpassung der bestehenden Geschäftsmodelle. Dies soll die Partizipation an veränderten und neuen Erlösquellen ermöglichen; 3.) Die Schaffung einer digitalen Basis. Sie sichert schon heute die Möglichkeiten für die digitale Transformation.

Eine allgemeine Übersicht der Verbesserungspotenziale durch Industrie 4.0-fähige Anlagen haben Ehrlich et al. (2015)<sup>114</sup> zusammengestellt:

- Reduzierte Komplexität bei Rekonfigurationsprozessen
- Reduzierte Produktionszyklen und Lieferzeiten
- Optimierung der Energienutzung
- Produktion von mehr Varianzen und kleinen Losgrößen bei gleichbleibenden Kosten
- Reduktion der Kommissionierzeiten an Produktionsstraßen

<sup>111</sup> ebd.

<sup>112</sup> Brettel; Friederichsen; Keller; u. a. (2014), S. 41ff.

<sup>113</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 7ff.

<sup>114</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspornite (2015), S. 2

Einzelne Studien sehen eine mögliche Erhöhung des Produktionsvolumens von bis zu 25% sowie eine Verringerung der Ausfallzeiten von Maschinen und Anlagen von bis zu 45% beim Einsatz von Big Data und Data-Analytics Werkzeugen, welche jedoch beide gleichermaßen die vollständige und integrierte Datenerfassung voraussetzen.<sup>115</sup> Mit Bezug auf die Optimierung des kurzfristigen Produktionsmanagements stellen Schuh et al. (2014)<sup>116</sup> CPS als Werkzeug für die Stabilisierung von Produktionen vor. Dabei nutzen sie die Sensorik der CPS, um mit den gewonnenen Daten die Produktion für die Folgetage zu simulieren und daraus abgeleitet dem Produktionsmanager konkrete Vorschläge zu unterbreiten.

Bezüglich Performancepotenzialen durch intensivere Datennutzung und datenbasierter Entscheidungsfindung sei auf die Studie von Brynjolfsson et al. (2011)<sup>117</sup> hingewiesen, die in einer umfangreichen Untersuchung festgestellt haben, dass Unternehmen, die Entscheidungen auf Basis von Daten und Business Analytics treffen, nicht nur eine höhere Produktivität aufweisen, sondern auch eine höhere Profitabilität (gemessen an den Parametern: Return-on-Equity und asset utilization) vorweisen können. Dies bedingt jedoch die dafür notwendige Datenerfassung und -verarbeitung.

#### **(I)IoT und Industrie 4.0**

Ein Begriff der im Zusammenhang mit hardwarenahen Anwendungen von *Industrie 4.0* häufig in Erscheinung tritt ist *IoT* (Internet of Things), bzw. *IIoT* (Industrial Internet of Things). Im außereuropäischen Kontext, insbesondere in den USA, wird oftmals als Synonym zu Industrie 4.0 und IoT im industriellen Kontext auch von *Industrial Internet of Things* (Kurzform *IIoT*) gesprochen.<sup>118</sup>

Wie auch von Jeschke et al. (2017)<sup>119</sup> vorgeschlagen, werden im Weiteren die Begriffe Industrie 4.0 und (I)IoT in dem hier dargelegten Kontext gleichbedeutend verwendet. Wie bereits ausgeführt, unterscheidet sich die Nutzung der verschiedenen Termini je nach Geographie, Perspektive und Forschungsbereich. Die Autoren führen aus, dass IIoT semantisch eine Technologiebewegung beschreibt, während Industrie 4.0 mit den ökonomischen Auswirkungen assoziiert wird. Somit kann man sagen, dass IIoT zu Industrie 4.0 führen wird.

Wenn man sich IoT von der Anwenderseite nähert, hilft die Segmentierung nach Zancul et al. (2016)<sup>120</sup>. Die Autoren haben die Anwendungsmärkte des IoT in drei Teile segmentiert:

<sup>115</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 11

<sup>116</sup> Schuh; Potente; Thomas; u. a. (2014), S. 159f.

<sup>117</sup> Brynjolfsson; Hitt; Kim (2011), S. 31

<sup>118</sup> Mourtzis; Milas; Athinaios (2018), S. 301

<sup>119</sup> Jeschke; Brecher; Meisen; u. a. (2017), S. 3

<sup>120</sup> Zancul; Takey; Barquet; u. a. (2016), S. 307

1. *B2C* (Business to Consumer)  
z.B. vernetzte Menschen, vernetzte Häuser, vernetzte Automobile
2. *B2B* (Business to Business)  
z.B. vernetzte Landwirtschaft, vernetzte Gebäude, vernetzte Industrie  
(industrielles Internet; im weiteren auch IIoT)
3. *B2B2C* (Business to Business to Consumer)  
z.B. Smart Cities, Smart Grid, Smarte Versorger

Im hier untersuchten Kontext wird lediglich der B2B Markt mit seinen Anwendungen näher untersucht.

Hinsichtlich der Anwendung von IoT in Unternehmen unterscheiden Lee und Lee (2015)<sup>121</sup> zwischen drei Kategorien: 1.) Überwachung und Steuerung; 2.) Big Data und Business Analytics; 3.) Teilen von Informationen und Zusammenarbeit.

Gubbi et al. (2013)<sup>122</sup> erkennen zur Definition von allgemeinen IoT Lösungen drei Komponenten, die ineinandergreifen, und gemeinsam IoT zu ermöglichen:

1. *Hardware*  
bestehend aus Sensoren, Aktuatoren und eingebetteter Kommunikationskomponenten
2. *Middleware*  
Speicher- und Rechenkapazitäten für die Datenanalyse auf Abruf
3. *Presentation*  
Neuartige einfach zu verstehende, plattformunabhängig nutzbare und an die jeweilige Anwendung anpassbare Visualisierungs- und Interpretationswerkzeuge

Die Aufgabengebiete des IIoT lassen sich in sechs Kategorien unterteilen, die die ermöglichenden Technologien subsumieren. Identifikation, sensorisches Erfassen, Kommunikation, Berechnung, Services und Semantik (Abbildung 7).<sup>123</sup>



Abbildung 7: Die IoT Elemente<sup>124</sup>

<sup>121</sup> Lee; Lee (2015), S. 433ff.

<sup>122</sup> Gubbi; Buyya; Marusic; u. a. (2013), S. 1647

<sup>123</sup> Al-Fuqaha; Guizani; Mohammadi; u. a. (2015), S. 2350ff.

<sup>124</sup> a.a.O., S. 2350

Die Hauptelemente des IIoT in der Definition von Ehret und Wirtz (2017)<sup>125</sup> decken sich dabei mit dem avisierten Datenerfassungs und -verarbeitungsschwerpunkt, denn die Komponenten sind: „(1) *information protocols and middleware*, (2) *sensors*, (3) *actuators*, and (4) *information technology (IT)-driven services such as artificial intelligence (AI) and big data analytics*“. Daher wird im weiteren Retrofit-Kontext der Begriff Industrie 4.0, entsprechend der Fokussierung auf das Datenerfassungs- und -verarbeitungssegment der Industrie 4.0, synonym zu (I)IoT, gemäß der technischen Definition nach Ehret und Wirtz (2017)<sup>126</sup> verwendet.

### Technologien von (I)IoT Lösungen

Eine hohe Bedeutung wird bei der Entwicklung von (I)IoT Lösungen dem sogenannten *Technology Stack* beigemessen. Dieser definiert die einzelnen Komponenten bzw. Schichten der integrierten Lösung und besteht u.a. aus der eingesetzten Hardware, der auf dieser laufenden Software, den Verbindungsmöglichkeiten und Schnittstellen, etwaigen Softwarekomponenten in Cloud-Umgebungen, den eingesetzten Sicherheitskomponenten und der Integration in die betriebsinterne Softwarelandschaft.<sup>127</sup> Die *(Product) Cloud* beschreibt dabei einen zentralen Ort zur Speicherung und Analyse der Daten sowie zum Ausführen von Applikationen.<sup>128</sup> Noch spezifischer wird die *Industrial Cloud* als Integrationsplattform zum Analysieren, Speichern und Austauschen von Daten der Maschinen und Anlagen aus der industriellen Umgebung beschrieben.<sup>129</sup> Insbesondere die Frage welche Aufgaben, Prozesse und Softwarekomponenten der Lösungen auf den IoT Geräten selber, auf lokalen IoT Edge Gateways oder in der Cloud laufen sollen, ist aktuell eine noch offene und viel diskutierte Forschungsfrage.<sup>130 131</sup> In Anlehnung an den Begriff Cloud-Computing wird beim Einsatz von Edge Gateways auch der Begriff Fog-Computing verwendet.<sup>132 133</sup> Häufig sind die angeforderten Latenzen der industriellen Anwendungen sowie die geforderten Bandbreiten zur Übermittlung der erfassten Daten in Echtzeit die limitierenden und lösungsbestimmenden Faktoren bei der Auswahl der Softwarestrategie und des Anwendungsumfelds.<sup>134</sup> Dies führt insbesondere vermehrt zum Einsatz von lokalen IoT Edge Gateways bzw. Fog-Lösungen, die nicht nur die Daten vor der Verarbeitung in der Cloud vorbereiten können, um z.B. weniger Bandbreite in Anspruch zu nehmen, sondern ganze Aufgabensegmente wie die

---

<sup>125</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 2f.

<sup>126</sup> ebd.

<sup>127</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>128</sup> ebd.

<sup>129</sup> Wlodarczyk; Rong; Thorsen (2009), S. 463ff.

<sup>130</sup> Morabito; Cozzolino; Ding; u. a. (2018), S. 2

<sup>131</sup> Gezer; Um; Ruskowski (2017), S. 148ff.

<sup>132</sup> Bonomi; Milito; Zhu; u. a. (2012), S. 13

<sup>133</sup> Gazis; Leonardi; Mathioudakis; u. a. (2015)

<sup>134</sup> Nasrallah; Thyagaturu; Alharbi; u. a. (2019)



lokale Datenauswertung oder zeitkritische Regelkreissteuerung lokaler Aktuatoren in virtualisierten Umgebungen übernehmen, um die Echtzeitfähigkeit zu gewährleisten.<sup>135</sup> <sup>136</sup> Darüber hinaus gelten Edge Lösungen auch als Systeme mit höherer Verfügbarkeit, da sie mit der angeschlossenen Peripherie nur im lokalen Netzwerk kommunizieren und daher unabhängig von einer Wide Area Network-Verbindung (WAN-Verbindung) sind.<sup>137</sup> <sup>138</sup> Dies würde auch die Virtualisierung der bestehenden Automatisierungspyramide erlauben. Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz sieht Edge Gateways als einfache Lösung um den Retrofit von Brownfields zu ermöglichen.<sup>139</sup> Ein schematisches Schaubild einer Edge Gateways Integration stellt das Projekt *LEGIoT* dar (Abbildung 8).

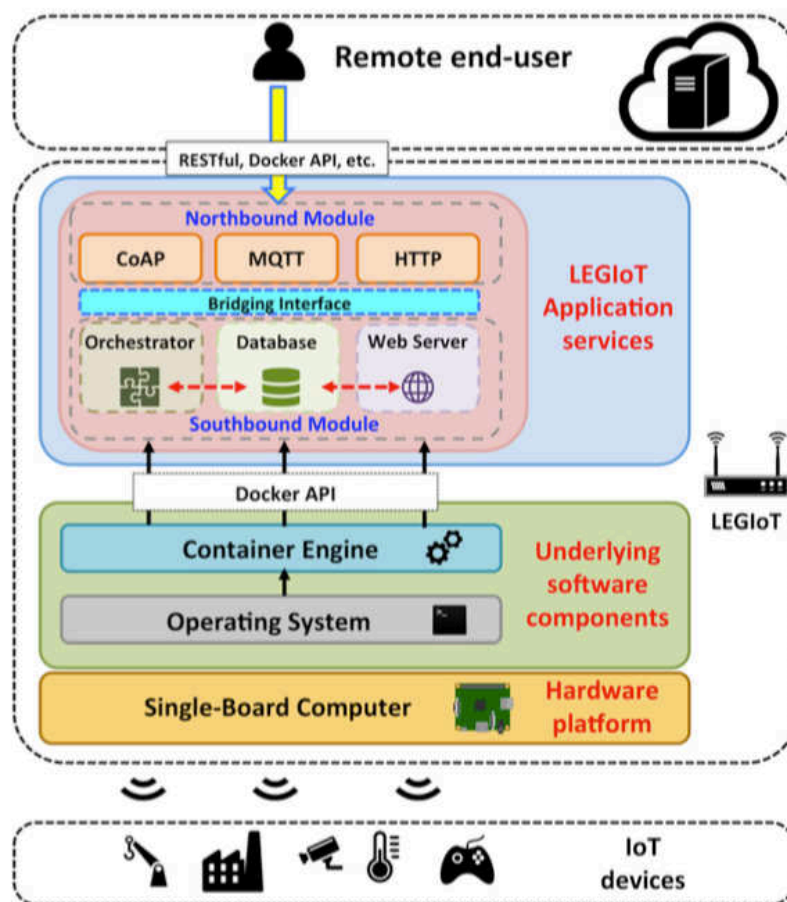


Abbildung 8: Die LEGIoT Architektur<sup>140</sup>

<sup>135</sup> Morabito; Petrolo; Loscri; u. a. (2017), S. 3–11

<sup>136</sup> Bonomi; Milioto; Zhu; u. a. (2012), S. 15

<sup>137</sup> Seitz; Buchinger; Bruegge (2018), S. 813

<sup>138</sup> Lennvall; Gidlund; Akerberg (2017), S. 908

<sup>139</sup> Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH (2018)

<sup>140</sup> Morabito; Petrolo; Loscri; u. a. (2017), S. 6

### 3.2.2 Definition und Beschreibung von Greenfield und Brownfield

Zum Verständnis der Retrofit-Thematik gilt es zunächst die zwei aus der Fabrikplanung stammenden Begriffe *Green-* und *Brownfield* zu differenzieren. Unter *Greenfield* (engl. für „grüne Wiese“) versteht man die Planung und Errichtung einer Fabrik auf der sinnbildlichen grünen Wiese. Dabei bestehen wenig bis keine Restriktionen durch vorhandene Gebäude, Anlagen oder Maschinen. Es wird im übertragenen Sinne davon ausgegangen, dass diese „neuen“ Fabriken mit den neusten Maschinen und Anlagen ausgestattet werden, die bereits über eingebettete CPS und die damit verbundenen Fähigkeiten verfügen. Dem stehen sogenannte *Brownfield* Fälle (engl. für „Industriebrache“ oder „Altlast“) gegenüber, die ursprünglich in der Städteplanung brachliegende Industrieflächen beschrieben. Der Begriff erhielt eine zusätzliche Bedeutung im Industriebereich, indem er bestehende Industrieanlagen mit ihren bestehenden Maschinenparks beschreibt.<sup>141</sup> Somit kann man im Folgenden Greenfield mit Neuanlagen und Brownfield mit Bestandsanlagen gleichsetzen.<sup>142</sup>

Weber und Reichel (2018)<sup>143</sup> stellen fest, dass zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit die Digitalisierung der Industrie und die Transformation hin zu vernetzten Wertschöpfungsstufen notwendig sind. Darüber hinaus betonen sie, dass in etablierten Industrieländern der Fokus auf der digitalen Nachrüstung von Brownfield Fällen liegt, da Greenfield Szenarien oftmals nur beschränkt möglich oder unwirtschaftlich sind. Ehrlich et al. (2015)<sup>144</sup> kommen bezüglich der Unwirtschaftlichkeit des Greenfieldansatzes - Austausch bestehender Industrieanlagen gegen neue Industrie 4.0-fähige Anlagen - zum gleichen Urteil. Sie stellen fest, dass es einen Strategiebedarf für Brownfield Fälle in Form der Migration von Industrie 3.0 auf Industrie 4.0 gibt. Dies deckt sich mit der postulierten Forschungsfrage. Kagermann (2015)<sup>145</sup> sieht den Bedarf einer dualen Innovationsstrategie, um Anwendungen in Green- und Brownfield Szenarien gleichermaßen meistern zu können. Sie definieren als entscheidendes Merkmal für erfolgreiche Innovationen die Einfachheit der Integration in bestehende Strukturen und die sukzessive Implementierung großer Veränderungen.

### 3.2.3 Definition und Beschreibung von Retrofit

Die langen Nutzungsdauern von und die erheblichen Investitionen in Maschinen und Anlagen haben dazu geführt, dass sich ein Markt für ihre Auf- und Nachrüstung

---

<sup>141</sup> Gassner (2017), S. 1

<sup>142</sup> Volz (2018), S. 26

<sup>143</sup> Weber; Reichel (2018), S. 45

<sup>144</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspersnitter (2015), S. 2

<sup>145</sup> Kagermann (2015), S. 40ff.

durch Zusatz- oder Austauschkomponenten gebildet hat. Diese Vorgehensweise wird als Retrofit beschrieben (aus dem engl. für „Nachrüsten“ / „Nachrüstung“), und hat meist zum Ziel die Leistung oder Effizienz der Maschinen zu verbessern oder die Nutzung zusätzlicher Funktionen zu ermöglichen. Ursprünglich bezieht sich Retrofitting auf die partielle Überarbeitung von Teilen bestehender Systeme, wie z.B. den Austausch eines Motors gegen einen neuen Motor, der eine verbesserte Energieeffizienz verspricht.<sup>146</sup>

In den vergangenen Jahren hat sich durch die Einführung des (I)IoT in Industrie und Wissenschaft daraus der Trend „*connect the unconnected*“ geformt.<sup>147</sup> Bergweiler (2015)<sup>148</sup> definiert Retrofitting im CPS-Kontext als die Ausstattung von bestehenden Anlagen mit zusätzlicher Hardware, die aus funktionserweiternden Kommunikations- und verteilten Datenverarbeitungsmodulen besteht. Ehrlich et al. (2015)<sup>149</sup> definieren den Retrofit-Begriff mit der Erweiterung bestehender Anlagen um Hardware, Software oder Protokollkomponenten, die z.B. die Verbesserung bestimmter Systemteile beabsichtigen. Zum Beispiel die Diagnose und Überwachung der Anlage, schnellere Kommunikationszyklen oder die Nutzung verbesserter Kommunikationsprotokolle. Bezugnehmend auf den Begriff der Smart Factory, wird der Begriff Retrofit gelegentlich noch um das Adjektiv *Smart* ergänzt, sodass dann von Smart Retrofit gesprochen wird.<sup>150</sup>

Retrofits verlängern somit die Nutzungsdauer der Maschinen und tragen damit auch zur ökonomischen und ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit bei.<sup>151</sup> Diese Absicht wird von der Europäischen Union (EU) bewusst unterstützt. So fördert die EU zum Beispiel Projekte, die sich industrieller Retrofits mit Schwerpunkt einer Verbesserung der Energieeffizienz oder Reduzierung des Carbon Footprints annehmen.<sup>152</sup>

### **Begriffsdefinition Legacy Equipment**

Deshpande und Pieper (2011)<sup>153</sup> titulieren pauschal alle Maschinen als *legacy equipment* (engl. für „Altlastanlagen“), die über keine externen Kommunikationsmöglichkeiten und/oder über ein *Application Programming Interface* (API) verfügen, welches Echtzeitdaten zur Verfügung stellen kann. *Legacy* bezeichnet somit nicht das Alter der Maschine, sondern seine Fähigkeiten.<sup>154</sup>

<sup>146</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspernite (2015), S. 3

<sup>147</sup> Lennvall; Gidlund; Akerberg (2017), S. 905

<sup>148</sup> Bergweiler (2015), S. 108

<sup>149</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspernite (2015), S. 3

<sup>150</sup> Guerreiro; Lins; Sun; u. a. (2018), S. 164f.

<sup>151</sup> Stock; Seliger (2016), S. 540

<sup>152</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspernite (2015), S. 4

<sup>153</sup> Deshpande; Pieper (2011), S. 1

<sup>154</sup> ebd.

Jónasdóttir et al. (2018)<sup>155</sup> knüpfen den Begriff *legacy* an Maschinen, die (noch) nicht Industrie 4.0-fähig sind und der Nachrüstung einer internetfähigen Kommunikationsanbindung bedürfen, um den Zugriff auf Industrie 4.0 Fähigkeiten zu ermöglichen. Sie gehen davon aus, dass solche Anlagen üblicherweise älter als zehn Jahre sind. Es können jedoch auch modernere Anlagen sein, die die Industrie 4.0 Interkonnektivität aktuell nicht zur Gänze ausschöpfen. Das IIC (Industrial Internet Consortium)<sup>156</sup> sieht im Leitfaden zur Industriellen Internet Referenz Architektur zur Anlagenverwaltung den Bedarf nicht-vernetzte Bestandsanlagen durch Retrofit um Rechen-, Speicher- und Kommunikationsfähigkeiten zu erweitern.

### Möglichkeiten von Retrofit

Mit Bezug auf das in vielen entwickelten Industrieländern anzutreffende Brownfield-Szenario mit Geräten, Maschinen und Anlagen, die seit drei oder vier Jahrzehnten autark und ohne Vernetzung im Einsatz sind, gilt Retrofit als eine effiziente und wirtschaftliche Lösung, um die Industrie 4.0 Transformation von Altanlagen zu ermöglichen.<sup>157 158 159</sup> Die bestehende Heterogenität von IT-Systemen, Bestandsanlagen und Standards in der Industrie führen dazu, dass mit einem Zeitraum von zehn bis zwanzig Jahren gerechnet wird bis Industrie 4.0 flächendeckend realisiert wird.<sup>160</sup> Der Retrofit von Bestandsanlagen gilt in diesem Kontext als vielversprechende Strategie den Konflikt der hohen (Rest-)Lebensdauern bei gleichzeitiger Nutzung der durch Industrie 4.0 ermöglichten Funktionen und Technologien zu überbrücken. Dieser Ansatz bietet einen möglichen Migrationspfad für Maschinen und Anlagen mit einem Industrie 3.0 Technologiestand in die Industrie 4.0.<sup>161 162</sup> Insbesondere unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Fokussierung auf den Teilbereich der Datenerfassung und -verarbeitung bieten Retrofits wirtschaftlich interessante Möglichkeiten. Darüber hinaus ermöglichen Retrofits auch die Schließung von Informationsübertragungsbrüchen, sodass ein *digital thread* in Form eines digitalen Abbilds entlang des gesamten Produktlebenszyklus entsteht.<sup>163</sup>

### Marktpotenzial von Retrofit

Delsing (2017)<sup>164</sup> beschreibt diese Migration in den aktuellen Technologiestand als „interessanten Markt“, für den noch Werkzeuge und Kompetenzen zu entwickeln

<sup>155</sup> Jónasdóttir; Dhanani; McRae; u. a. (2018), S. 4

<sup>156</sup> Industrial Internet Consortium (2015), S. 31

<sup>157</sup> Volz (2018), S. 26

<sup>158</sup> Binner (2018), S. 422

<sup>159</sup> Fantana; Riedel; Schlick; u. a. (2013), S. 171f.

<sup>160</sup> Spath; Ganschar; Gerlach; u. a. (2013), S. 120

<sup>161</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspersnite (2015), S. 2

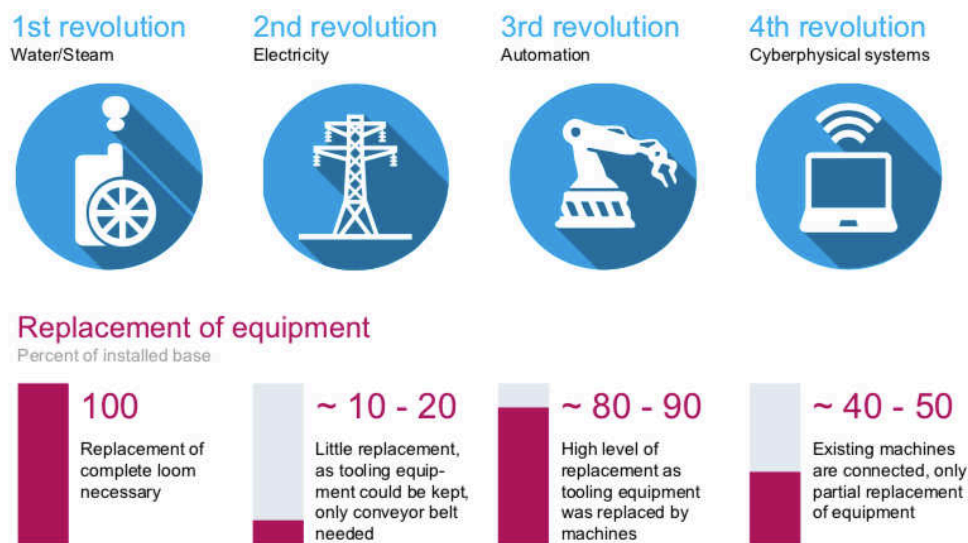
<sup>162</sup> Volkwein; Bildstein (2017), S. 9

<sup>163</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 19

<sup>164</sup> Delsing (2017), S. 20

sind. Die Robert Bosch GmbH geht mit Bezug auf die Nachrüstung von Sensoren, Software und Schnittstellen an bestehende IT-Systeme, als Voraussetzung für die vernetzte Fertigung, von mehr als zehn Millionen (Bestands-)Maschinen in Deutschland aus. Global betrachtet werden Retrofit-Lösungen als „Milliardenmarkt“ eingeschätzt.<sup>165</sup> Anderen Einschätzungen zufolge sind global 60 Millionen Maschinen im Einsatz, von denen 90% nicht vernetzt und 70% der Maschinen älter als 15 Jahre sind.<sup>166</sup> So beträgt beispielsweise das Durchschnittsalter einer Werkzeugmaschine in Frankreich 19 Jahre, während das Durchschnittsalter in Brasilien bei 17 Jahren liegt.<sup>167</sup> Amerikanische Maschinenparks scheinen mit einem Durchschnittsalter von 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Jahren absolut betrachtet relativ jung zu sein, sind aber in Relation zum nationalen, historischen Durchschnittsalter der höchste Wert seit 1938.<sup>168</sup>

Eine weitere Besonderheit stellt die Rolle der Maschinenparks zur Ermöglichung der anstehenden industriellen Revolution dar. Während in der dritten Revolution (der Automatisierung der Industrie) noch bis zu 90% der Maschinen und Anlagen vollständig ausgetauscht werden mussten, um den Revolutionsschritt mitgehen zu können, gehen Unternehmen aktuell davon aus, dass sie dank intelligenter Nachrüstungen lediglich 40-50% der Maschinen austauschen werden (Abbildung 9).<sup>169</sup>



SOURCE: Statistisches Bundesamt; Deutsche Bundesbank; Prognos; Thomas Nipperdey; McKinsey

**Abbildung 9: Vergleich der auszutauschenden Maschinen und Anlagen je industrieller Revolution**<sup>170</sup>

<sup>165</sup> Robert Bosch GmbH (2016), S. 1

<sup>166</sup> Cisco (2015), S. 1

<sup>167</sup> Guerreiro; Lins; Sun; u. a. (2018), S. 162

<sup>168</sup> McGeever (2014)

<sup>169</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 13ff.

<sup>170</sup> a.a.O., S. 14

## Treiber der Digitalisierung von Bestandsanlagen

Ermöglicht wird die wirtschaftliche Digitalisierung der Bestandsanlagen durch fünf signifikante Trends: <sup>171 172 173 174</sup>

1. die Verbesserung der Rechenkapazitäten
2. die Miniaturisierung von Elektronik
3. die Vernetzungsmöglichkeiten durch Drahtlosübertragungen
4. die Steigerung der Energieeffizienz von Elektronikkomponenten
5. den Preisverfall von Elektronikkomponenten

So ist z.B. der durchschnittliche Stückpreis für 3D Sensoren von 30.000 US-Dollar im Jahr 2009 auf 80 US-Dollar im Jahr 2014 gefallen.<sup>175</sup> Der Preis für Beschleunigungssensoren ist im Zeitraum von 2004 bis 2015 um mehr als 85% gefallen, während sich gleichzeitig die technischen Merkmale verbessert und sich die baulichen Abmaße auf fast ein Sechstel verkleinert haben.<sup>176</sup> Für das Jahr 2020 wird prognostiziert, dass der Preisverfall soweit fortgeschritten ist, dass die Kosten für einen *IoT-Node* (bestehend aus Rechen- und Kommunikationsbaustein sowie Sensor und benötigte Elektronikkomponenten) bei 1-2 US-Dollar liegen werden.<sup>177</sup>

## Technologische Aspekte des Retrofits

Diese Trends führen zur einer Verzahnung der sogenannten operativen Technologien (abgekürzt: OT; im engl. „Operation Technology“) mit den Informationstechnologien (abgekürzt: IT; im engl. „Information Technology“).<sup>178 179</sup> Diese Verzahnung ist unter anderem notwendig, um die in der DIN SPEC 91345 vorgegebene Definition einer virtuellen *administration shell* für jede Industrie 4.0 Komponente zu erfüllen.<sup>180</sup> Die *administration shell* ist die logische Repräsentation eines physischen Objekts in der digitalen Umgebung. Die Norm besagt, dass jede Industrie 4.0 Komponente eines virtuellen Abbilds (sog. *Digital Twin*) bedarf, welches über die *administration shell* realisiert wird und die Umwandlung einer konventionellen Komponente in eine Industrie 4.0 Komponente ermöglicht (s. bspw. Abbildung 10).<sup>181</sup> Dabei werden spezielle Software-Module genutzt, um mittels CPS digitale Abbilder der Altanlagen zu erstellen.<sup>182</sup>

<sup>171</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>172</sup> Walenza-Slabe; Jasti; Previtali; u. a. (2017), S. 4

<sup>173</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 12

<sup>174</sup> Mourtzis; Milas; Athinaios (2018), S. 301

<sup>175</sup> World Economic Forum; Accenture (2016), S. 6

<sup>176</sup> Kerns (2016)

<sup>177</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 12

<sup>178</sup> MacDougall (2014), S. 9

<sup>179</sup> World Economic Forum; A.T. Kearney (2017), S. 12f.

<sup>180</sup> Pérez; Buitrón; Melo (2018), S. 341

<sup>181</sup> ebd.

<sup>182</sup> Binner (2018), S. 422

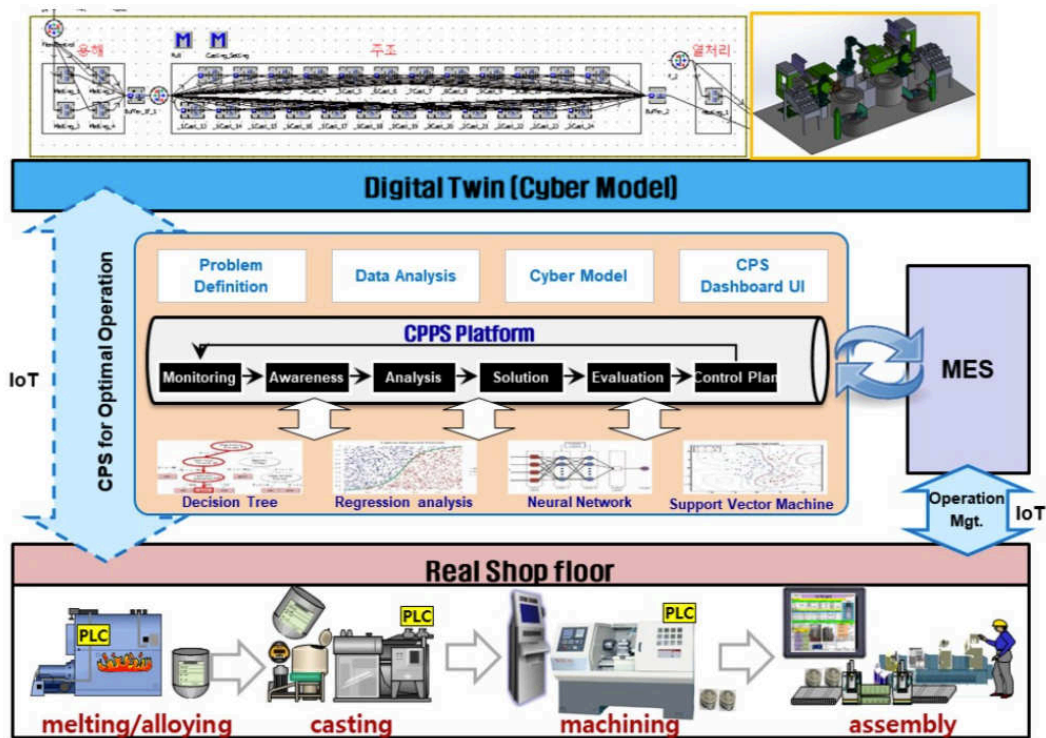


Abbildung 10: CPS System für proaktive Betriebsabläufe in der Smart Factory<sup>183</sup>

Die Verzahnung von IT und OT spielt insbesondere auf dem beleuchteten Gebiet der Datenerfassung und -verarbeitung eine entscheidende Rolle.<sup>184</sup> <sup>185</sup> Dabei differenzieren Walenza-Slabe et al. (2017)<sup>186</sup> zwischen drei unterschiedlichen technologischen Anwendungsszenarien zur Datenerfassung und -übermittlung:

1. Direkte Kommunikation

Jeder Sensor und Aktuator ist mit einem aktiven Kommunikationsmodul ausgestattet, welches eine eigenständige Verbindung mit dem IT-System aufnimmt.

2. OT Upgrade

Die vorhandene speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) wird so umprogrammiert, dass sie neben ihrer eigentlichen Tätigkeit alle anfallenden Daten an das IT-System liefert. Dies setzt die Hard- und Software-technische Möglichkeit seitens der SPS voraus.

3. Gateway Aggregator

Ein Aggregationspunkt innerhalb der Steuerung wird mit einem Gateway verbunden, liest die übermittelten Daten aus und übermittelt sie in Echtzeit an das IT-System.

<sup>183</sup> Wiktorsson; Noh; Bellgran; u. a. (2018), S. 474

<sup>184</sup> Volz (2018), S. 26

<sup>185</sup> Beudert; Juergensen; Weiland (2015), S. 7

<sup>186</sup> Walenza-Slabe; Jasti; Previtali; u. a. (2017), S. 7

Die getrennte Betrachtungsweise der Bereiche IT und OT sowie die durch IIoT ermöglichte Verknüpfung der Bereiche lässt sich dem folgenden Schaubild entnehmen (Abbildung 11)

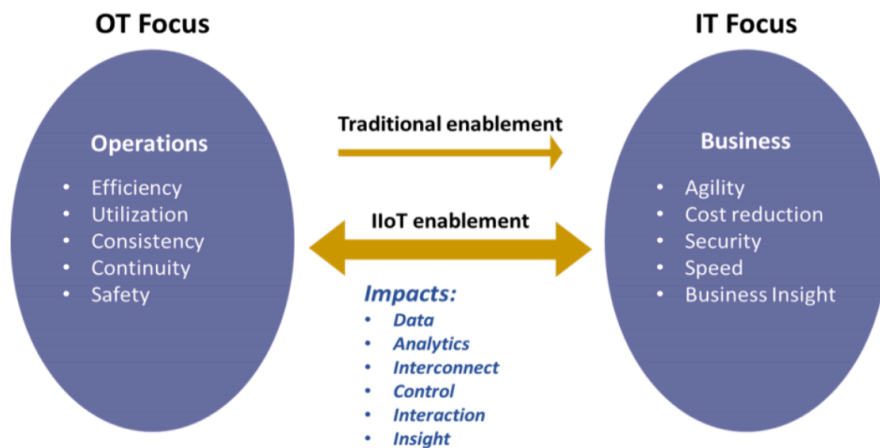


Abbildung 11: Aktueller IT/OT Status und Transformationspotenzial<sup>187</sup>

Die gesamte, bereichsübergreifende Vernetzung über die Unternehmensebenen hinweg lässt sich an Hand des folgenden Schaubilds von Nasrallah et al. (2018)<sup>188</sup> nachvollziehen (Abbildung 12).

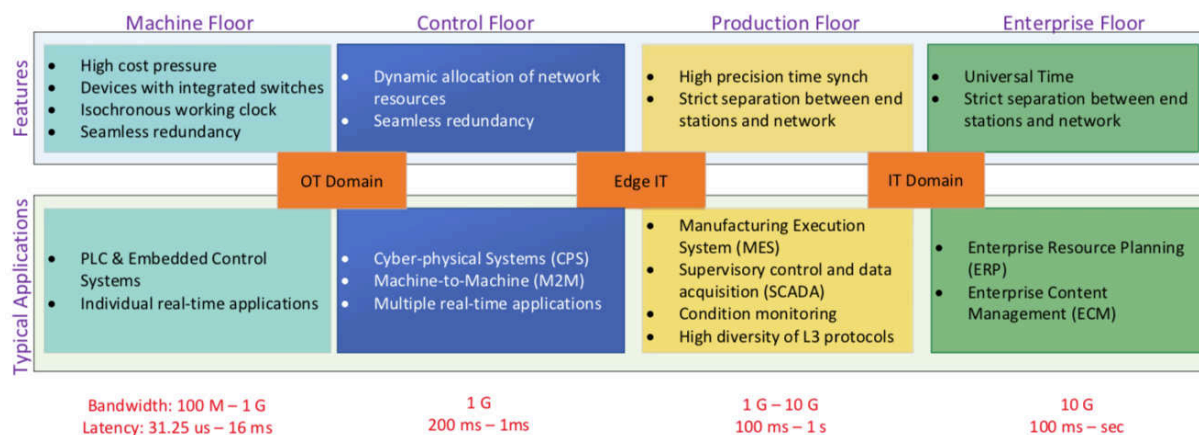


Abbildung 12: Darstellung des breiten Spektrums an QoS-Anforderungen entsprechend der Netzwerkeinstellung (je Floor), wobei die Fertigungsfläche (Machine Floor) das höchste Maß an Determinismus und die geringste Latenzzeit erfordert<sup>189</sup>

Retrofit umfasst sowohl vollständig autarke Lösungen, die in die Altanlage mit eigener Sensorik integriert werden, als auch Lösungen mit Schnittstellen zu vorhandenen Steuerungen (z.B. SPS bzw. im engl. „PLC“).<sup>190 191 192 193 194 195</sup> Dabei

<sup>187</sup> Morrish; Figueredo; Haldeman; u. a. (2016), S. 18

<sup>188</sup> Nasrallah; Thyagaturu; Alharbi; u. a. (2019), S. 6

<sup>189</sup> ebd.

<sup>190</sup> Singh; Angrish; Barkley; u. a. (2017), S. 1022

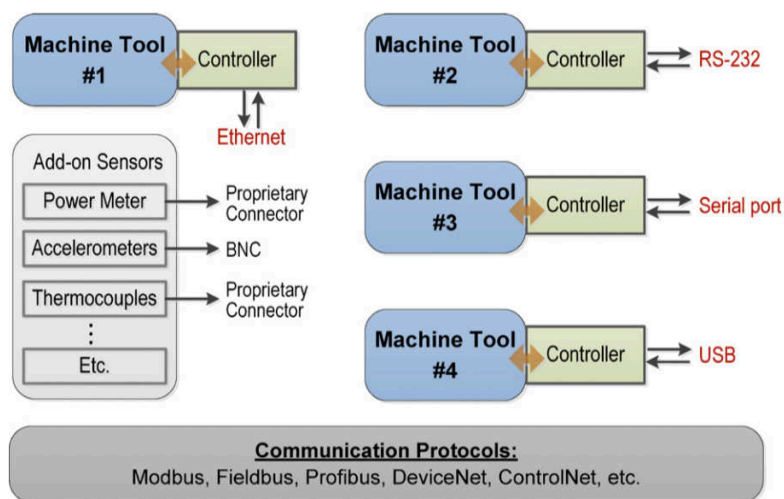
<sup>191</sup> Bakir; Bakir; Engels (2018), S. 1012

<sup>192</sup> Mamo; Sikora; Rathfelder (2017), S. 1

<sup>193</sup> Birtel; Popper (2018), S. 898



dienen sogenannte Edge Gateways als Bindeglied zwischen existierenden Automatisierungsanlagen und einer nachgelagerten Cloud.<sup>196</sup> Eine beispielhafte Übersicht der bestehenden Kommunikationsinterfaces und -protokolle ist dem nachfolgenden Schaubild (Abbildung 13) zu entnehmen. Auf Grund der Langlebigkeit der SPS, und ihres aufwendigen und kostspieligen Austauschs, scheint eine Verknüpfung der Retrofit Lösung mit selbiger empfehlenswerter als der Austausch der selbigen.<sup>197</sup> Auch vollständig in der Cloud abgebildete, industrielle Steuerungssysteme in Form von skalierbaren Softwarediensten werden derzeit erforscht (sog. *cloud-based control services*, abgekürzt: CBS). Horn und Kruger (2016)<sup>198</sup> präsentieren ein entsprechendes Konzept um über verschiedene Anbindungsansätze Cloud-basierten Diensten die Kommunikation mit Bestandsanlagen zu ermöglichen. Die Autoren sehen eine Vielzahl an Anwendungen, die durch den Zugriff auf die Prozessdaten, ermöglicht werden. Sie nennen beispielsweise die Optimierung der Maschinenstandzeiten, die Maschinenauslastungsanalyse, die Maschinenüberwachung, die Optimierung und die Steuerung des Energieverbrauchs und des Ressourcenbedarfs sowie die Standardisierung der Anwender-Eingabemasken.



**Abbildung 13: Beispiel für die verschiedenen Kommunikationsschnittstellen und Protokolle, die sich in einer typischen Produktionsstätte befinden**<sup>199</sup>

<sup>194</sup> Rosendahl; Schmidt; Lüder; u. a. (2015), S. 1f.

<sup>195</sup> Horn; Kruger (2016), S. 351f.

<sup>196</sup> Zühlke (2018), S. 10

<sup>197</sup> Stackpole (2018), S. 1

<sup>198</sup> Horn; Kruger (2016), S. 351f.

<sup>199</sup> Gao; Wang; Teti; u. a. (2015), S. 18

## Zwischenfazit: Bedeutung von Retrofit

Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (sog. KMUs bzw. im engl. „SMEs“) sind die kostengünstigen Retrofit-Möglichkeiten im Vergleich zu alternativen Neuanschaffung von werksseitig Industrie 4.0-fähigen Maschinen und Anlagen eine relevante Alternative.<sup>200 201 202 203</sup> Denn die gewachsenen Maschinen- und Anlagenparks stellen für viele KMUs signifikante Vermögenspositionen dar, welche daher besonderer Erhaltungsaufwendungen bedacht werden und nur in sehr langen Investitionszyklen ausgetauscht werden.<sup>204</sup> Ein konzeptionelles Modell zur Kostenabschätzung der nachträglichen Implementierung von IoT Lösungen (namens CAM-SMILS) zur Entscheidungsfindung auf Managementebene haben Tedeschi et al. (2018)<sup>205</sup> entwickelt.

### 3.2.3.1 Entwicklung von Retrofit Lösungen

Die Entwicklung von Retrofit Lösungen wird derzeit von drei Gruppen vorangetrieben. Etablierte Automatisierungsspezialisten sind an der Nachrüstung von bisher nicht vernetzten Anlagen mit ihren, meist proprietären Lösungen interessiert und bieten Unternehmen entsprechende Retrofit-Kits an (s. z.B. das *Bosch IoT Gateway* der Robert Bosch GmbH)<sup>206</sup>. Ferner gibt es junge Firmen, die meist auf Open-Source Softwarekomponenten basierende Lösungen für die *Do-It-Yourself* (DIY) Nachrüstung anbieten. Häufig kommen dabei entweder günstige Einplatinencomputer (wie z.B. Raspberry Pi oder Arduino) oder eigens entwickelt und gefertigte eingebettete Systeme zum Einsatz.<sup>207 208 209</sup> Diese Kits variieren in ihren Ausstattungsmerkmalen und werden mit und ohne Anbindung an eine vorhandene SPS sowie mit und ohne eigene Cloudsoftware angeboten (wie z.B. das *Machina Starter Paket* der azeti GmbH)<sup>210</sup>. Darüber hinaus entwickeln auch Forschungsinstitute im Rahmen von Industrie 4.0 Forschungsprojekten eigene Retrofit-Lösungen, die sich ebenfalls in Form und Umfang der avisierten Funktionalitäten unterscheiden. So fokussieren sich bspw. Schlechtendahl et al. (2014)<sup>211</sup> zunächst nur auf die Entdeckung von Bestandsmaschinen in einer Produktionsumgebung durch Nachrüstung eines Gateways. Diese Lösungen werden

<sup>200</sup> Pérez; Buitrón; Melo (2018), S. 349

<sup>201</sup> Bakir; Bakir; Engels (2018), S. 1013

<sup>202</sup> Haskamp; Orth; Wermann; u. a. (2018), S. 1

<sup>203</sup> Stock; Seliger (2016), S. 540

<sup>204</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Produktion und Dienstleistung - Zukunft der Arbeit (2015), S. 28

<sup>205</sup> Tedeschi; Rodrigues; Emmanouilidis; u. a. (2018), S. 106ff.

<sup>206</sup> Robert Bosch GmbH (2016), S. 1

<sup>207</sup> Ehrlich; Wisniewski; Jaspersnitter (2015), S. 2

<sup>208</sup> Fan; Chang (2018), S. 2ff.

<sup>209</sup> Rosendahl; Schmidt; Lüder; u. a. (2015), S. 4

<sup>210</sup> azeti GmbH (<https://shop.azeti.net/products/machina-starter-paket>)

<sup>211</sup> Schlechtendahl; Keinert; Kretschmer; u. a. (2014), S. 4ff.

meist unter Laborbedingungen eingesetzt und sind explizit nicht für den täglichen Einsatz unter industriellen Bedingungen konzipiert. Ähnlich wie die Start-Ups bedienen sich auch die Forschungsinstitute zumeist bestehender Open-Source Softwarekomponenten, die für das Projektvorhaben entsprechend angepasst werden (s. z.B. Nsiha et al. (2018)<sup>212</sup>). Bezüglich der optimalen Auswahl der einzelnen Komponenten wurden z.B. von Rehe et al. (2018)<sup>213</sup> erste Untersuchungen zur Auswahl von Kommunikationseinheiten mit entsprechender Energieversorgung durchgeführt.

Ein hervorzuhebendes Merkmal bei der Entwicklung solcher Lösungen sind neben den angebotenen Schnittstellen und Leistungsmerkmalen insbesondere die Verwendung und Einhaltung von mittlerweile etablierten und dokumentierten Kommunikationsstandards. Diese sollen langfristig sicherstellen, dass die Anbindung der meist heterogenen Maschinenparks zumindest auf der virtualisierten Ebene einheitlichen, zukunftsfähigen und softwareherstellerunabhängigen offenen Standards entspricht.<sup>214</sup>

Eine methodische Herangehensweise in fünf Schritten zur Entwicklung von CPS, die auch für den Retrofit genutzt werden können, haben Marilungo et al. (2017)<sup>215</sup> entwickelt. Dabei spannen die Autoren den Bogen von der Ist-Analyse bis hin zu ersten Ideen hinsichtlich der Geschäftsmodellanpassungen. Eine allgemeinere Methode zur Entwicklung von Retrofitlösungen von der Situationsanalyse bis zur Implementierung in vier Schritten haben Stock und Seliger (2016)<sup>216</sup> entwickelt.

### 3.2.3.2 Anwendungsbereiche von Retrofit Lösungen

Retrofit Lösungen kommen überall dort zum Einsatz wo Daten von isolierten Bestandsanlagen erfasst werden sollen. Dies kann sowohl durch den Zugriff auf bestehende Sensorik (z.B. über eine existierende SPS) als auch über eigens installierte Sensoren geschehen. Gemein haben beide Lösungen, dass die Daten durch die Retrofit Lösung erfasst, verarbeitet und über die Kommunikationsschnittstellen in einem Netzwerk geteilt oder abgerufen werden können.

In der Literatur sind diverse praktische Anwendungsbereiche erwähnt, u.a. die Ausrüstung von Werkzeugmaschinen (s. Guerreiro et al. (2018)<sup>217</sup>, Pérez et al. (2018)<sup>218</sup>, Singh et al. (2017)<sup>219</sup>, Birtel und Popper (2018)<sup>220</sup>, Maeda et al. (2017)<sup>221</sup>

<sup>212</sup> Nsiha; Schappacher; Rathfelder; u. a. (2018)

<sup>213</sup> Rehe; Denkena; Wagener (2018), S. 50ff.

<sup>214</sup> Weber; Königsberger; Kassner; u. a. (2017), S. 175

<sup>215</sup> Marilungo; Papetti; Germani; u. a. (2017), S. 359ff.

<sup>216</sup> Stock; Seliger (2016), S. 540f.

<sup>217</sup> Guerreiro; Lins; Sun; u. a. (2018), S. 161

<sup>218</sup> Pérez; Buitrón; Melo (2018), S. 346

<sup>219</sup> Singh; Angrish; Barkley; u. a. (2017), S. 1023

und Jónasdóttir et al. (2018)<sup>222</sup>), Industrierobotern (s. Haskamp et al. (2018)<sup>223</sup>), Spritzgussmaschinen (Bakir et al. (2017)<sup>224</sup>), variantenreichen Mobiltelefon-Montagelinien (s. Moctezuma et al. (2012)<sup>225</sup>) oder ganzen Elektrizitätswerken (s. Civerchia et al. (2017)<sup>226</sup>). Die dabei vorgestellten Lösungen reichen in Umfang und Komplexität von der Diagnose des Betriebszustands, mittels der vernetzten Messung der elektrischen Spannungsdifferenzen, bis hin zu ganzheitlichen Cloud-basierten Steuerungsansätzen. Daran lässt sich feststellen, dass das Spektrum der Einsätze von einzelnen Vernetzungsprojekten unter Laborbedingungen bis hin zu anspruchsvollen Komplettlösungen unter harschen Umgebungsbedingungen reicht.

### 3.2.3.3 Ablauf eines Retrofits

Aus den Praxisbeispielen der Literatur lässt sich ein allgemeingültiges, siebenstufiges Schema für den Ablauf eines Retrofits erkennen.<sup>227 228 229 230 231</sup>

1. Bedarfsermittlung und Technologieauswahl
  - Was soll wo gemessen werden? Kann auf bestehende Sensoren oder Daten (z.B. mittels einer SPS) zugegriffen werden? Auswahl der Sensorik.
2. Standortanalyse
  - Wie sind die lokalen Gegebenheiten? Besteht Zugang zu einer kabelgebundenen Energieversorgung und einem kabelgebundenen Netzwerkzugang? Besteht alternativ Zugang zu einem Drahtlosnetzwerk? Wie und wo werden Sensoren und Kommunikationshardware installiert?
3. Vernetzung und Einrichtung der Anlagen
  - Installation der Sensoren und Kommunikationshardware inklusive (inkl.) eventuell (evtl.) benötigter Kabel; Inbetriebnahme der konfigurierten Software sowie der vorgesehenen Datenverarbeitung und -weiterleitung
4. Datenerfassung
  - Operativer (Test-)Betrieb der Lösung; Sammeln von Sensordaten sowie Daten aus externen Systemen mittels Schnittstellen
5. Performanceevaluation

<sup>220</sup> Birtel; Popper (2018)

<sup>221</sup> Maeda; Sakurai; Tamaki; u. a. (2017), S. 419ff.

<sup>222</sup> Jónasdóttir; Dhanani; McRae; u. a. (2018), S. 5ff.

<sup>223</sup> Haskamp; Orth; Wermann; u. a. (2018)

<sup>224</sup> Bakir; Feickert; Bakir (2017), S. 660ff.

<sup>225</sup> Moctezuma; Jokinen; Postelnicu; u. a. (2012), S. 413

<sup>226</sup> Civerchia; Bocchino; Salvadori; u. a. (2017), S. 7

<sup>227</sup> a.a.O., S. 7ff.

<sup>228</sup> Moctezuma; Jokinen; Postelnicu; u. a. (2012), S. 414f.

<sup>229</sup> Birtel; Popper (2018), S. 3f.

<sup>230</sup> Rosendahl; Schmidt; Lüder; u. a. (2015), S. 3f.

<sup>231</sup> Moctezuma; Jokinen; Postelnicu; u. a. (2012), S. 414f.

Überprüfung der Systemperformance an Hand zuvor gewählter Key Performance Indicators (KPIs), z.B. Messwerte in Toleranzbereich der zuvor ermittelten Referenzwerte, Stromverbrauch der Sensoren, etc.

#### 6. Ableiten von Maßnahmen

ggfs. iterative Nachjustierung der Einstellungen bzw. Veränderung der Sensorpunkte falls Datenerfassung keine ausreichende Aussagekraft oder fehlerhafte Werte ermittelt werden

#### 7. Anbindung an IT-System

Integration der gesammelten Daten über standardisierte Schnittstellen in ein übergeordnetes IT-System

### 3.2.4 Standards und Referenzmodelle

Seit dem breiten öffentlichen Interesse an Industrie 4.0 wurden sowohl durch Forschungseinrichtungen als auch durch Standardisierungsgruppen bzw. -gremien der Industrievertreter die ersten Standards, Referenzmodelle und Richtlinien entwickelt und publiziert. Dies trägt nicht nur zu einer Vereinheitlichung der Schnittstellen, sondern auch zu herstellerunabhängiger Kompatibilität der eingesetzten und verknüpften Systeme bei. Aus der systematischen Literaturrecherche ergaben sich im Kontext von Retrofits die folgenden Standards, welche von großen Initiativgruppen unterstützt werden und im Folgenden kurz mit ihren Hauptkomponenten beschrieben werden:

- IIRA – Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) des Industrial Internet Consortiums (IIC)<sup>232</sup> (Abbildung 14)

Diese Referenzarchitektur wurde von Industrievertretern entwickelt und erstmalig 2015 publiziert. Die Architektur unterscheidet zunächst zwischen Viewpoints, Functional Domains und Key System Concerns. Die Functional Domains beinhalten alle Funktionen eines Industrial Internet Systems (wozu auch Retrofit-Lösungen gemäß oben stehender Definition gehören). Grundsätzlich werden IIS in vier Viewpoints klassifiziert:<sup>233</sup>

- Business
- Usage
- Functional
- Implementation

Innerhalb des Functional Viewpoints gibt es wiederum fünf Functional Domains:<sup>234</sup>

- Control Domain

<sup>232</sup> Industrial Internet Consortium (2015)

<sup>233</sup> a.a.O., S. 15

<sup>234</sup> a.a.O., S. 27ff.

- Operations Domain
- Information Domain
- Application Domain
- Business Domain

Die Control Domain ist der Baustein, welcher mit dem physischen System verbunden ist.

Neben den Functional Domains existieren in der Architektur neun Key System Concerns, welche nicht durch die Functional Domains abgedeckt sind. Dies sind<sup>235</sup>:

- Safety
- Security, Trust & Privacy
- Resilience
- Integrability, Interoperability and Composability
- Connectivity
- Data Management
- Analytics
- Intelligent and Resilient Control
- Dynamic Composability and Automatic Integration

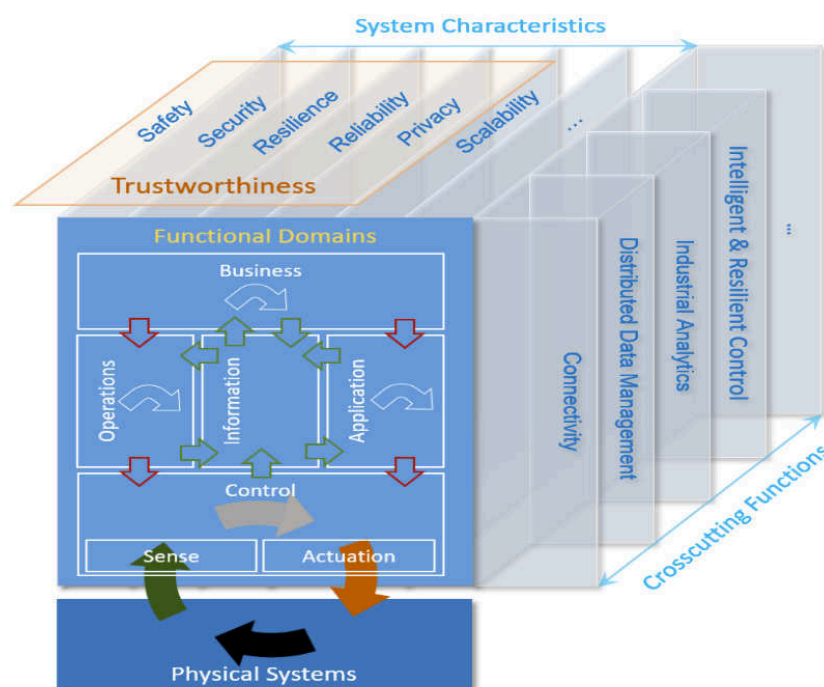


Abbildung 14: Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) - Funktionale Ansicht<sup>236</sup>

<sup>235</sup> a.a.O., S. 44ff.

<sup>236</sup> Crawford; Lin (2017), S. 11

- RAMI – Reference Architecture Model Industrie 4.0 des Verbandnetzwerks um den Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI)<sup>237</sup> (Abbildung 15)

Diese Referenzarchitektur wurde von einem Konsortium an deutschen Verbänden entwickelt und 2015 veröffentlicht. Das Modell besteht aus einem dreidimensionalen Koordinatensystem mit drei definierten Achsen. Diese sind:<sup>238</sup>

- Hierarchy Levels (entsprechend der Norm International Electrotechnical Commission (IEC) 62264)  
Hier werden die verschiedenen Funktionalitäten innerhalb der Fertigungsstätte oder der Maschine abgebildet. Im Vergleich zur internationalen Normenreihe wurde die Achse um die zwei Dimensionen „Product“ (engl. für „Werkstück“) und „Connected World“ (engl. für „Internet der Dinge und Dienste“) ergänzt, um die Applikationsfähigkeit im Industrie 4.0 Kontext zu gewährleisten.
- Life Cycle & Value Stream (entsprechend der Norm IEC 62890)  
Die Achse stellt den Lebenszyklus des Produkts bzw. der Maschine dar. Differenzierend wurden hier die zwei Kategorien „Type“ und „Instance“ eingeführt. Type deckt den Lebenszyklusabschnitt bis zum Ende der Prototypenentwicklung ab, sodass Instance ab der Serienfertigung startet.
- Layers  
Korrespondierend zu den in den Informations- und Kommunikationstechnologien üblichen Schichtmodellen, beschreiben die „Layers“ (engl. für „Schichten“) die einzelnen Sichtweisen auf bzw. die Funktionen des untersuchten Industrie 4.0 Produkts.

<sup>237</sup> Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015)

<sup>238</sup> a.a.O., S. 1

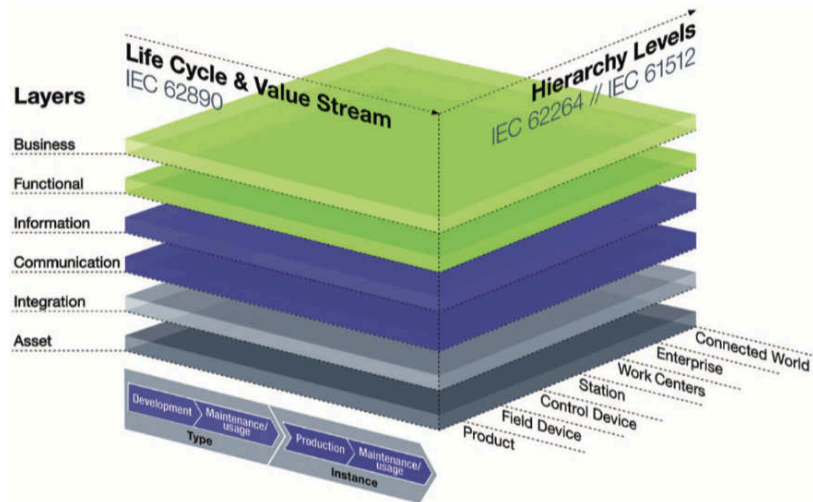


Abbildung 15: Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)<sup>239</sup>

Im Februar 2016 wurde die Kooperation zwischen dem industriegeführten IIRA und dem von verschiedenen Verbänden gemeinsam entwickelten RAMI 4.0 bekanntgegeben. Dazu wurde folgendes Schaubild (Abbildung 16) veröffentlicht, welches die korrespondierenden Elemente der beiden Architekturen kenntlich macht.

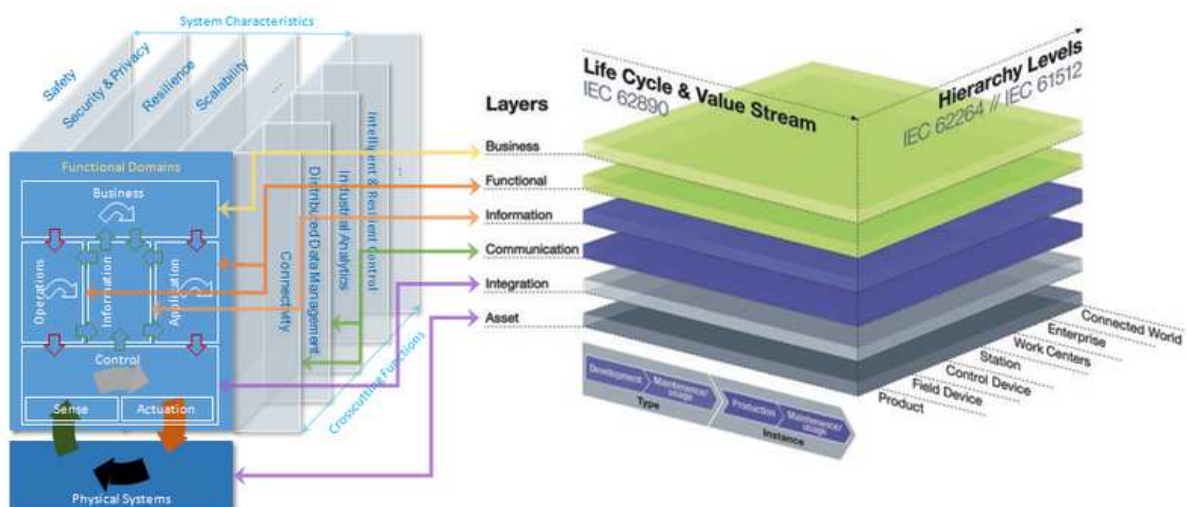


Abbildung 16: Fusion der Architekturen IIRA und RAMI 4.0<sup>240</sup>

- SITAM - Stuttgart IT-Architecture for Manufacturing der Universität Stuttgart<sup>241</sup> (Abbildung 17)

Diese Architektur wurde 2016 von Forschern der Universität Stuttgart gemeinsam mit Praxispartnern entwickelt und veröffentlicht. Sie differenziert sich von anderen Referenzmodellen durch einen ausgeprägten Fokus auf Analytics, die mobile Integration der Mitarbeiter

<sup>239</sup> ebd.

<sup>240</sup> Industrial Internet Consortium (2016)

<sup>241</sup> Kassner; Gröger; Königsberger; u. a. (2017)



und konkrete Maßnahmenvorschläge zur Integration. Während IIRA einen industrieagnostischen Ansatz verfolgt, fokussieren sich RAMI und SITAM auf die verarbeitenden Industrien.<sup>242</sup> SITAM ist zweidimensional angelegt und besteht aus drei aufeinander aufbauenden Bausteinen. Die zwei Achsen beschreiben den Produktlebenszyklus auf der einen Achse und die Differenzierung zwischen Produktlebenszyklus, Value-Adding-Middleware und Services auf der anderen. Diese bestehen aus:<sup>243</sup>

- Value-Adding Middleware
  - Bestehend aus Integration Middleware, Analytics Middleware und Mobile Middleware. Hier wird der Fokus auf den analytischen Ansatz und den mobilen Einsatz deutlich.
- Role-based Applications
  - Bestehend aus Value-Added Services und Service Composition & Access.
- Überspannend über alle Bausteine gibt es darüber hinaus die Funktionen: Data Quality, Governance und Security & Privacy.

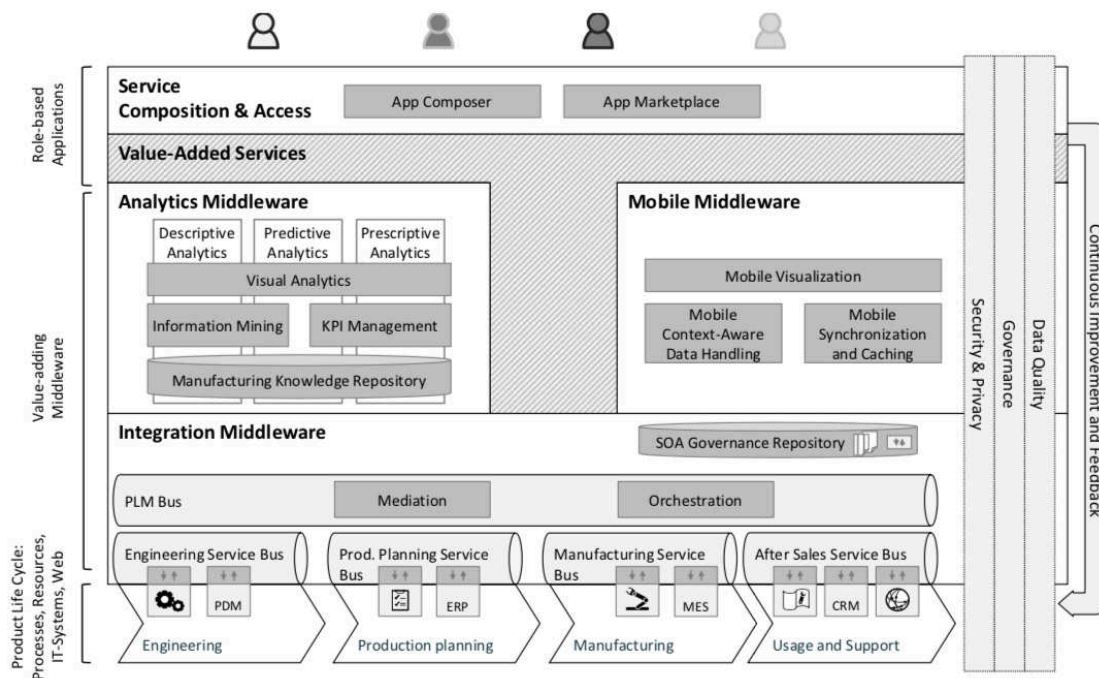


Abbildung 17: Überblick über die Stuttgart IT Architecture for Manufacturing (SITAM)<sup>244</sup>

Ungeachtet der verschiedenen Schwerpunkte der drei vorgestellten Modelle gibt es große Schnittmengen der architekturübergreifenden Elemente. Sowohl bei der Gliederung entlang der Lebenszyklusabschnitte als auch bei der Gruppierung in die verschiedenen funktionellen Elemente und den übergreifenden Themenfeldern Sicherheit, Governance und Datenschutz zeigen sich große Ähnlichkeiten. Da durch

<sup>242</sup> Weber; Königsberger; Kassner; u. a. (2017), S. 175

<sup>243</sup> Kassner; Gröger; Königsberger; u. a. (2017), S. 9

<sup>244</sup> ebd.

die Kooperation von IIRA und RAMI ein industrieagnostisches mit einem auf die fertige Industrie fokussiertem Referenzmodell verknüpft wurden, wird im Weiteren auf diese beiden Standards verwiesen.

### 3.2.5 Definition und Beschreibung eines Geschäftsmodells

Zu den Komponenten und Eigenschaften eines Geschäftsmodells (im engl. „business model“) gibt es unterschiedliche Definitionen von verschiedenen Autoren. Drei für den innovativen, technologisch-industriellen Kontext relevante Definitionen, sind die bekannten und häufig zitierten Definitionen von Chesbrough und Rosenbloom (2002)<sup>245</sup>, Osterwalder und Pigneur (2009)<sup>246</sup> und Amit und Zott (2001)<sup>247</sup>.<sup>248</sup>

Chesbrough und Rosenbloom (2002)<sup>249</sup> definieren den Begriff in einer Eingangs-Ausgangsrelation, „*The business model provides a coherent framework that takes technological characteristics and potentials as inputs, and converts them through customers and markets into economic outputs*“. Osterwalder und Pigneur (2009)<sup>250</sup> definieren, „*A business model describes the rationale of how an organization creates, delivers, and captures value*“. Osterwalder (2004)<sup>251</sup> beschrieb den Begriff des Geschäftsmodells zuvor als Kombination zweier Komponenten, „(A business model is) 1.)... *an abstract conceptual model that represents the business and money earning logic of a company.* (and) 2.) ... *a business layer (acting as a sort of glue) between business strategy and processes*“. Morris et al. (2005)<sup>252</sup> definieren das Geschäftsmodell in seinem elementarsten Grundsatz über die ökonomische Komponente, die die Frage beantwortet, wie ein Unternehmen durch die Erbringung eines Mehrwerts für seine Kunden Erlöse erwirtschaftet. Mit Bezug auf transaktionsfokussierte und internetbasierte Geschäftsmodelle der Jahrtausendwende, definieren Amit und Zott (2001)<sup>253</sup>, „*A business model depicts the content, structure, and governance of transactions designed so as to create value through the exploitation of business opportunities*“.

Teece et al. (2010)<sup>254</sup> wählen die Perspektive des Management, und definieren ein Geschäftsmodell als eine Managementhypothese, die beschreibt, was ein Kunde möchte, wie der Kunde es möchte, wie sich das Unternehmen am besten aufstellt,

<sup>245</sup> Chesbrough; Rosenbloom (2002)

<sup>246</sup> Osterwalder; Pigneur (2009)

<sup>247</sup> Amit; Zott (2001)

<sup>248</sup> Coombes; Nicholson (2013), S. 657ff.

<sup>249</sup> Chesbrough; Rosenbloom (2002), S. 532

<sup>250</sup> Osterwalder; Pigneur (2009), S. 14

<sup>251</sup> Osterwalder (2004), S. 15

<sup>252</sup> Morris; Schindehutte; Allen (2005), S. 726

<sup>253</sup> Amit; Zott (2001), S. 511

<sup>254</sup> Teece (2010), S. 191

um die Kundenwünsche zu erfüllen, für die Erfüllung bezahlt zu werden und dadurch einen Gewinn erwirtschaftet.

Viele Geschäftsmodelldefinitionen sind mit einer Struktur aus Geschäftsmodellkomponenten verknüpft. Beispielhaft wird im Folgenden die Geschäftsmodellstruktur von Chesbrough und Rosenbloom (2002)<sup>255</sup> – ergänzt um die Erlöserzielungskomponente nach Chesbrough (2010)<sup>256</sup> – dargelegt. Diese beinhaltet alle grundlegenden Komponenten, die sich auch in anderen Definitionen wiederfinden lassen. Demnach erfüllt ein Geschäftsmodell sieben grundlegende Funktionen:

- Das Leistungsversprechen (im engl. „value proposition“) zu definieren, d.h. den Wert für den Nutzer des Produkts festzulegen
- Das zu adressierende Marktsegment zu identifizieren, d.h. für welche Nutzer ist das Produkt bzw. die Technologie nutzbringend und wofür wird der Nutzer bezahlen bzw. wie entsteht der Umsatz
- Die Wertschöpfungskette (im engl. „value chain“) des Unternehmens aufzubauen sowie die etwaig fehlenden, für die Wertschöpfungskette benötigten Komponenten zu identifizieren
- Die Erlöserzielungsmöglichkeiten für das Angebot detailliert zu beschreiben
- Die Kostenstruktur und daraus resultierende Gewinnerwartung abzuschätzen, vorausgesetzt das Leistungsversprechen und die Wertschöpfungskette sind bekannt
- Den Platz bzw. das Glied in der Wertschöpfungskette zwischen Zulieferern und Kunden, welchen das Unternehmen einnimmt, abzugrenzen bzw. zu definieren
- Die Strategie des Unternehmens zu beschreiben, die den Wettbewerbsvorteil sichern und ausbauen soll

Eine kompaktere Definition eines Geschäftsmodells bieten z.B. Johnson et al. (2008)<sup>257</sup>, die vier Elemente („Customer Value Proposition“, „Profit Formula“, „Key Resources“, „Key Process“) differenzieren. Auch Shafer et al. (2005)<sup>258</sup> bieten eine auf vier Elementen basierende Geschäftsmodelldefinition („Strategic Choices“, „Value Network“, „Create Value“, „Capture Value“), welche mit besonderer Berücksichtigung von Technologieunternehmen entwickelt wurde.

Für die weitere Untersuchung wird subsummierend angenommen, dass es sich bei einem Geschäftsmodell um ein vorgegebenes, intrinsisch statisches Gerüst an

---

<sup>255</sup> Chesbrough; Rosenbloom (2002), S. 533f.

<sup>256</sup> Chesbrough (2010), S. 355

<sup>257</sup> Johnson; Christensen; Kagermann (2008), S. 3ff.

<sup>258</sup> Shafer; Smith; Linder (2005), S. 202

Variablen handelt, welches die wertschöpfende Tätigkeit eines Unternehmens abbildet.<sup>259</sup>

### 3.2.6 Definition und Beschreibung von datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodellen im Industrie 4.0 Kontext

Durch die Evolution in die Ära der Industrie 4.0 und die wachsende Bedeutung des industriellen Internets der Dinge werden sich nicht nur etablierte Wertschöpfungsketten verändern, sondern auch die Geschäftsmodelle wandeln sowie völlig neue Geschäftsmodelle etablieren.<sup>260</sup> Porter und Heppelmann (2014)<sup>261</sup> stellen in diesem Kontext die durch die smarten, vernetzten Produkte hervorgerufene Grundsatzfrage vieler Unternehmen, „*What business am I in?*“. Diese Produkte führen zu einer Reihe strategischer Fragen bezüglich der Wertschöpfungsrolle von Unternehmen und stellen sämtliche Komponenten eines Geschäftsmodells auf den Prüfstand.<sup>262</sup> In einer Expertenbefragung von Wee et al. (2015)<sup>263</sup> in den USA, Deutschland und Japan gaben 80% der Befragten an, dass Sie davon ausgehen, dass Industrie 4.0 das Geschäftsmodell ihres Unternehmens beeinflussen wird. Weiter erklärten in einer Branchenbefragung 84,1% der Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus „...*sich bisher noch nicht mit dem Thema Industrie 4.0 im Bereich des Data-driven Services auseinandergesetzt...*“ zu haben.<sup>264</sup> Johnson et al. (2008)<sup>265</sup> beschreiben, dass der Aufruf bzw. die Notwendigkeit das eigene Geschäftsmodell zu verändern, häufig von einer Veränderung der externen (Markt-)Bedingungen initiiert wird. Ergänzend können auch neue technologische Möglichkeiten oder die Notwendigkeit operativer Verbesserungen Geschäftsmodellveränderungen bewirken.<sup>266</sup>

Die aktuelle Relevanz der Fragestellung, ob das eigene Geschäftsmodell von IIoT betroffen ist, zeigt die von Arnold et al. (2016)<sup>267</sup> durchgeführte Studie auf. Hier beantworten 100% der befragten Unternehmen aus den Branchen Medizintechnik, Elektrotechnik und IKT, dass ihre Geschäftsmodellkomponente „Core Competencies“ (zur Begriffsdefinition, s. Osterwalder und Pigneur (2009)<sup>268</sup>) von IIoT-ausgelösten Veränderungen betroffen ist. Bei Automobilzulieferern und im Maschinen- und Anlagenbau waren es 87%, die diesem zustimmten.

<sup>259</sup> Burmeister; Luettgens; Piller (2016), S. 128

<sup>260</sup> Kagermann; Wahlster; Helbig (2013b), S. 30

<sup>261</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>262</sup> ebd.

<sup>263</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 16

<sup>264</sup> Lichtblau; Stich; Bertenrath; u. a. (2015), S. 48

<sup>265</sup> Johnson; Christensen; Kagermann (2008), S. 7f.

<sup>266</sup> Burmeister; Luettgens; Piller (2016), S. 134

<sup>267</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2016), S. 11f.

<sup>268</sup> Osterwalder; Pigneur (2009)

Für viele produzierende Unternehmen bedeutet dies, dass sie ihre internen Ressourcen neu strukturieren müssen, um neue Geschäftsmodelle mit digitalen Komponenten zu ermöglichen.<sup>269</sup> Die angestrebte Geschäftsmodelltransformation setzt dafür zunächst Investitionen in die Produktionsflexibilität voraus, welche sich jedoch auch darüber hinaus positiv auf die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit auswirkt.<sup>270</sup> Eine schematische Übersicht eines digitalen Transformationsframeworks, welches die technologische und die betriebswirtschaftliche Perspektive vereint präsentieren Roedder et al. (2016)<sup>271</sup> im nachfolgenden Schaubild (Abbildung 18).

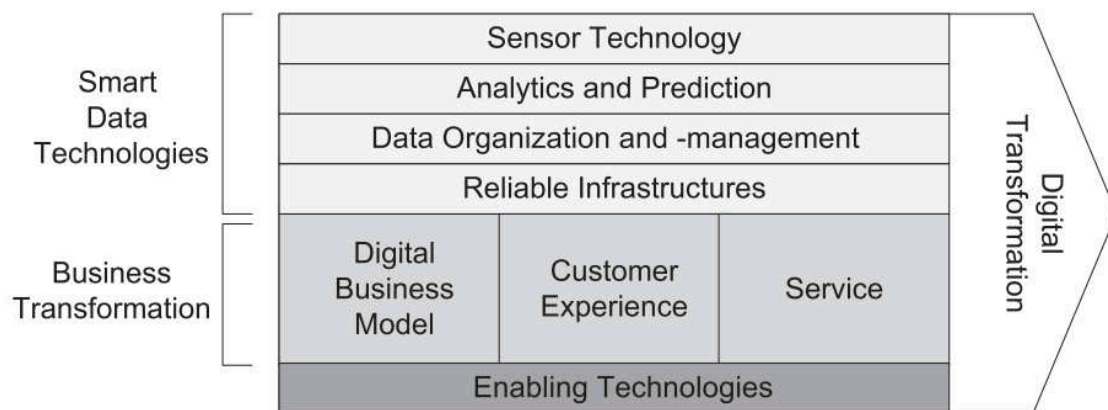


Abbildung 18: Digitales Transformationsframework<sup>272</sup>

Iansiti und Lakhani (2014)<sup>273</sup> definieren ein Geschäftsmodell an Hand von zwei kurzen Fragen („*How (does) the organization create value for its customers (the customer value proposition) and how (does) it capture that value (how it makes money)*“), und stellen dann fest, dass die digitale Transformation beides verändern wird.

### Geschäftsmodelldefinitionen mit Bezug zu Industrie 4.0

Im Kontext von Industrie 4.0 wurden daher die allgemeinen Geschäftsmodelldefinitionen weiterentwickelt und um segment-, produkt- und innovationsbezogene Anpassungen ergänzt. So wird z.B. expliziter Bezug auf durch die Integration von Informationstechnologien entstehende Daten genommen, die im industriellen Bereich durch die Erfassung, Verarbeitung und Vernetzung erhoben und verwertet werden. Neben der Erweiterung von bestehenden Produkten um digitale Dienste, werden auch gänzlich neue Geschäftsmodelle entwickelt, vorgestellt und pilotiert. Dabei stimulieren sich die beiden aktuellen industriellen Trends der Dienstleistungs-

<sup>269</sup> Wei; Song; Wang (2017), S. 87

<sup>270</sup> a.a.O., S. 96

<sup>271</sup> Roedder; Dauer; Laubis; u. a. (2016), S. 2799

<sup>272</sup> ebd.

<sup>273</sup> Iansiti; Lakhani (2014)

orientierung und der steigende Einsatz von vernetzten Systemen gegenseitig.<sup>274</sup> Das Gros der neuen auf IloT-basierenden Geschäftsmodelle zeigt eine hohe Service-Orientierung, welche vornehmlich auf der Verwertung der erfassten Daten basiert.<sup>275</sup> Eine Literaturübersicht der evolutionären Geschäftsmodellveränderungen, die durch IloT initiiert worden sind, präsentieren Arnold et al. (2017)<sup>276</sup>, und zu IloT aus einer allgemeinen betriebswirtschaftlichen Perspektive Arnold (2017)<sup>277</sup>. Zu den gänzlich neuen Geschäftsmodellen, IloT-basierten Geschäftsmodellen und Geschäftsmodellveränderungen gibt es abgesehen von wenigen Leuchtturmprojekten nur eine geringe Anzahl an Publikationen.<sup>278</sup> Eine Übersicht von realisierten Praxisbeispielen aus dem deutschen Maschinen- und Anlagenbau liefert z.B. Bellersheim (2016)<sup>279</sup>.

### Ansätze zur Geschäftsmodellstrukturierung und -segmentierung

Ehret et al. (2013)<sup>280</sup> haben einen für den Industrie 4.0-Kontext adaptierten Geschäftsmodellstrukturentwurf entwickelt, der aus vier, auf den *Value* (aus dem engl. für „Nutzen“ / „Wertschöpfung“) fokussierten Komponenten besteht:

- Value Proposition  
Identifikation von Wertschöpfungsmöglichkeiten.  
*„In the case of IloT, potential value propositions for manufacturers who currently buy or lease their machines could be linked to the benefits of transparency, real-time data, and remote access and control.“<sup>281</sup>*
- Value Capturing Mechanism  
Übersetzung des tatsächlichen Nutzgewinns für den Kunden in einen finanziellen Gegenwert für den Anbieter.  
*„One key motivation of IloT is to broaden potential revenue streams beyond the sales of manufacturing equipment. In particular, business models consider contracts that include leasing, renting, maintenance and repair, predictive modelling, process optimisation, licensing, and multi-sided markets where one market stimulates the cash flow of another side of the market.“<sup>282</sup>*
- Value Network  
Beschreibung der zunehmend integrierten Wertschöpfungsketten und zweckgebundene Zusammensetzung von firmenübergreifenden

<sup>274</sup> Lerch; Gotsch (2014), S. 264

<sup>275</sup> Arnold (2017), S. 14

<sup>276</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017b), S. 7

<sup>277</sup> Arnold (2017)

<sup>278</sup> Arnold (2017), S. 16

<sup>279</sup> Bellersheim (2016), S. 11ff.

<sup>280</sup> Ehret; Kashyap; Wirtz (2013), S. 652ff.

<sup>281</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 8

<sup>282</sup> ebd.

Geschäftseinheiten, um die komplexen Wertströme innerhalb des Lieferantennetzwerks abbilden zu können.

„*Networking is key to the configuration of IloT, as it resides on the co-creation of a wide range of players.*“<sup>283</sup>

- Value Communication

Die angesprochene, gemeinschaftliche Wertschöpfung im Netzwerk basiert auf den Wahrnehmungen und Interaktionen zwischen den Teilnehmern des selbigen.

„*Because IloT typically requires the co-creation of several players, complexity and uncertainty are high and drive an intensive need for visibility and communication. Thus, communication, social capital, and trust play a critical role in business model design.*“<sup>284</sup>

Diese wertschöpfungszentrierte Herangehensweise ist für die datenbasierten, bzw. für durch digitale Elektronik ermöglichte Geschäftsmodelle im Industrie 4.0 Kontext eine Methodik um neue Geschäftsmodelle zu entwickeln und zusätzliche, werthaltige Variablen wie die Maschinendaten zu berücksichtigen.<sup>285</sup> Geisberger und Broy (2015)<sup>286</sup> sehen Geschäftsmodelle, die in der Wertschöpfung auf Daten und Informationen basieren, zukünftig als Schlüssel zum Erfolg für viele Zulieferer.

Alternative Segmentierungen von digital-unterstützten Geschäftsmodellen gibt es z.B. von Roedder et al. (2016)<sup>287</sup> mit einem Schwerpunkt auf *Smart and Big Data technology*, von Dinter et al. (2015)<sup>288</sup> in Form einer schematischen Geschäftsmodell-Morphologie für Big Data oder von Ibarra et al. (2018)<sup>289</sup> mit einem Schwerpunkt auf die jeweilige Orientierung des Modells.

Eine Publikationsübersicht, die aufzeigt welche Veränderungen die Integration von IloT auf bestehende Geschäftsmodelle in der verarbeitenden Industrie hat, bieten Arnold et al. (2016)<sup>290</sup>. Sie gruppieren die Ergebnisse entlang dreier Themengruppen: 1.) *Value offering*, zusätzliche Dienste werden auf Basis von erhobenen Daten angeboten; 2.) *Collaboration and Networking*, neuartige Angebote, die auf der engeren Verzahnung von Kunden und Lieferanten basieren; 3.) *Human resources*, steigende Anforderungen an das Qualifikationsprofil von Mitarbeitern. Die beiden erstgenannten werden für die weitere Untersuchung der Geschäftsmodellimplikationen im Fokus stehen. Der dritte Aspekt wird auf Grund der Eigenständigkeit der Forschungsfrage im weiteren Kontext nicht behandelt.

<sup>283</sup> ebd.

<sup>284</sup> ebd.

<sup>285</sup> a.a.O., S. 651

<sup>286</sup> Geisberger; Broy (2015), S. 182

<sup>287</sup> Roedder; Dauer; Laubis; u. a. (2016), S. 2798

<sup>288</sup> Dinter; Franz; Grapenthin; u. a. (2015), S. 16

<sup>289</sup> Ibarra; Ganzarain; Igartua (2018), S. 7

<sup>290</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2016), S. 5f.

Ehret und Wirtz (2017)<sup>291</sup> konkretisieren neue IloT-basierte Geschäftsmodelle, indem sie zwischen drei verschiedene Typen differenzieren: 1.) Anlageneigentumsbezogene Möglichkeiten („*asset-driven opportunities of IloT*“), 2.) Service Innovation, die die Fertigung unterstützen („*service innovations that aid manufacturing*“) und 3.) Durch Services erst ermöglichte Geschäftsmöglichkeiten, die auf Endverbraucher abzielen („*service-driven opportunities targeted at end users*“). Die drei Typen unterscheiden sich voneinander in dem jeweils zu Grunde liegenden Wertschöpfungstreiber (Anlagenbesitz, Daten und Endkundenbeziehungen). Arnold et al. (2017)<sup>292</sup> differenzieren basierend auf einer systematischen Literaturrecherche zwischen drei verschiedenen, durch IloT initiierten, neuartigen Geschäftsmodellen, auf die im weiteren Verlauf näher eingegangen wird:

1. Cloud-based BMs (Business Models) (im Deutschen, abgekürzt: dt.: „Cloud-basierte Geschäftsmodelle“)
 

Diese Geschäftsmodelle basieren auf einer digitalen Internetplattform, welche digitale Infrastrukturen zur Verfügung stellt, oder Zugriff auf Software über das Internet ermöglicht. Differenzierendes Merkmal ist, dass über das Medium der Cloud Anwender Zugriff auf Leistungen haben, ohne selber physischer Eigentümer von Hardware zu sein.
2. Service-oriented BMs (Business Models) (im dt.: „Service-orientierte Geschäftsmodelle“)
 

Service Geschäftsmodelle in dem hier beschriebenen digitalen, industriellen Zusammenhang, basieren auf der Verwertung von Daten, welche ergänzende oder neuartige Leistungsangebote gegenüber Kunden ermöglicht.
3. Process-oriented BMs (Business Models) (im dt.: „Prozess-orientierte Geschäftsmodelle“)
 

Diese Geschäftsmodelle zielen auf die Optimierung bestehender Prozesse ab. Das Spektrum der Optimierungsfelder erstreckt sich dabei von der Kostenreduzierung in Logistikprozessen bis zu reduzierten Standzeiten von Maschinen und Anlagen. (vgl. auch Buchholz et al. (2016)<sup>293</sup>)

### Praxisbeispiele für Geschäftsmodelle

Mit einem alternativen Ansatz wurden Geschäftsmodellkonzepte auf Basis abstrahierter Praxismodelle entwickelt. Fleisch et al. (2014)<sup>294</sup> haben, basierend auf den von Gassmann et al. (2013)<sup>295</sup> entwickelten *55 Geschäftsmodellkonzepten*, die Rolle der Informationstechnologien auf die Entwicklung neuer, physische Produkte

<sup>291</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 5f.

<sup>292</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017a), S. 371

<sup>293</sup> Buchholz; Gausemeier; Echterhoff; u. a. (2016), S. 25

<sup>294</sup> Fleisch; Weinberger; Wortmann (2014)

<sup>295</sup> Gassmann; Frankenberger; Csik (2013)



und digitale Dienste verbindende (sog. *hybrider*<sup>296</sup>) Geschäftsmodelltransformationen für das Internet der Dinge abgeleitet. Sie fanden dabei nicht nur Möglichkeiten wie das Internet der Dinge bestehende Geschäftsmodellmuster verstärken kann (für 20 der 55 Geschäftsmodellkonzepte), sondern auch zwei neuartige Muster.<sup>297</sup> Sie entwickeln den Begriff der *Digitally Charged Products* (im dt. „digital aufgeladene Produkte“) als ein Muster, welches ein Angebot beschreibt, das durch die Kombination von physischen Produkten mit sensor-basierten Digitaldiensten und neuen Leistungsversprechen entsteht.<sup>298</sup> Sie schlussfolgern daraus, dass bekannte dienstleistungsorientierte Geschäftsmodellkonzepte somit eine neue Relevanz in physischen Industrien gewinnen werden. Das Geschäftsmodellkonzept *Digitally Charged Products* besteht aus sechs Komponenten, die hier kurz beschrieben werden<sup>299</sup>:

1. *Physical Freemium*

Das verkaufte physische Gut beinhaltet eine Softwarekomponente, die in der Auslieferung einige Funktionen enthält, sich gegen Bezahlung jedoch um weitere Funktionen erweitern lässt.

2. *Digital Add-On*

Ein physisches Gut wird mit einer sehr geringen Gewinnmarge verkauft. Der Käufer kann für sein Produkt Softwarefunktionen mit einer deutlich höheren Gewinnmarge im Anschluss dazu erwerben und aktivieren.

3. *Digital Lock-in*

Ähnlich dem „*Razor and Blade Modell*“ aus der Konsumgüterindustrie, zielt der Digital Lock-in darauf ab, dass mittels eines digitalen Handschlags sichergestellt wird, dass nur zertifizierte Ergänzungen vom Basisprodukt akzeptiert werden.

4. *Product as Point of Sales*

Physische Güter werden zum Vertriebskanal für weitere Produkte und/oder Dienstleistungen, welche der Nutzer entweder über das Produkt direkt oder indirekt über ein Intermediärprodukt konsumiert.

5. *Object Self Service*

Physische Objekte sind durch ihre Vernetzung in der Lage selbstständig Transaktionen wie Bestellungen auszulösen. Somit können diese Produkte z.B. Verbrauchsmaterialien selbstständig nachbestellen.

6. *Remote Usage and Condition Monitoring*

Vernetzte Produkte sind in der Lage Statusmeldungen zu ihrem Betriebszustand in Echtzeit zu übermitteln. Dies ermöglicht eine Fern-Überwachung der Anlagen sowie eine präventive Fehlerdiagnose mittels

<sup>296</sup> Haggemüller; Martin; Preisinger; u. a. (2016)

<sup>297</sup> Fleisch; Weinberger; Wortmann (2014), S. 12f.

<sup>298</sup> a.a.O., S. 11

<sup>299</sup> Gassmann; Frankenberger; Csik (2013), S. 9

entsprechender Algorithmen. Insbesondere durch die sinkenden Kosten für solche Lösungen wird es zunehmend attraktiver mehr Produkte mit diesen Diagnosemöglichkeiten auszustatten.

Einen vergleichbaren, abstrakten musterbasierten Ansatz zur Entwicklung von Geschäftsmodellen haben auch Rudtsch et al. (2014)<sup>300</sup> gewählt. Sie legen dabei einen Fokus auf die Risikoverteilung der beteiligten Parteien und die Überwindung innerbetrieblicher Barrieren durch die Nutzung einer Bibliothek von gesammelten Geschäftsmodellmustern.

Auf die Analysen Endkonsumenten-fokussierter IoT-Geschäftsmodelle wie z.B. die Übersicht von Bucherer und Uckelmann (2011)<sup>301</sup> oder Hui (2013)<sup>302</sup> wird im Folgenden nicht näher eingegangen.

Mit Bezug auf die Forschungsfrage, die Analyse und die daraus resultierende Entwicklung eines Frameworks für Retrofits werden die Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche zum Themenbereich der Geschäftsmodelle im Folgenden subsumierend in drei Geschäftsmodelltypen gruppiert, kategorisiert und präsentiert: Cloud-basierte Geschäftsmodelle, Service-orientierte Geschäftsmodelle, Prozess-orientierte Geschäftsmodelle.

### 3.2.6.1 Cloud-basierte Geschäftsmodelle

Auf die reinen oder puren Cloud-basierten Geschäftsmodellen wird nicht eigenständig eingegangen, da sie bei einem Retrofit wegen der einem Retrofit-inhärenten Hardware-Komponente entsprechend der Definition von Arnold et al. (2017)<sup>303</sup> keine Anwendung findet. Jedoch finden sich einige Elemente der Cloud-basierten Geschäftsmodelle als komplettierender Bausteine in der Servitisation-Strategie wieder und werden später in Form von eigenständigen Geschäftsmodellen im Service Kontext ausgeführt. Auch die Analogie dieses Geschäftsmodell-Typus wird im Zusammenhang mit der Geschäftsmodelltransformation zum Service-Anbieter später detailliert ausgeführt.

### 3.2.6.2 Service-orientierte Geschäftsmodelle

Bei der Betrachtung neuer Geschäftsmodelle rücken die Service-orientierten Geschäftsmodelle, *Product-Service-Systems* (PSS)<sup>304 305 306</sup>, die *Servitisation* (bzw.

<sup>300</sup> Rudtsch; Gausemeier; Gesing; u. a. (2014), S. 315ff.

<sup>301</sup> Bucherer; Uckelmann (2011)

<sup>302</sup> Hui (2014)

<sup>303</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017a), S. 375f.

<sup>304</sup> Baines; Lightfoot; Evans; u. a. (2007)

<sup>305</sup> Lerch; Gotsch (2015)

im amerikanischen Englisch: *Servitization*; sinngemäß übersetzt: „Verdienstleistung“) von Produkten und Maschinen für die industrielle Anwendung (auch als *servitization in/of manufacturing* bekannt) und *X-as-a-Service* Modelle sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis zunehmend in den Fokus.<sup>307 308 309 310 311 312 313 314</sup> Synonym zu PSS wird im Zusammenhang mit digitalen Diensten gelegentlich auch von *Smart Services* gesprochen.<sup>315</sup> Kagermann (2014)<sup>316</sup> beschreibt, dass „... *in der Smart Service Welt (Produkte) mit physischen und internetbasierten Dienstleistungen zu Produkt-Service-Paketen (verschmelzen)*“. *X-as-a-Service* (Abkürzung für „*Everything as a Service*“) beschreibt die bedarfsgerechte Bereitstellung der Smart Services.<sup>317</sup> Alternativ werden diese Modelle aus der Perspektive des Anbieters auch *Build-Own-Operate* (BOO) Modelle genannt.<sup>318</sup> Bauernhansl et al. (2015)<sup>319</sup> sprechen davon, dass "*Geschäftsmodelle der Industrie 4.0 durch eine konsequente Serviceorientierung gekennzeichnet (sind)*". Die befragten Experten einer gemeinsamen Studie des World Economic Forums und A.T. Kearneys (2017)<sup>320</sup> gehen davon aus, dass in absehbarer Zukunft in der Industrie 25% der aktuellen Kapitalaufwendungen für Sachanlageinvestitionen (im engl. „*Capital Expenditures*“, abgekürzt: CapEx) durch Services substituiert werden.

Die Verzahnung der Begrifflichkeiten *Servitisation* und *PSS* erklärt sich an Hand der folgenden Definition. *Servitisation* ist nach Baines et al. (2009)<sup>321</sup> definiert als, „*the innovation of an organisation’s capabilities and processes to better create mutual value through a shift from selling product to selling Product-Service Systems*“. Der *Servitisation*-Trend wird dabei insbesondere von finanziellen Motiven gefördert. Denn der Bereich der *PSS* verspricht für die verarbeitende Industrie u.a. mehr Umsatz und höhere Gewinnspannen.<sup>322 323</sup> Darüber hinaus können auch Strategie und Marketingmotive ausschlaggebend sein.<sup>324</sup>

<sup>306</sup> Aurich; Fuchs; Wagenknecht (2006)

<sup>307</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017a), S. 377

<sup>308</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 14f.

<sup>309</sup> Vandermerwe; Rada (1988)

<sup>310</sup> Cedeño; Papinniemi; Hannola; u. a. (2018)

<sup>311</sup> Kohtamäki; Helo (2015)

<sup>312</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 36f.

<sup>313</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 47ff.

<sup>314</sup> Baines; Lightfoot; Benedettini; u. a. (2009)

<sup>315</sup> Kampker; Frank; Schwartz; u. a. (2018), S. 152

<sup>316</sup> Kagermann (2014), S. 67

<sup>317</sup> Arbeitskreis Smart Service Welt; acatech (2015), S. 73

<sup>318</sup> Rudtsch; Gausemeier; Gesing; u. a. (2014), S. 317

<sup>319</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 47

<sup>320</sup> World Economic Forum; A.T. Kearney (2017), S. 11

<sup>321</sup> Baines; Lightfoot; Benedettini; u. a. (2009), S. 4

<sup>322</sup> Neely (2008), S. 103ff.

<sup>323</sup> Baines; Lightfoot; Benedettini; u. a. (2009), S. 7

<sup>324</sup> ebd.

IIoT scheint für die weitere Entwicklung von Servitisation eine entscheidende Rolle zu spielen. Monostori (2014)<sup>325</sup> stellt fest, dass eingebettete Systeme bereits zur Realisierung vieler PSS beigetragen haben und Rymaszewska et al. (2017)<sup>326</sup> kommen zu der Erkenntnis, dass IoT-basierte Lösungen darüber hinaus über ein weiteres „*gewaltiges Potenzial*“ für die Anwendung von Servitisationstrategien verfügen.

### Definitionen von PSS

Mont (2002)<sup>327</sup> definiert PSS allgemein als ein System aus Produkten, Dienstleistungen, unterstützenden Netzwerken und Infrastruktur, welches nicht nur wettbewerbsfähig ist und Kundenbedürfnisse bedient, sondern auch einen geringeren ökologischen Einfluss hat als existierende Geschäftsmodelle. Lerch und Gotsch (2015)<sup>328</sup> definieren PSS im digital-industriellen Rahmen als integrierte, gebündelte Angebote von physischen Produkten mit immateriellen Diensten bzw. Dienstleistungen und digitalen Architekturen, welche Kundenbedürfnisse in einer unabhängigen, automatisierten Form bedienen. Dabei wird zwischen drei verschiedenen Typen von PSS differenziert: a.) produkt-orientierte, b.) nutzungsorientiert und c.) ergebnis-orientierte PSS.<sup>329 330</sup>

Im Zusammenhang mit der Tertiarisierung von Fabriken wird auch von *Industrial Product-Service Systems* (IPS<sup>2</sup>) gesprochen.<sup>331</sup> Einen besonderen Fokus auf die Nutzung von CPS als hybrider Software-Baustein bei der Entwicklung von PSS legt auch Mikusz (2014)<sup>332</sup> und entwickelt darauf basierend das Konzept des *Industrial Software Product-Service System* (abgekürzt: ISPSS oder ISPS<sup>2</sup>), welches die Softwarekomponente als gleichberechtigte Komponente neben dem physischen Produkt und der immateriellen Dienstleistung sieht.

Eine Übersicht und finanzielle Analyse bestehender industrieller Product-Service Geschäftsmodelle haben Parida et al. (2014)<sup>333</sup> entwickelt und kommen zu dem Schluss, dass insbesondere integrierte und gebündelte PSS attraktiv sind. Eine weitere Analyse, die auf der ersten Ebene zwischen eigentumsorientierten und serviceorientierten PSS differenziert, und auf der zweiten Ebene zwischen fünf verschiedenen PSS Geschäftsmodellen unterscheidet, haben Adrodegari et al. (2015)<sup>334</sup> entwickelt.

---

<sup>325</sup> Monostori (2014), S. 10

<sup>326</sup> Rymaszewska; Helo; Gunasekaran (2017), S. 103

<sup>327</sup> Mont (2002), S. 239

<sup>328</sup> Lerch; Gotsch (2015)

<sup>329</sup> Tukker (2004), S. 248

<sup>330</sup> Reim; Parida; Örtqvist (2015), S. 73

<sup>331</sup> Meier; Roy; Seliger (2010), S. 607f.

<sup>332</sup> Mikusz (2014)

<sup>333</sup> Parida; Sjödin; Wincent; u. a. (2014), S. 179f.

<sup>334</sup> Adrodegari; Alghisi; Ardolino; u. a. (2015), S. 248f.

Aurich et al. (2006) stellen ein Mehrphasenmodell inkl. Fallstudie zum systematischen Design von PSS auf Basis von technischen (techn.) Dienstleistungen im vollständigen Lebenszyklus vor.<sup>335</sup>

Mathieu (2001)<sup>336</sup> beschreibt die allgemeine Typologie der Servicestrategien in Form des Nutzens, der Kosten und der Optionen der Zusammenarbeit in fertigen Industrien und differenziert darüber hinaus zwischen Kundenservice, Produktservice und Service als Produkt. Dabei werden die finanziellen Vorteile (mittels des Pricings) sowie das erweiterte Wertschöpfungsspektrum hervorgehoben.

### Kontext des Servitisation-Trends

Häufig wird mit Bezug auf den Servitisation-Trend auch von der Transformation der Produkte hin zu Service-Plattformen gesprochen.<sup>337</sup> Eine vergleichbare Entwicklung konnte im letzten Jahrzehnt in der Informationstechnologie, genauer im Bereich des Rechenzentrums- und IT-Infrastrukturbetriebs, beobachtet werden. Marston et al. (2011)<sup>338</sup> erkennen im wachsenden Segment des Cloud Computings einen Wandel der Kosten für Informationstechnologie von IT-Investitionsausgaben (CapEx) hin zu IT-Betriebskosten (OpEx). Hier obliegt der Betrieb der Rechenzentren und das Vorhalten der (von Kunden nachgefragten) Kapazitäten nicht mehr dem Unternehmen, sondern wird von spezialisierten, externen Firmen übernommen. In dem zugrunde liegenden Geschäftsmodell offerieren diese Anbieter den Unternehmen nur noch die tatsächlich nachgefragte und abgerufene Rechenleistung oder Speicherkapazität (auch *Infrastructure-as-a-Service*, *IaaS* genannt).<sup>339 340</sup> Dieses Konzept wird auch als *Cloud-based BM (Business Model)* beschrieben.<sup>341</sup> Cloud-Konzepte, bei der die Cloud eine für Drittanbieter offene Plattform zur Integration und Distribution ihrer eigenen Lösungen darstellt, werden auch *Plattform-as-a-Service* (oder *PaaS*) genannt.<sup>342</sup> Eine Übersicht der verschiedenen Integrationstiefen und Service-Levels dieses Geschäftsmodelltypus lässt sich dem Schaubild von Gao et al. (2015)<sup>343</sup> entnehmen (Abbildung 19).

<sup>335</sup> Aurich; Fuchs; Wagenknecht (2006)

<sup>336</sup> Mathieu (2001)

<sup>337</sup> Ehret; Wirtz (2010), S. 142

<sup>338</sup> Marston; Li; Bandyopadhyay; u. a. (2011), S. 178

<sup>339</sup> ebd.

<sup>340</sup> Dremel; Herterich (2016), S. 659

<sup>341</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017a), S. 375f.

<sup>342</sup> a.a.O., S. 376

<sup>343</sup> Gao; Wang; Teti; u. a. (2015), S. 12

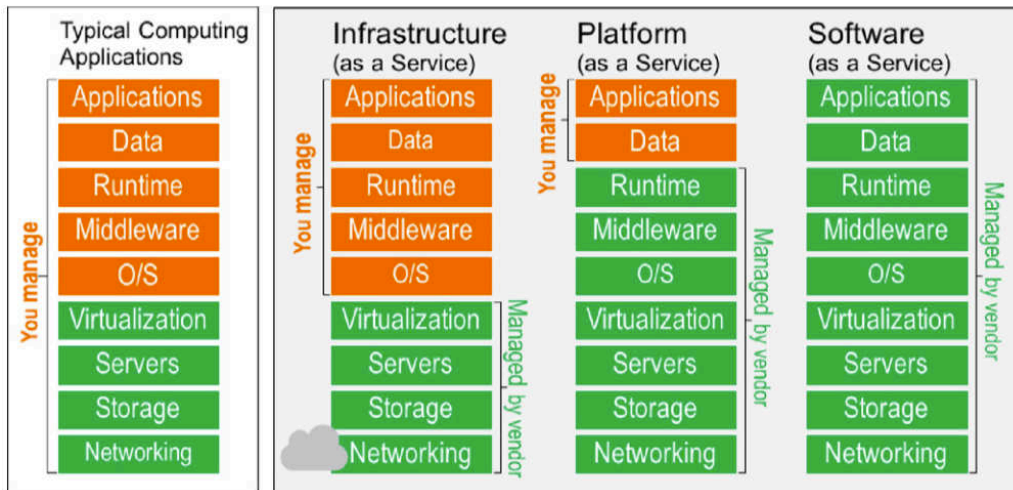


Abbildung 19: Vergleich von Service Level und Anwenderbeteiligung.<sup>344</sup>

Der hier beschriebene Strategie- und damit einhergehende Geschäftsmodellwandel ist erheblich, da die Nutzung dieser IT-Kapazitäten Unternehmen nur möglich war, wenn sie zuvor selber signifikante Investition in Rechenzentren getätigt hatten.<sup>345 346</sup>

Die Beweggründe mögen sich verändert haben, aber die Idee dem Kunden die erbrachte Maschinenleistung, anstelle der Maschine zu verkaufen, ist nicht erstmalig im Zuge des Cloud Computings aufgetreten. Das Konzept wurde bereits von James Watt (1736-1819) erdacht. Watt versuchte die Kunden zum ungewissen Umstieg auf seine Dampfmaschine zu bewegen, indem er einen Anteil der Einsparungen seiner Kunden als einzigen Erlös für die Bereitstellung seiner Maschine erhalten sollte. Er profitierte an seinen Investitionsgütern also auch schon verbrauchsabhängig bzw. einsparungsabhängig.

*„We let you have a steam engine cost free. We will install it and take over the customer service for five years. We guarantee that you will pay less for the engine’s coal than you currently spend to feed the horses doing the same work. And all we are asking is that you give us one third of the money you will save.“<sup>347</sup>*

### Service- und Servitisationstrategien im industriellen Kontext

Das zunehmende Interesse an Services im industriellen Zusammenhang wird nach Oliva und Kallenberg (2003)<sup>348</sup> allgemein von drei Faktoren charakterisiert:

#### 1. Das ökonomische Argument

Bei Produkten mit einem langen Lebenszyklus lassen sich über angebotene Dienste substantielle Erlöse erwirtschaften. Darüber hinaus

<sup>344</sup> ebd.

<sup>345</sup> Xu (2012), S. 78

<sup>346</sup> Wee; Baur (2015), S. 4

<sup>347</sup> James Watt, zitiert in: Hofmann; Hornstein; Maucher; u. a. (2012), S. 97

<sup>348</sup> Oliva; Kallenberg (2003), S. 160f.

gelten Services als verhältnismäßig margenstark, und gegenüber konjunkturellen Schwankungen relativ unanfällig. (s. auch Kieninger et al. (2011)<sup>349</sup>, Du et al. (2014)<sup>350</sup> und Herterich et al. (2015)<sup>351</sup>)

## 2. Das Bedürfnis der Kunden

Die zunehmende Fokussierung vieler Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen und die damit einhergehende Auslagerung von allen weiteren Tätigkeiten führt zu einem Anstieg von externalisierten Services.

## 3. Der Wettbewerbsvorteil

Durch die Service-inhärenten Eigenschaften gelten diese als schwer zu imitieren, wodurch sie einen integrierten Wettbewerbsvorteil haben.

Die Servitisationstrategien reichen von einzelnen, ergänzenden Leistungsangeboten über integrierte Lösungsangebote bis hin zu Verträgen für Produktangebote ohne Eigentümerwechsel (im engl. „nonownership contracts“).<sup>352 353 354</sup> Einen korrespondierenden Literaturüberblick inklusive Segmentierung von vier Stadien in der Transformation vom Produkthersteller zum Serviceanbieter präsentieren Bruhn et al. (2015)<sup>355</sup>. Dabei unterscheiden sie zwischen den folgenden Stufen.<sup>356</sup>

### 1. „Änderung des Gesamtangebots“

Sukzessive Änderung des Gesamtangebots bzw. stufenweiser Ausbau des Dienstleistungsangebots

### 2. „Positionsänderung in der Wertschöpfungskette“

Horizontale und vertikale Ausweitung des Leistungsangebots entlang der Wertschöpfungskette

### 3. „Kontinuum zwischen der relativen Bedeutung von tangiblen Gütern und Dienstleistungen“

Definition einer gewünschten, strategischen Unternehmensposition und die daraus folgende Ableitung von erforderlichen strategischen Handlungen

### 4. „Vom Produkthersteller zum Lösungsanbieter“

Kategorisierung von Dienstleistungen an Hand der derzeitigen Vollständigkeit des Angebots sowie des vorherrschenden Transaktionstypus

Auf dieser Analyse aufbauend wurde eine Typologisierung der Geschäftsmodelle entwickelt, die durch vier Typologiedimensionen vier eigenständige

<sup>349</sup> Lerch; Gotsch (2014), S. 89

<sup>350</sup> Du; Howe; Jain; u. a. (2014), S. 3f.

<sup>351</sup> Herterich; Uebernickel; Brenner (2015), S. 323

<sup>352</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 9f.

<sup>353</sup> Lovelock; Gummesson (2004), S. 34

<sup>354</sup> Du; Howe; Jain; u. a. (2014), S. 7

<sup>355</sup> Bruhn; Hepp; Hadwich (2015), S. 30f.

<sup>356</sup> ebd.

Geschäftsmodellansätze der Servicetransformation beschreibt. Das Ergebnis wurde in einer 2x2-Matrix (Abbildung 20) zusammengefasst.<sup>357</sup>

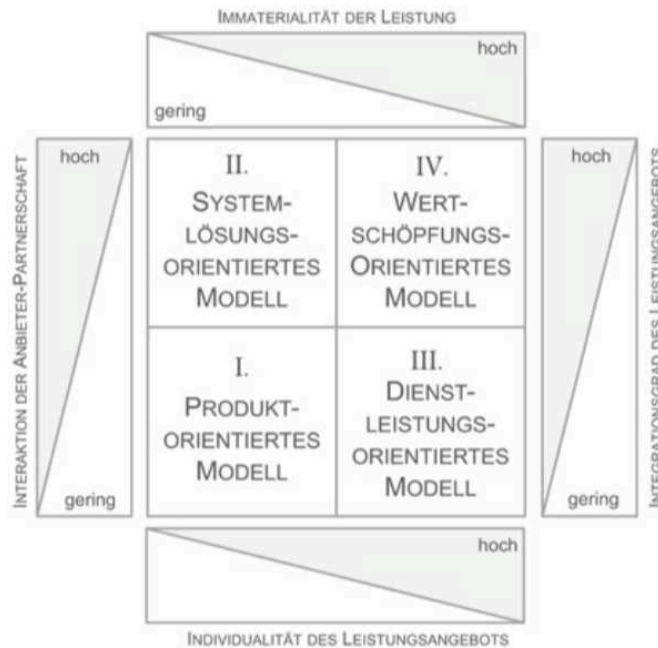


Abbildung 20: Geschäftsmodellansätze der Servicetransformation<sup>358</sup>

Eine auf digitale PSS abgestimmte Transformationssegmentierung wurde von Lerch und Gotsch (2014)<sup>359</sup> entwickelt und visualisiert (Abbildung 21).

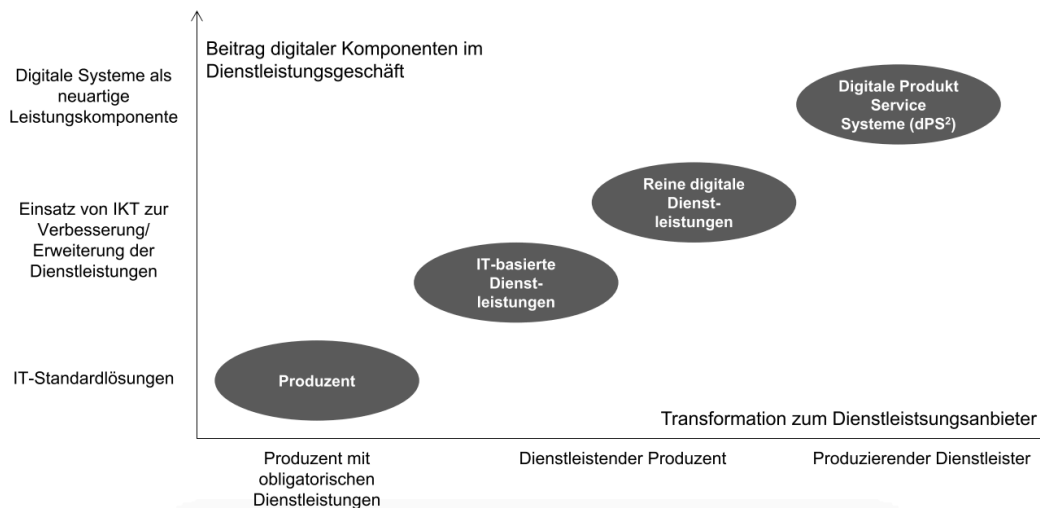


Abbildung 21: Transformationsmodell für Produkthersteller unter dem Einfluss von Tertiarisierung und Digitalisierung<sup>360</sup>

<sup>357</sup> a.a.O., S. 33ff.

<sup>358</sup> a.a.O., S. 32

<sup>359</sup> Lerch; Gotsch (2014), S. 263ff.

<sup>360</sup> a.a.O., S. 263



Alternative Klassifizierungsframeworks wurden z.B. von Leminen et al. (2012)<sup>361</sup> entlang der zwei Dimensionen „Open/Closed Ecosystem“ und „Business/Consumer Customers“ entwickelt.

### Beispiele für neue industrielle und digitale Geschäftsmodelle

Ein im industriellen Zusammenhang prominentes Beispiel eines alternativen Geschäftsmodells sind die Produktangebote ohne Eigentümerwechsel von Gütern. Verträge für Produktangebote ohne Eigentümerwechsel finden sich z.B. auch in sogenannten *Performance-based Contracts*<sup>362 363 364 365</sup> oder *Outcome-based Contracts*<sup>366 367 368</sup> wieder. Bei diesen Verträgen wird vom Kunden nur die abgerufene Leistung bezahlt und nicht die Maschine erworben, welche die Leistung erbringt. Dies wird gelegentlich auch als *Pay-per-Use* Modell beschrieben.<sup>369</sup> Hier übernimmt der Anbieter einen Teil des geschäftlichen und des Produktions-Risikos.<sup>370</sup> Diese Modelle werden auch als Versicherungs- oder Hedging-Instrumente zur Absicherung gegen unzureichende Maschinenleistung eingesetzt.<sup>371</sup> Ein bekanntes Beispiel ist das *Power-by-the-hour Modell* des britischen Flugzeugturbinenhersteller Rolls-Royce Holdings plc, bei dem nicht die einzelne Turbine von der Airline erworben wird, sondern die absolvierten Betriebs- und Flugstunden vom Anbieter berechnet werden.<sup>372 373</sup> Weitere Beispiele im industriellen Kontext bei der Medienbereitstellung sind z.B. die Bezahlung des m<sup>3</sup> Druckluft anstelle des Kompressor-Erwerbs (welches vom Kompressorenhersteller Kaeser Kompressoren SE bereits unter dem Begriff *Druckluft-as-a-Service* angeboten wird<sup>374 375 376 377</sup>), der metrischen Tonne Dampf anstelle des Dampfkesselkaufs, der kWh Wärmemenge oder der kWh Strom anstelle des Blockheizkraftwerkkaufs.<sup>378</sup> Gleichmaßen lässt sich das Modell auch auf einzelne Anlagenkomponenten übertragen. Beispiele hierfür sind die Bezahlung der geförderten Menge Feststoff statt des Erwerbs eines Förderbands oder die Bezahlung der geförderten bzw.

<sup>361</sup> Leminen; Westerlund; Rajahonka; u. a. (2012), S. 19

<sup>362</sup> Kim; Cohen; Netessine (2007)

<sup>363</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>364</sup> Xu (2012), S. 83f.

<sup>365</sup> Rymaszewska; Helo; Gunasekaran (2017), S. 100

<sup>366</sup> Ng; Ding; Yip (2013), S. 732

<sup>367</sup> Iansiti; Lakhani (2014)

<sup>368</sup> Ng; Maull; Yip (2009)

<sup>369</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 13ff.

<sup>370</sup> Meier; Roy; Seliger (2010), S. 612ff.

<sup>371</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 9f.

<sup>372</sup> Baines; Lightfoot; Evans; u. a. (2007), S. 1

<sup>373</sup> Smith (2013)

<sup>374</sup> Kalim (2015)

<sup>375</sup> T-Systems International GmbH (2016)

<sup>376</sup> Kaufmann (2015), S. 17f.

<sup>377</sup> Aucotec (2018)

<sup>378</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 14

gepumpten Menge Fluids bei Rohrleitungen und Pumpen.<sup>379</sup> Laut einer Umfrage von Adrodegari et al. (2015)<sup>380</sup> unter vorwiegend italienischen und deutschen Investitionsgüterherstellern aus den Sektoren Maschinenbau, Automation und Logistik, bieten nur 3% der Befragten „häufig oder immer“ und 18% der Befragten „gelegentlich oder manchmal“ ihren Kunden Pay-per-Use Vertragsmodelle an.

Ein entscheidendes Merkmal für die Ausgestaltung dieser Vertragswerke ist die Konfiguration der richtigen Preisgestaltungsmechanismen. Dafür gilt es für den Anbieter zunächst zu verstehen, welchen Kundennutzen die erbrachte Leistung erzielt, ungeachtet der mit der Leistungserbringung verbundenen Kosten.<sup>381</sup> Dabei können die Ansätze und Erkenntnisse der *value-based pricing* bzw. *benefit-based pricing* Forschung den Anbieter in der Preisgestaltung unterstützen.<sup>382</sup>

Dieses Muster zur Erlangung eines Wertgewinns ist auch unter der ökonomischen *Property Rights Theory* („*relieve from the costs of asset ownership*“) bekannt und zeigt die Alternative zum Eigentum durch Dienste/Dienstleistungen auf.<sup>383</sup> Signifikante Treiber für die Ermöglichung dieser ergebnisorientierten Servitisation sind auch technologische Fortschritte.<sup>384</sup> <sup>385</sup> Somit nimmt der Einsatz von datenbasierten Industrie 4.0 Lösungen und die damit gewonnene Transparenz, Einfluss auf die Transaktionskosten und verringert die Barriere Nonownership Contracts anzubieten (s. dazu Abbildung 22).<sup>386</sup> <sup>387</sup> Jedoch bedürfen sie im Einzelfall einer individuellen Anpassung an das einzelne Unternehmen.<sup>388</sup>

Mittels der Daten aus der Maschinenvernetzung lassen sich nicht nur neue Erlösquellen darstellen, sondern auch Produktivitätsverbesserungen, Kosteneinsparungen und Risikoreduktionen bei Investitionsentscheidungen erreichen sowie gänzlich neue Geschäftsmodelle entwickeln.<sup>389</sup> Ferner birgt der Zugriff auf Daten der verkauften Maschinen die Chance, die Verbindung zwischen Hersteller, Kunde und Maschine, die sich bisher häufig nach dem erfolgten Verkauf der Maschine auflöste, nun aufrechtzuhalten.<sup>390</sup>

<sup>379</sup> a.a.O., S. 15

<sup>380</sup> Adrodegari; Alghisi; Ardolino; u. a. (2015), S. 247

<sup>381</sup> Haggenmüller; Martin; Preisinger; u. a. (2016), S. 18

<sup>382</sup> Du; Howe; Jain; u. a. (2014), S. 8f.

<sup>383</sup> Ehret; Wirtz (2010), S. 139ff.

<sup>384</sup> Smith (2013), S. 6

<sup>385</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>386</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 15

<sup>387</sup> Bucherer; Uckelmann (2011), S. 264

<sup>388</sup> Geisberger; Broy (2015), S. 184

<sup>389</sup> Anderl; Löll (2015), S. 11

<sup>390</sup> Bauer; Baur; Mohr; u. a. (2016), S. 23



Abbildung 22: Nonownership Contracts als Bindeglied zwischen Asset Owner und Service Client<sup>391</sup>

Durch die Vernetzung stehen detaillierte Daten zum Zustand der Maschine und zur Qualität der produzierten Waren zur Verfügung, sodass nicht nur eine exakte Abrechnung der vertraglich vereinbarten Leistung möglich ist, sondern Kunde und Maschinenbetreiber jederzeit die Einhaltung des *Service-Level-Agreements* (SLA) bzw. der garantierten Verfügbarkeiten überprüfen können.<sup>392 393</sup> Aktuell scheuen viele Kunden noch Angebote garantierter Verfügbarkeiten wegen der hohen Kosten und des vermeintlich nicht bezifferbaren Risikos, sodass Hersteller diese nicht anbieten. Da das Risiko den fehlenden Nutzungsdaten geschuldet ist, wird durch den Einsatz von vernetzten Erfassungssystemen dieses Risiko neutralisiert.<sup>394</sup> Ein entsprechendes Konzept zur Entwicklung von verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodellen für die Investitionsgüterindustrie stellen Mert et al. (2016)<sup>395</sup> vor. Die vernetzte Datenerfassung stellt darüber hinaus auch eine Chance für Unternehmen dar, die sich auf den zuverlässigen und effizienten Betrieb der Anlagen spezialisieren.<sup>396</sup> Denn diese stehen dann nicht nur in der Bringschuld der Pflichterfüllung des SLAs, sondern können mit steigender Erfahrungskurve im Maschinenbetrieb, die Dank verbesserter Einstellungen erreichten Effizienzgewinne (in der Volkswirtschaft auch bekannt als „Abschöpfung des ungewissen Residualertrags“) oder etwaige Kostensenkungen, als zusätzliche Erträge für sich verbuchen (die entsprechende Vertragsgestaltung vorausgesetzt).<sup>397 398</sup> Gleiches gilt natürlich auch für den gesamten Bereich der Wartungs- und Reparaturdienstleistungen und der ihnen zu Grunde liegenden vertraglichen Vereinbarungen. Durch die präventive und prädiktive Diagnose und Fehlerermittlung

<sup>391</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 9

<sup>392</sup> Kaufmann (2015), S. 16

<sup>393</sup> Al-Shdifat; Emmanouilidis (2018), S. 32f.

<sup>394</sup> Mert; Herder; Menck; u. a. (2016), S. 503f.

<sup>395</sup> a.a.O., S. 504f.

<sup>396</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 16

<sup>397</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 10

<sup>398</sup> Henderson (1984)

(im engl. „predictive maintenance“) sind nicht nur weniger Maschinenausfälle, eine verbesserte Wartbarkeit der Anlage, ein besseres Verständnis der Fehlerursachen und eine höhere *Overall-Equipment-Effectiveness* (OEE), sondern auch entsprechende Effizienzverbesserungen für die ausführenden MRO-Abteilungen oder -Dienstleistungsunternehmen (im engl. „Maintenance, Repair and Operations“, abgekürzt: MRO; englisch für „Wartung, Reparatur und Betrieb“) zu erwarten.<sup>399 400</sup>  
<sup>401 402</sup> Diese Analysemöglichkeiten können die Maschinenausfallzeiten um 30-50% reduzieren und die Maschinenlebensdauer um 20-40% verlängern.<sup>403</sup> Darüber hinaus bestünde bei einem X-as-a-Service Vertrag, der sämtliche MRO-Leistungen enthält, eine hohe Interessenshomogenität zum Vorteil des Anlagennutzers, da der Anlageneigentümer nur Erlöse generieren kann, wenn der Anlagennutzer die Anlagen auch uneingeschränkt nutzen kann.<sup>404</sup> Ferner ist der Anlagenbauer incentiviert die Qualität und Zuverlässigkeit der von ihm entwickelten Maschinen und Anlagen so weit zu steigern, dass die Anzahl der auf fehlerhafte oder unzureichend dimensionierte Bauteile zurückzuführende Ausfälle möglichst gegen Null geht, und zumindest die Abläufe und Handgriffe für eine notwendige Reparatur möglichst effizient gestaltet sind.<sup>405</sup>

Grundlage für diese Vorhersagbarkeit ist in vielen Fällen eine Zustandsüberwachung der Maschinen, welche auch Remote oder Condition Monitoring genannt wird.<sup>406</sup> Eine Analyse von eigenen Condition Monitoring Geschäftsmodellen, in Abhängigkeit davon, ob es sich um einen OEM oder um einen Endkunden bzw. Betreiber der Anlage handelt, präsentieren Voigt et al. (2013)<sup>407</sup>. Hier wird explizit darauf hingewiesen, dass „(das) Hauptgeschäft mit Remote Condition Monitoring Services ... derzeit in der nachträglichen Ausstattung bereits vorhandener Industrieanlagen (besteht)“.<sup>408</sup> Die Autoren verweisen somit explizit auf Retrofits zur Ermöglichung dieser Geschäftsmodelle. Eine Analyse der limitierenden und unterstützenden Faktoren zur bestmöglichen Wertschöpfung einer Investition in ortsunabhängige Zustandsüberwachung sowie den Beitrag dieser zu einer Servitisationstrategie präsentieren Grubic und Peppard (2016)<sup>409</sup>. Lee et al. (2014)<sup>410</sup> weisen darauf hin, dass durch eine flottenübergreifende Vernetzung und Erfassung der Zustandsüberwachung das Produktions- und Leistungsmaximum des

<sup>399</sup> May; Kyriakoulis; Apostolou; u. a. (2018), S. 286

<sup>400</sup> Geisberger; Broy (2015), S. 172

<sup>401</sup> Lerch; Gotsch (2015)

<sup>402</sup> Rymaszewska; Helo; Gunasekaran (2017), S. 96

<sup>403</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 24

<sup>404</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 15

<sup>405</sup> Kim; Cohen; Netessine (2007), S. 3

<sup>406</sup> Voigt; Steinmann; Bauer; u. a. (2013), S. 9ff.

<sup>407</sup> a.a.O., 13ff.

<sup>408</sup> a.a.O., 18

<sup>409</sup> Grubic; Peppard (2016)

<sup>410</sup> Lee; Kao; Yang (2014), S. 7

Maschinenparks, in Abhängigkeit von der jeweiligen Verfassung einer jeden Maschine, erreicht werden kann.

Darüber hinaus birgt die Maschinenvernetzung auch Kosteneinsparpotenziale, da u.a. durch den ortsunabhängigen Zugang zu den Maschinendaten erste Diagnosen schon vor der Vorbereitung auf den Reparatursinsatz vorgenommen werden können.<sup>411 412 413 414</sup> Beudert et al. (2015)<sup>415</sup> gehen davon aus, dass 50% der aktuellen Wartungskosten der Daten- und Informationsrecherche zuzuschreiben sind. Durch den gezielteren Einsatz des fehlerspezifischen Monteurs sowie die fehlerabhängige Ersatzteilversorgung, steigt die Effizienz vieler After Sales Prozesse.<sup>416</sup> In einer steigenden Anzahl an Fällen ist sogar eine Behebung des Problems aus der Ferne möglich.<sup>417</sup> Eine vollständige Analyse der Kosteneinsparpotenziale durch den Einsatz von IoT am ausgewählten Fallbeispiel eines Mittelständlers mit 400 Kunststoffspritzgussmaschinen wurde von Charalambis et al. (2017)<sup>418</sup> entwickelt. Dabei kommen die Autoren zu der Erkenntnis, dass neben den Einsparungen variabler Betriebskosten in Höhe von 13% zusätzlich erhebliche Verbesserungen in der Produktqualität erzielt und durch einen verringerten Energieeinsatz eine nachhaltigere Ressourcenverwendung erreicht wurden.

Die durch Maschinenvernetzung, Datenerfassung und -erhebung ermittelten Daten können jedoch auch außerhalb des Servitisationwandels und ohne den spezifischen MRO-Kontext als Grundlage für ein entsprechendes Produktangebot mit klassischem oder auch neuartigem Geschäftsmodell dienen.<sup>419 420</sup> Denn den Daten kommt in diesem neuen Kontext nun auch die Rolle eines zentralen Vermögenswerts des Unternehmens zu, der genutzt werden kann, um Erlöse zu generieren.<sup>421</sup> So geben die Daten nicht nur direkten Aufschluss über den aktuellen Zustand und Betrieb der Maschine, sondern sind z.B. auch Informationsquelle für den Bedarf an Betriebsmitteln und Verbrauchsgütern. Diese Informationen haben für die optimale Versorgung und die Gestaltung effizienter Logistikströme im Einzelnen sowie insbesondere in aggregierter Form, einen finanziellen Gegenwert. Jedoch bieten diese Daten in aggregierter Form auch noch eine Vielzahl an weiteren Erkenntnissen, und stellen somit nach entsprechender Analyse und Interpretation eine Möglichkeit für weitere wertschöpfende Angebote dar.<sup>422 423</sup> Vom

---

<sup>411</sup> Lerch; Gotsch (2015)

<sup>412</sup> Damm; Achatz; Beetz; u. a. (2010), S. 94

<sup>413</sup> Al-Shdifat; Emmanouilidis (2018), S. 35

<sup>414</sup> Kiel; Müller; Arnold; u. a. (2017), S. 17

<sup>415</sup> Beudert; Juergensen; Weiland (2015), S. 4

<sup>416</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>417</sup> Voigt; Steinmann; Bauer; u. a. (2013), S. 3

<sup>418</sup> Charalambis; Tonetti; Tosello (2017), S. 103f.

<sup>419</sup> Iansiti; Lakhani (2014)

<sup>420</sup> Bucherer; Uckelmann (2011), S. 260ff.

<sup>421</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 35

<sup>422</sup> Iansiti; Lakhani (2014)

Leistungsvergleich verschiedener Maschinen unterschiedlicher Hersteller über Erkenntnisse für Infrastrukturbetreiber zur Netzauslastung bis hin zu Informationen für maßgeschneiderte Industrie-Versicherungspolicen.<sup>424 425</sup> Darüber hinaus liefern diese Daten auch im Kontext ihres Ökosystems (im engl. „ecosystem“) wertvolle Erkenntnisse. Neben der Tatsache, dass die ermittelten Daten auch Rückschlüsse auf die Produktqualität zulassen, bieten die Daten auch einen Fundus an Erkenntnissen für die Entwicklung zukünftiger Produktgenerationen.<sup>426 427 428 429 430</sup> Ferner besteht auch die Möglichkeit die Daten externer Umgebungssensoren in die Analysen miteinfließen zu lassen.<sup>431</sup> Wenn die Daten unterschiedlicher Anlagenbetreiber über die Datenbanksgrenzen (und Unternehmensgrenzen) geteilt werden, steht ein noch größerer Datenbestand zur Verfügung, der nicht nur die Modellbildung zur Fehlererkennung des eigenen Produkts verbessert, sondern auch Leistungsvergleiche mit Fremdfabrikaten ermöglicht.<sup>432</sup> Eine Übersicht von industriellen Service-Geschäftsmodellansätzen, die durch die von CPS erhobenen Daten ermöglicht werden, präsentieren Herterich et al. (2015).<sup>433</sup>

Voraussetzung für die Verwertbarkeit der Daten, ist eine aktive Verwaltung über den gesamten Daten-Lebenszyklus mittels standardisierter Verfahren und Richtlinien.<sup>434</sup> Ferner gilt es Medienbrüche zu vermeiden, indem die Daten nur über digitale Schnittstellen weitergegeben werden.<sup>435</sup> Bei entsprechend hoher Auflösung der Daten, also einer für den Anwendungsfall ausreichend hohen Frequenz der Datenmessungen, sowie von externen Faktoren unbeeinflussten Messzeitpunkten entsteht das von Fleisch (2010)<sup>436</sup>, in Anlehnung an Pentland (2009)<sup>437</sup>, als vertrauenswürdig und somit belastbar betitelte Datenmaterial. Diese Datenmengen bedürfen darüber hinaus einer Kontextualisierung, um den effizienten Umgang zu gewährleisten.<sup>438</sup>

Dies alles führt zu der Frage, ob und wie die einzelnen und/oder aggregierten (anonymisierten) Daten monetarisiert werden können.<sup>439 440 441</sup> Hier lassen sich zwei

<sup>423</sup> Rymaszewska; Helo; Gunasekaran (2017), S. 96

<sup>424</sup> Meier; Roy; Seliger (2010), S. 609

<sup>425</sup> Lee; Bagheri; Kao (2015), S. 20

<sup>426</sup> Brettel; Friederichsen; Keller; u. a. (2014), S. 40

<sup>427</sup> Rymaszewska; Helo; Gunasekaran (2017), S. 97

<sup>428</sup> Lerch; Gotsch (2015)

<sup>429</sup> Dremel; Herterich (2016), S. 648

<sup>430</sup> Brettel; Friederichsen; Keller; u. a. (2014), S. 40

<sup>431</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>432</sup> Trunzer; Vogel-Heuser; Vermum (2018), S. 325

<sup>433</sup> Herterich; Uebernickel; Brenner (2015), S. 325

<sup>434</sup> a.a.O., S. 45

<sup>435</sup> Fleisch (2010), S. 14ff.

<sup>436</sup> a.a.O., S. 17ff.

<sup>437</sup> Pentland (2009)

<sup>438</sup> Al-Shdifat; Emmanouilidis (2018), S. 33

<sup>439</sup> Bischoff; Taphorn; Wolter; u. a. (2015), S. 125f.

<sup>440</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 37f.

verschiedene Modelle unterscheiden.<sup>442</sup> Die direkte und die indirekte Monetarisierung der Daten. Bei der direkten Monetarisierung stellt das Sammeln von Daten über ein Produkt, welches z.B. gleichzeitig als Ausspielungsplattform für nutzerbezogene Werbung dient, eine denkbare Möglichkeit dar. Bei der indirekten Monetarisierung werden die Daten genutzt um z.B. nutzerbezogene, mikrosegmentierte Angebote erstellen zu können (z.B. in Form von maßgeschneiderten Wartungsvertragsangeboten, die auf dem tatsächlichen Maschinennutzungsverhalten des Anwenders basieren). Auch hier lassen sich entsprechende Geschäftsmodelle z.B. auf Basis von Two- oder Multi-sided-Markets oder Plattformen entwickeln.<sup>443 444 445 446</sup> Entsprechende Analysen wurden z.B. von Muhtaroglu et al. (2013)<sup>447</sup> für auf Big Data-basierende Geschäftsmodelle mittels des *Business Model Canvas* von Osterwalder und Pigneur (2009)<sup>448</sup> durchgeführt, wengleich bei all diesen Überlegungen zuvor die in vielen Fällen noch offene Frage der Dateneigentümerschaft zu klären ist.<sup>449 450</sup>

Die Analyse der erfassten Daten, unabhängig ob Echtzeit- oder aggregierte Zeitreihendaten, bedarf auflösungs- und frequenzabhängiger Speicherressourcen, angemessener Rechenkapazitäten sowie passender Softwarelösungen. Viele moderne Analysewerkzeuge, wie die angesprochenen predictive maintenance Algorithmen, genauso wie Big Data- und Machine Learning-Lösungen, werden zum Erkenntnisgewinn benötigt und enthalten daher eine klardefinierte value proposition. Die auf dieser basierenden Geschäftsmodelle sind so vielfältig wie ihre denkbaren Anbieter. Sie reichen von den Maschinenherstellern, über dedizierte Software- und Lösungsanbieter bis hin zu Systemintegratoren.

Neuartige Entwürfe im Rahmen der Service-orientierten, Cloud-basierten Geschäftsmodelle entwickeln sich rund um die Idee des *Cloud Manufacturing* (CMfg), welches das Konzept der beschriebenen, auf Abruf verfügbaren Kapazitäten des Cloud-Computing auf die Fertigungswelt überträgt.<sup>451 452 453</sup> Dabei werden die grundlegenden Konzepte des Cloud-Computing übernommen. Auch hier werden verteilte Ressourcen in Cloud-basierte Dienste überführt, zentral gesteuert und von allen Nutzern entsprechend ihrer Bedürfnisse über das Internet abgerufen.<sup>454</sup> Laut

---

<sup>441</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>442</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 37f.

<sup>443</sup> a.a.O., S.35f.

<sup>444</sup> Yoo; Boland; Lyytinen; u. a. (2012), S. 1400f.

<sup>445</sup> Eisenmann; Parker; Alstynne (2006)

<sup>446</sup> Ramge (2015)

<sup>447</sup> Muhtaroglu; Demir; Obali; u. a. (2013)

<sup>448</sup> Osterwalder; Pigneur (2009)

<sup>449</sup> Pentland (2009), S. 79

<sup>450</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 15

<sup>451</sup> Li; Zhang; Wang; u. a. (2010)

<sup>452</sup> Xu (2012), S. 78ff.

<sup>453</sup> Tao; Zhang; Venkatesh; u. a. (2011), S. 1970

<sup>454</sup> a.a.O., S. 1972

Tao et al. (2011)<sup>455</sup> handelt es sich beim CMfg um *Manufacturing as a Service*. Dieser Ansatz könnte zu einer vergleichbaren Veränderung der etablierten Geschäftsmodelle in der fertigen Industrie führen, wie dies für Rechen- und Speicherkapazitäten in der IT der Fall war. Ein entsprechendes Konzept stellen z.B. Maciá Pérez et al. (2012)<sup>456</sup> mit dem *Cloud Agile Manufacturing* vor, welches die Perspektive eines Produktabnehmers einnimmt. In Anlehnung an die bereits beschriebenen agilen Geschäftsmodelle im IT-Sektor stellen die Autoren das Angebot von *industrial production systems as a service* vor. Dabei greifen die Nutzer über eine Cloud auf jegliche, produktionsbezogene Funktionen zu. Dazu werden zunächst alle Funktionen als Dienste in der Cloud abgebildet und können dann auch von branchenfremden Anwendern gebucht werden. Ein praxisnahes Beispiel liefert das Konzept der *Industrial Machine as a Service* (IMaaS) von Gilart-Iglesias et al. (2006<sup>457</sup> und 2007<sup>458 459</sup>). Hierbei wurden zunächst Maschinen und Anlagen mit eingebetteten Systemen mit standardisierten Schnittstellen nachgerüstet, die dann eine Abstraktion der Produktionsanlagen ermöglichen und somit in eine mehrstufige Architektur integriert werden können. Die Vision dieses Konzepts, welche wiederum an die technischen Fortschritte in der Informationstechnologie angelehnt ist, lautet, dass Produktionselemente über Softwarecontainer und Softwarekomponenten definiert sind.<sup>460</sup> Ein vergleichbares Konzept stellen auch Ellwein et al. (2018)<sup>461</sup> unter dem Namen *Rent'n'Produce* vor. Hier stellt der Endkonsument eine Anfrage auf einer Plattform für die Fertigung seiner Teile ein, die möglichen Hersteller geben Gebote zur Fertigung ab und nach dem Zuschlag wird der Auftrag automatisch über einen Planungsagenten einer Maschine zugeteilt. Dies ist möglich, da eine direkte Verbindung der Maschinen vom Shopfloor in die Cloud besteht. Das Alleinstellungsmerkmal dieses Konzepts ist die vermittelnde B2B-Plattform, welche über eine direkte Anbindung bis in die Produktion verfügt. Die Autoren schlagen drei verschiedene Value Capturing Mechanismen für den Plattformbetrieb vor: a) Werbeeinnahmen, b) Pay-per-Use Modell und c) ein Abonnementmodell. Das unten dargestellte Schaubild skizziert die beteiligten Komponenten schematisch (Abbildung 23).

---

<sup>455</sup> ebd.

<sup>456</sup> Maciá Pérez; Berna-Martinez; Marcos-Jorquera; u. a. (2012)

<sup>457</sup> Gilart-Iglesias; Maciá-Pérez; Mora-Gimeno; u. a. (2006)

<sup>458</sup> Gilart-Iglesias; Maciá-Pérez; Capella-D'aiton; u. a. (2007)

<sup>459</sup> Gilart-Iglesias; Maciá-Pérez; Marcos-Jorquera; u. a. (2007)

<sup>460</sup> Gilart-Iglesias; Maciá-Pérez; Mora-Gimeno; u. a. (2006), S. 5

<sup>461</sup> Ellwein; Riedel; Meyer; u. a. (2018)



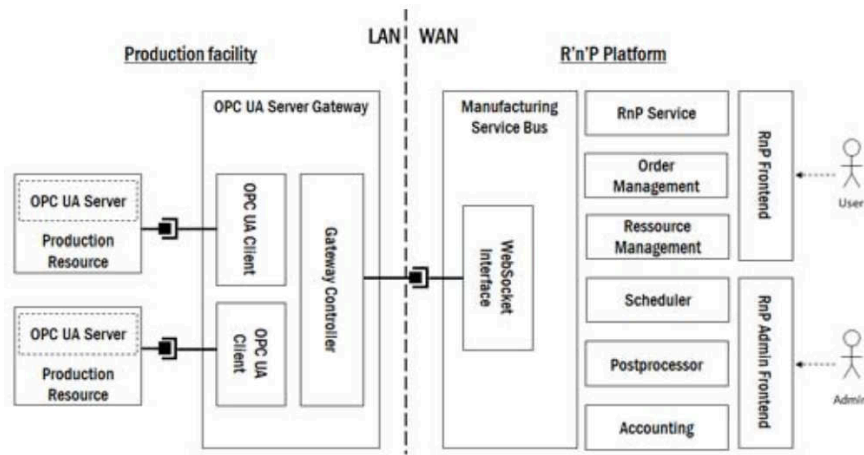


Abbildung 23: Das Komponentenmodell von Rent'n'Produce<sup>462</sup>

Einen diesen beiden Konzepten ähnlichen, jedoch aus einer anderen Perspektive betrachten Entwurf haben Rauch et al. (2016)<sup>463</sup> mit dem Konzept des *Collaborative Cloud Manufacturing* (CCM) basierend auf der Idee der *Distributed Manufacturing Systems* (DMS) vorgestellt. Die Grundlage für dieses Konzept ist der Ansatz *IoT-based cloud manufacturing (CMfg) service system* (CCIoT-CMfg) von Tao et al. (2011)<sup>464</sup> und 2014<sup>465</sup>). Hierbei handelt es sich um ein Modell, welches die Anwendung von CPS in (verteilten) Fertigungssystemen beschreibt. Sie stellen damit CCM als eines von fünf, von Matt et al. (2015)<sup>466</sup> identifizierten Geschäftsmodellen für verteilte Fertigungssysteme vor. Auch bei CCM können Endkunden oder Nutzer direkt auf die Manufacturing-Cloud zugreifen. Der Anwender lädt, nach abgeschlossener Produktentwicklung, seine Produktdaten in die Cloud, welche direkt mit den Produktionsressourcen vernetzt ist und abhängig von räumlicher Nähe und Maschinenauslastung, sowie unter Berücksichtigung des gewünschten Liefertermins, den Fertigungsauftrag im DMS verteilt. Das nachfolgend dargestellte Schaubild skizziert die beteiligten Komponenten schematisch (Abbildung 24). Bezüglich der denkbaren Value Capturing Mechanismen beziehen sich die Autoren auf die drei Optionen nach Matzler et al. (2013)<sup>467</sup>, die auf der Beziehung der Variablen „*willingness to pay, customer value added, income and expenses*“ basiert.

<sup>462</sup> a.a.O., S. 4

<sup>463</sup> Rauch; Seidenstricker; Dallasega; u. a. (2016)

<sup>464</sup> Tao; Zhang; Venkatesh; u. a. (2011)

<sup>465</sup> Tao; Cheng; Xu; u. a. (2014)

<sup>466</sup> Matt; Rauch; Dallasega (2015), S. 188f.

<sup>467</sup> Matzler; Bailom; von den Eichen; u. a. (2013), S. 31

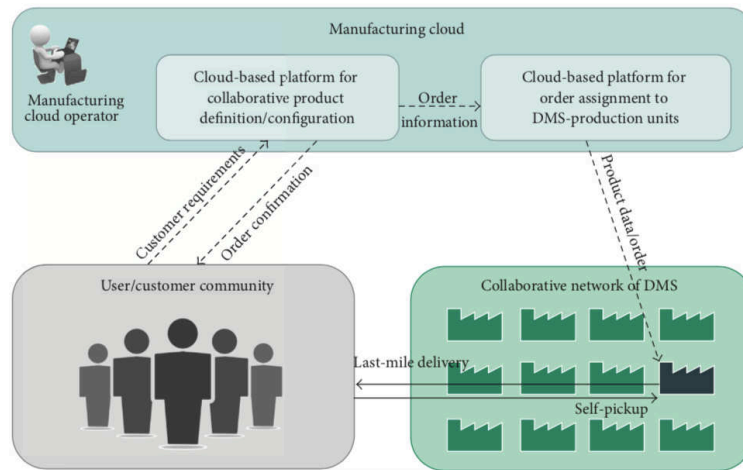


Abbildung 24: Konzept des collaborative cloud manufacturing (CCM)<sup>468</sup>

Ein weiteres Geschäftsmodellmuster stellt die Gruppe der IPR-basierten (IPR, Abkürzung für *Intellectual Property Rights* bzw. geistige Eigentumsrechte) Geschäftsmodelle dar.<sup>469</sup> Hierbei werden die rechtlich geschützten Eigentumsrechte, z.B. in Form von Patent- und Gebrauchsmustern oder Urheberrechten mittels einer Gebühr vom Erfinder oder Eigentumsinhaber an den Nutzer lizenziert. Dies können in dem hier diskutierten Kontext z.B. Rechte an proprietären Daten- oder Kommunikationsstandards sein. Darüber hinaus ist auch die Erbringung von IPR-bezogenen Beratungsleistungen ein mögliches Tätigkeitsfeld.

### 3.2.6.3 Prozess-orientierte Geschäftsmodelle

Viele Elemente der Prozess-orientierten Geschäftsmodelle überschneiden sich im Retrofit-Kontext mit den ausgeführten Verbesserungspotenzialen im Bereich MRO. Diese Geschäftsmodelle werden auf Grund der dargelegten, tiefgreifenden Geschäftsmodellveränderungen, z.B. durch den vollständigen Betrieb der Maschinen und Anlagen durch einen Drittanbieter anstelle des Fokus auf graduelle Optimierungen gegen eine nicht näher erläuterte Gebührenstruktur, sowie wegen der derzeit noch zu unpräzisen und unvollständigen Forschungslage nicht näher erläutert.<sup>470</sup>

### 3.2.6.4 Folgen und Auswirkungen der Geschäftsmodellveränderungen

Erste Analysen zur Ermittlung der Effekte von IIoT auf Geschäftsmodelle und strategische Implikationen in der Praxis wurden bereits von Arnold et al. (2017)<sup>471</sup> für

<sup>468</sup> Rauch; Seidenstricker; Dallasega; u. a. (2016), S. 7

<sup>469</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 37

<sup>470</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017a), S. 377f.

<sup>471</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017b)

Unternehmen der Elektrotechnik sowie von Bauernhansl et al. (2015)<sup>472</sup> für den Maschinen- und Anlagenbau vorgenommen. Beide kommen gleichermaßen zu dem Schluss, dass die anstehenden technologischen Veränderungen als Chance für ein ganzheitliches Hinterfragen der aktuellen Geschäftsmodelle aufzufassen sind. Wobei es nicht ausreicht sich nur einzelner Geschäftsmodellkomponenten anzunehmen, sondern grundsätzliche Logiken und Zusammenhänge zu hinterfragen sind.<sup>473 474</sup> Dabei sind die Bedürfnisse und der Nutzen der Kunden der Ausgangspunkt für neue Geschäftsmodelle. Empirische Untersuchungen der ausgewählten Industrien ergaben bereits eine breite Zustimmung der befragten Unternehmen, dass ihre Geschäftsmodelle erste Veränderungen durch IIoT erfahren.<sup>475 476</sup> Bauernhansl et al. (2015)<sup>477</sup> unterstreichen dabei die drei elementaren Nutzenaspekte für den Maschinenbau: „eine hohe Produktionseffizienz (Qualität, Leistung, Verfügbarkeit); eine hohe Produktionseffektivität (Flexibilisierung, Wandlungsfähigkeit/Rekonfigurierbarkeit); ein möglichst geringer Investitionsbedarf für Produktionsmittel (Lebenszyklusorientierung, XaaS)“.

Viele der präsentierten Geschäftsmodellvariationen erfordern von den Unternehmen einen hohen Grad der Expertise auf ihnen bisher unbekanntem Feldern. In einer Studie von Kiel et al. (2017)<sup>478</sup> unter deutschen Führungskräften aus den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik und Automobilbau wurde die technische Integration der neuartigen und meist unerprobten IT Technologien als größte Herausforderung genannt. Dies führt zur vermehrten Bildung multilateraler Partnerschaften und Technologieallianzen. Diese Partnerschaften bilden sich dabei häufig über Branchengrenzen hinweg.<sup>479 480 481 482 483</sup> Das Ziel aus der Perspektive der fertigenden Industrien bzw. ihrer Zulieferer ist dabei häufig der Zugriff auf die Digitalexpertisen ihrer Partner aus den Digitalbranchen.<sup>484</sup> Während diese sich durch den Zugriff auf die Daten in den „klassischen“ Industrien zusätzliches Wachstum für ihre Digitalprodukte versprechen. Angesichts der hohen Komplexität, signifikanter Investitionen in Fähigkeiten, Technologien und Infrastrukturen sowie kürzer werdender Entwicklungszyklen betonen Porter und Heppelmann (2014)<sup>485</sup>, dass die erfolgreichsten Unternehmen ihrer Untersuchungen sich für die ausgewogene

<sup>472</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015)

<sup>473</sup> Hui (2014)

<sup>474</sup> Grönroos; Helle (2010), S. 565f.

<sup>475</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017b), S. 16ff.

<sup>476</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 47ff.

<sup>477</sup> a.a.O., S. 50

<sup>478</sup> Kiel; Müller; Arnold; u. a. (2017), S. 11

<sup>479</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>480</sup> Geisberger; Broy (2015), S. 13

<sup>481</sup> Arnold; Kiel; Voigt (2017b), S. 17

<sup>482</sup> Wee; Kelly; Cattell; u. a. (2015), S. 44

<sup>483</sup> Reim; Parida; Örtqvist (2015), S. 70ff.

<sup>484</sup> Dremel; Herterich (2016), S. 660

<sup>485</sup> Porter; Heppelmann (2014)

Kombination aus individualisierten Eigenentwicklungen und der Lizenzierung von Standardlösungen entscheiden. Durch das Wachstum des Angebots für Standardlösungen (wie z.B. Datenanalyse-Werkzeuge) in vielen Bereichen, ist es für viele Unternehmen zunehmend ökonomischer die Lösungen zuzukaufen statt sie, wie zu Beginn des Technologietrends, selber entwickeln zu müssen. Auch Bauernhansl et al. (2015)<sup>486</sup> messen den strategischen Partnerschaften zwischen Maschinenbauern und IT-Unternehmen eine große Bedeutung zu, sofern klare „Win-Win-Situationen“ zu erkennen sind. Geisberger und Broy (2015)<sup>487</sup> sprechen in diesem Zusammenhang von ganzen Ökosystemen die sich auf Grund der Kooperationsnotwendigkeiten bilden werden. Als Voraussetzung für das Gelingen dieser Partnerschaften sehen sie gemeinsame Investitionen der Partner (z.B. in die benötigten Infrastrukturen) genauso wie die Entwicklung gemeinsamer Kosten- und Investitionsrechnungsmodelle für die angebotenen Dienste. Dabei prognostizieren sie, dass dies die beteiligten Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen stellen wird, da die eingebrachten Leistungen sich in unterschiedlichen Lebenszyklen für die einzelnen Unternehmen befinden und darüber hinaus auch von unterschiedlicher Bedeutung für selbige sind.<sup>488</sup> Die Feststellung, dass es vertiefter Forschungsaktivitäten für die Investition und die Investitionsrechnung, insbesondere für SMEs bedarf, teilen auch Thoben et al. (2017)<sup>489</sup>. Sie verweisen dabei nicht nur auf die Herausforderungen der komplexen, dynamischen Lieferantennetzwerke in den Ökosystemen, sondern sehen auch gute Chancen den Lösungen über unterstützte Leuchtturmprojekte zu begegnen.

Wie Ng et al. (2013)<sup>490</sup> am Beispiel der Outcome-based Verträge ausführen, bedarf es zur erfolgreichen Anwendung dieser jungen Geschäftsmodelle eines holistischen Transformationsansatzes, der über die Einzelementbetrachtung hinausgeht. So werden z.B. die Transformation der Information und das Verhalten der beteiligten Personen als kritische Wertschöpfungstreiber bei den Outcome-based Contracts identifiziert.

### 3.2.6.5 Reifegradmodelle der datenbasierten Geschäftsmodelle

Die beschriebenen Konzepte für die verschiedenen datenbasierten Geschäftsmodelle variieren in Umfang und Tiefe des Einsatzes von vernetzten Systemen. Zur übergeordneten Einordnung des jeweiligen Vorhabens bzw. implementierten Geschäftsmodells eignen sich Reifegradmodelle. Ein solches fünfstufiges Reifegradmodell mit den beiden Dimensionen „Wert durch zusätzliche

<sup>486</sup> Bauernhansl; Emmrich; Döbele; u. a. (2015), S. 38

<sup>487</sup> Geisberger; Broy (2015), S. 178

<sup>488</sup> a.a.O., S.82

<sup>489</sup> Thoben; Wiesner; Wuest (2017), S. 13

<sup>490</sup> Ng; Ding; Yip (2013), S. 734

Umsätze“ und „Wert durch reduzierte Betriebskosten“ zeigt das nachfolgend eingefügte Schaubild (Abbildung 25). Diese Einstufung deckt sich inhaltlich, wenn auch in einer weniger feinstufigen Aufteilung, mit der Reifegradmodellierung nach Porter und Heppelmann (2014)<sup>491</sup>, und dem Reifegradmodell nach Zujewski (2013)<sup>492</sup>.

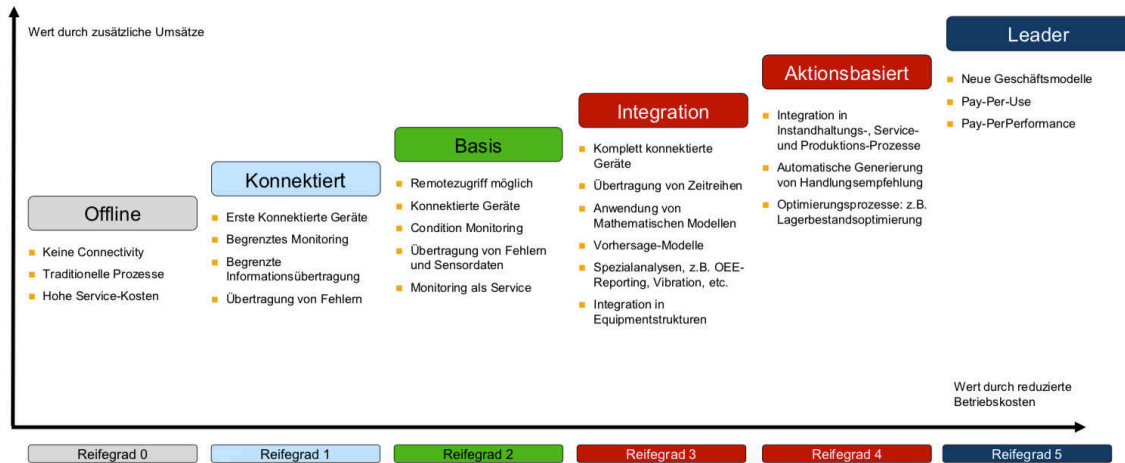


Abbildung 25: Reifegradmodell<sup>493</sup>

Eine beispielhafte Erweiterung des Reifegradmodells um konkrete Erlösmöglichkeiten auf Basis der Integrationstiefe zeigt die Abbildung 26.

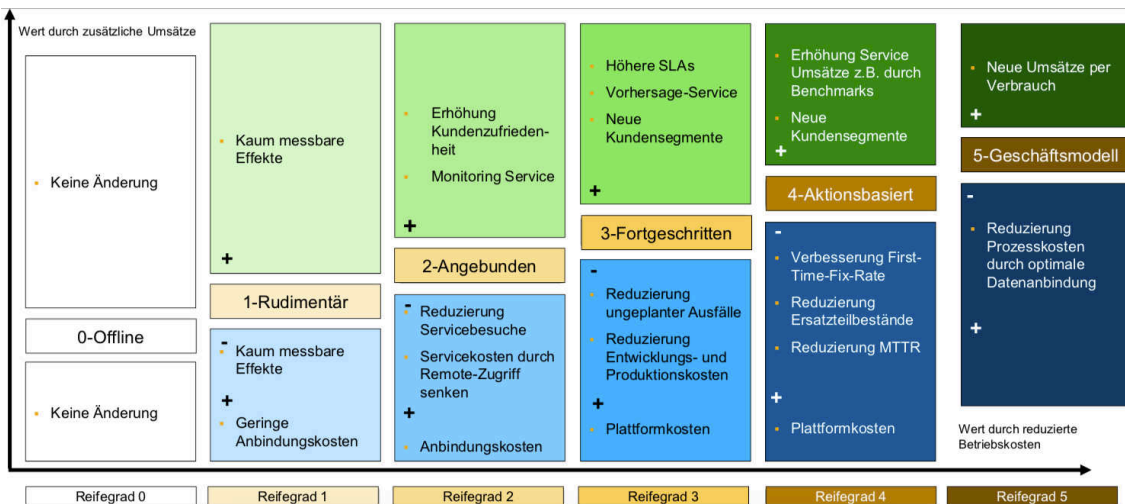


Abbildung 26: Mehrwerte für Industrie 4.0-Lösungen<sup>494</sup>

Ein allgemeineres Reifegradmodell haben Lichtblau et al. (2015)<sup>495</sup> für die Ermittlung der multi-dimensional ermittelten *Readiness* des deutschen Maschinen- und

<sup>491</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>492</sup> Zujewski (2013)

<sup>493</sup> Kaufmann (2015), S. 25

<sup>494</sup> a.a.O., S. 31

<sup>495</sup> Lichtblau; Stich; Bertenrath; u. a. (2015), S. 8ff.

Anlagenbaus hinsichtlich der „*Bereitschaft und Fähigkeit der Unternehmen zur Umsetzung von Industrie 4.0- Konzepten*“ entwickelt.

Ein explizites, dreistufiges Reifegradmodell zur Analyse des Servitisation-Levels im industriellen Bereich mit dem Namen „*The solution provider’s stairway*“ haben Kohtamäki und Helo (2015)<sup>496</sup> entwickelt. Sie unterscheiden dabei zwischen 1.) Equipment Providern, 2.) Solution Providern und 3.) Performance Providern. Die Ersten bieten Services als ergänzendes Produkt an, welches auch separat verrechnet wird. Die Zweiten bieten die physischen Produkte samt korrespondierender immaterieller Services als integriertes Paket entlang des gesamten Lebenszyklus an. Die Dritte Gruppe bietet leistungsbezogene Modelle an, bei denen der Anbieter den Betrieb der Anlagen übernimmt und nur die erbrachte Leistung verrechnet wird.

### 3.2.6.6 Herausforderungen bei der Transformation

Mathieu (2001)<sup>497</sup> stellt fest, dass die fertigenden Unternehmen bei ihrem Übergang in die Servitisation im Vergleich zu Unternehmen mit einem reinen Servicegeschäftsmodell vor Herausforderungen stehen, die sie weniger gut zu meistern wissen, da sie ihre Kompetenzen im produzierenden und im Service-Bereich parallel entwickeln müssen. Gemeint sind insbesondere die Skaleneffekte und der Lernprozess als die beiden Haupttreiber des Wettbewerbsvorteils im Servicebereich. Darüber hinaus hat Brax (2005)<sup>498</sup> ein Paradoxon entdeckt, welches offenlegt, dass eine evolutionäre Transformation in Form einer Erweiterung des Angebotsportfolios vom produktzentrierten Hersteller zum Serviceunternehmen für das Unternehmen riskanter sein kann als der revolutionäre Ansatz. Die Hauptursache ist, dass die angebotenen Services im Konflikt zur bisherigen Transaktionsorientierung der Organisation stehen. Daher muss die gesamte Organisation refokussiert werden.

Ferner birgt auch die Entwicklung von neuen IoT-basierten Service-Geschäftsmodellen nach Rymaszewska et al. (2017)<sup>499</sup> zusätzliche Herausforderungen. Sie definieren zwei bekannte Herausforderungen. Erstens gilt es auch hier, Leistungen anzubieten, die möglichst nah an den Bedürfnissen der Kunden sind. Zweitens gilt es zu beachten, dass die angebotenen Leistungen über differenzierende Merkmale verfügen sollten, die die Grundlage für einen verteidigbaren Wettbewerbsvorteil darstellen. Herterich et al. (2015)<sup>500</sup> stellen in diesem Zusammenhang fest, dass die Wettbewerbsposition von

<sup>496</sup> Kohtamäki; Helo (2015), S. 178ff.

<sup>497</sup> Mathieu (2001), S. 461

<sup>498</sup> Brax (2005), S. 148ff.

<sup>499</sup> Rymaszewska; Helo; Gunasekaran (2017), S. 95

<sup>500</sup> Herterich; Uebernickel; Brenner (2015), S. 327

Maschinenherstellern, die Services anbieten durch CPS gestärkt wird, da Daten zunehmend zu einem zentralen Wettbewerbsfaktor werden. Die hohe Transparenz der Daten kann jedoch auch dazu führen, dass die Kunden ihre Leistungslieferanten bei Outcome-based Contracts zukünftig gegeneinander ausspielen und führt zu niedrigeren Wechselkosten.<sup>501</sup>

Auch zur bestmöglichen Nutzung der Vorteile, die sich durch IIoT z.B. bezüglich der Wettbewerbsfähigkeit ergeben, sind Transformationsprozesse der Unternehmensstruktur und -kultur notwendig. Nur eine offene, flexible und sowohl horizontal als auch vertikal kollaborative Arbeitsumgebung erlaubt die systematische Entwicklung von neuen maßgeschneiderten und hybriden PSS.<sup>502</sup> Die kulturelle Barriere kommt auch in der bereits zitierten Umfrage von Adrodegari et al. (2015)<sup>503</sup> unter vorwiegend italienischen und deutschen Investitionsgüterherstellern zur Sprache. Dort gaben 72% der Befragten an, dass die Kultur ihrer Kunden ein Hindernis bei der Entwicklung von Pay-per-X Modellen darstellt. Ferner gaben in der gleichen Umfrage 56% der befragten Unternehmen an, einen Risikoanstieg durch das Angebot dieser Modelle als wichtiges Hindernis zu sehen.

Mit Blick auf mittelständische Unternehmen als eine dominante Gruppe innerhalb der fertigen Industrien wurde festgestellt, dass trotz der bereits eingetretenen Erkenntnis der Notwendigkeit einer Geschäftsmodellreflektion, bei vielen Mittelständlern noch kein Umdenken vom Produktverkauf zum Serviceangebot stattgefunden hat.<sup>504</sup> Adrodegari et al. (2015)<sup>505</sup> stellen fest, dass insbesondere KMUs im Investitionsgütersektor neue PSS Geschäftsmodelle nur begrenzt anbieten. Wobei genau die kleinen und mittelständischen Unternehmen durch das Angebot von PSS signifikant durch höhere Gewinnmargen profitieren.<sup>506</sup> Derzeit scheint das Wissen um und die Erfahrung mit PSS Geschäftsmodellen ganz allgemein noch spärlich.<sup>507</sup> Um Unternehmen bei der Transformation zu unterstützen, unterstützt die Europäische Kommission u.a. das Forschungsprojekt T-REX, welches sich explizit mit der Entwicklung von Service-orientierten Geschäftsmodellen im Bereich Maschinenbau, Automation und Logistik beschäftigt.<sup>508</sup> Ferner haben Barquet et al. (2013)<sup>509</sup> ein Framework entwickelt, das bei der Geschäftsmodellanalyse und der Implementierung des passenden PSS unterstützt. Eine unterstützende Übersicht der Teilschritte zur Verschiebung des Fokus von Produkten auf Services für Praktiker

<sup>501</sup> Porter; Heppelmann (2014)

<sup>502</sup> Kiel; Müller; Arnold; u. a. (2017), S. 17

<sup>503</sup> Adrodegari; Alghisi; Ardolino; u. a. (2015), S. 247

<sup>504</sup> Bischoff; Taphorn; Wolter; u. a. (2015), S. 60

<sup>505</sup> Adrodegari; Alghisi; Ardolino; u. a. (2015), S. 245

<sup>506</sup> Neely (2008), S. 112f.

<sup>507</sup> Beuren; Gomes Ferreira; Cauchick Miguel (2013), S. 229

<sup>508</sup> Adrodegari; Alghisi; Ardolino; u. a. (2015), S. 245ff.

<sup>509</sup> Barquet; de Oliveira; Amigo; u. a. (2013), S. 699ff.

bieten Vargo und Lusch (2008)<sup>510</sup>. Gebauer et al. (2005)<sup>511</sup> präsentieren ebenfalls Empfehlungen zur erfolgreichen Umsetzung einer Erweiterung der Angebotspalette um Services mit besonderem Fokus auf die Erschließung zusätzlicher Erlöspotenziale. Reim et al. (2015)<sup>512</sup> haben eine Systematisierung der anwendbaren, operativen Taktiken bei der Entwicklung und Nutzung von PSS vorgenommen, fünf Taktiken klassifiziert und geben eine Übersicht dieser in Abhängigkeit des PSS-Typs. Cedeño et al. (2018)<sup>513</sup> bieten ein Framework zur Entwicklung von PSS an, welches explizit auf den Kundenbedürfnissen basiert.

Storbacka et al. (2013)<sup>514</sup> sehen Unternehmen, die ihren Kunden Investitionsgüter und korrespondierende Dienstleistungen anbieten (sog. *installed-base business*) bei der Transformation vom reinen Produktanbieter zu einem Lösungsanbieter mit signifikantem Serviceanteil in einer privilegierten Position. Sie analysieren, dass diese Unternehmen sich beinahe „natürlich“ zu einem Lösungsanbieter weiterentwickeln können. U.a. da sie auf Grund ihrer produktimmanenten Eigenschaften über ein hohes Maß an Experimentiermöglichkeiten bezüglich der Abhängigkeit und der Integration der Kunden verfügen. Dies dürfte z.B. für die Transformationsmöglichkeiten vieler mittelständischer Maschinen- und Anlagenbauern sprechen. Vorsicht ist jedoch bei der Ausgestaltung der Leistungsangebote geboten, da Unternehmen dazu neigen können, dass die entwickelten Lösungen am Ende zu komplex und äußerst kostspielig sind.<sup>515</sup>

Leminen et al. (2012)<sup>516</sup> haben festgestellt, dass IoT-Geschäftsmodelle sich schrittweise in „trial-and-error“ Zyklen entwickeln, sodass die Erforschung der selbigen sich als „schwierig“ gestaltet. Sie halten jedoch fest, dass es noch erheblicher Forschungsanstrengungen bedarf, um dieses komplexe Feld besser zu verstehen.

### 3.2.6.7 Grenzen der Geschäftsmodelluntersuchungen

Keine nähere Betrachtung erfährt die organisatorische Komponente eines Geschäftsmodells sowie die für Unternehmensgründungen zusätzlich zu beachtenden Faktoren, da beide für die weitergehende Analyse von Geschäftsmodellen im Retrofit-Kontext auf Grund des Fokus auf bereits bestehende Unternehmen eine untergeordnete Rolle spielen. Darüber hinaus sind beides Themengebiete, die einer gesonderten Untersuchung bedürfen. Einen einführenden Überblick über die anstehenden Forschungsfragen der Organisationswissenschaften

<sup>510</sup> Vargo; Lusch (2008), S. 258

<sup>511</sup> Gebauer; Fleisch; Friedli (2005), S. 24f.

<sup>512</sup> Reim; Parida; Örtqvist (2015), S. 65ff.

<sup>513</sup> Cedeño; Papinniemi; Hannola; u. a. (2018), S. 63ff.

<sup>514</sup> Storbacka; Windahl; Nenonen; u. a. (2013), S. 709ff.

<sup>515</sup> a.a.O., S. 713

<sup>516</sup> Leminen; Westerlund; Rajahonka; u. a. (2012), S. 23



in einer digitalisierten Welt geben Yoo et al. (2012)<sup>517</sup>. Sicher scheint zu sein, dass insbesondere die organisatorische Komponente mit der Umstellung eines transaktionsbezogenen auf ein beziehungsbezogenes Geschäftsmodell entsprechende Ressourcen binden wird.<sup>518</sup> Die Involvierung des und die aktive Projektbegleitung durch das Top-Managements sowie interdisziplinäre Profile der Projektverantwortlichen werden als kritische Erfolgsfaktoren gewertet.<sup>519</sup>

### 3.2.7 Neue Geschäftsmodelle durch Retrofits

Im Zuge der systematischen Literaturrecherche wurden keine bekannten Geschäftsmodelle und auch keine Geschäftsmodellinnovationen gefunden, die explizit mit oder durch Retrofits ermöglicht wurden. Welche Geschäftsmodelle grundsätzlich durch die Unterstützung von Daten im IIoT Zusammenhang bisher entwickelt und angewendet wurden, wurde im vorherigen Kapitel behandelt. Viele dieser Geschäftsmodelle lassen sich auf Grund der Tatsache, dass Retrofits, in der hier verwendeten Definition, einer nachträglichen Ausrüstung einer Maschine mit einem CPS, in gleicher Weise anwenden. Die im vorherigen Abschnitt detailliert beschriebenen, digitalunterstützten Servitisationansätze dürften für viele Retrofit-Interessenten das größte Veränderungspotenzial ihrer aktuellen Geschäftsmodelle beinhalten.

Differenzierend ist nur die Fragestellung der Geschäftsmodelle der Retrofit-Anbieter zu betrachten. Die hierzu vorstellbaren Ansätze die Retrofit-Kits entweder in Form einer einmaligen Transaktion zu verkaufen, oder alternativ die Kits in Form von Abonnements oder Pay-per-Use-Ansätze zu modellieren, wurden ebenfalls im vorherigen Kapitel ausgeführt.

---

<sup>517</sup> Yoo; Boland; Lyytinen; u. a. (2012)

<sup>518</sup> Oliva; Kallenberg (2003), S. 161

<sup>519</sup> Burmeister; Luettgens; Piller (2016), S. 139

## 4 Systematische Entwicklung eines integrierten Frameworks

Zur Einordnung des später zu entwickelnden Frameworks wird zunächst der Kontext des Retrofits und der aus einem Retrofit gewonnenen Daten an Hand zweier etablierter Modelle aus zwei unterschiedlichen Perspektiven beschrieben. Denn eine Klassifizierung der Geschäftsmodelle im integrierten Framework kann nur erfolgen, wenn zunächst die Position von Daten im Unternehmenskontext und im Kontext der Geschäftsmodelle, bzw. des zu schaffenden Geschäftswerts definiert ist.

Um die Position der Daten im Unternehmenskontext zu definieren, wird das *Pyramid Model* nach Parasuraman (1996)<sup>520</sup> weiterentwickelt. Dieses Modell ist selber eine Erweiterung des *Triangle Models* des Service Marketings nach Kotler (1994)<sup>521</sup> um die Komponente „Technology“ (Abbildung 27). Hierbei wurde beabsichtigt, den bis dato fehlenden Einfluss von Technologien auf den Verkäufer-Käufer Austausch zu kompensieren.<sup>522</sup> Das drei-dimensionale Pyramid Model zeigt die omni-direktionalen Verknüpfungen der Bausteine Kunde, Unternehmen, Mitarbeiter und Technologie untereinander auf. Daten bzw. Informationsartefakte, welche durch den Retrofit erhoben und zugänglich gemacht werden, und sowohl für bestehende als auch für neue Geschäftsmodelle ein relevantes Element darstellen, sind in diesem Model noch nicht eigenständig berücksichtigt. Abhängig von der jeweiligen Applikation und dem zugrunde liegenden Geschäftsmodell zeigen aber auch die Daten Verknüpfungen zu allen bestehenden Bausteinen des Pyramid Models. Es wird daher vorgeschlagen das bestehende Pyramid Model um den Baustein „Data“ zu erweitern (Abbildung 28) und das so entstehende Model *Extended Pyramid Model* (EPM) zu nennen. Diese Erweiterung adaptiert den Ansatz von Parasuraman (1996)<sup>523</sup> die Komplexität zu erfassen, die aus dem zunehmenden Einfluss von Technologien in der Leistungserbringung an Kunden erwachsen und aktualisiert das Modell durch die Etablierung des zusätzlichen Bausteins Daten.<sup>524</sup> Denn die Daten spielen unabhängig von der eingesetzten Technologie eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen für zukünftige Geschäftsmodelle im IloT-Kontext und bei der Entwicklung von Retrofit-Szenarien. Die im Modell aufgebauten Verbindungen zwischen Daten und Kunden sowie Daten und Unternehmen, Daten und Mitarbeitern und Daten und Technologien sind dabei abgeleitet aus den im vorherigen Kapitel diskutierten Geschäftsmodellvariationen. Die Aktualisierung des Modells erlaubt die industrieagnostische Anwendung in IloT-

---

<sup>520</sup> Parasuraman (1996)

<sup>521</sup> Kotler (1994)

<sup>522</sup> Grewal; Parasuraman (2000), S. 171

<sup>523</sup> Parasuraman (1996)

<sup>524</sup> Grewal; Parasuraman (2000), S. 171

Produkt- und -Service-Szenarien und kann somit auf einem abstrakten Level zur systematischen Analyse der Wechselbeziehungen der Bausteine untereinander beitragen.

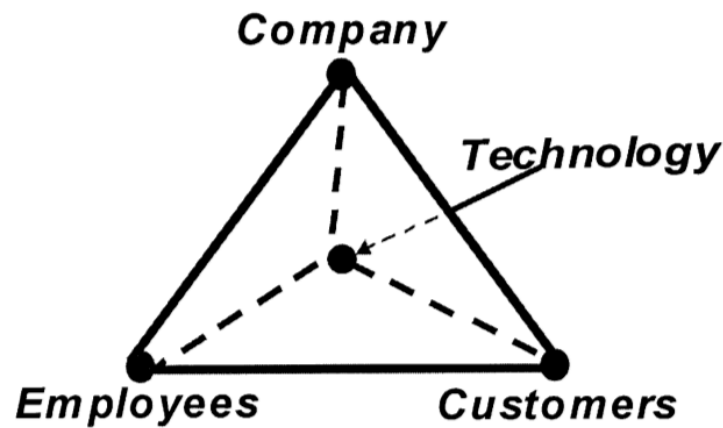


Abbildung 27: Pyramid model<sup>525</sup>

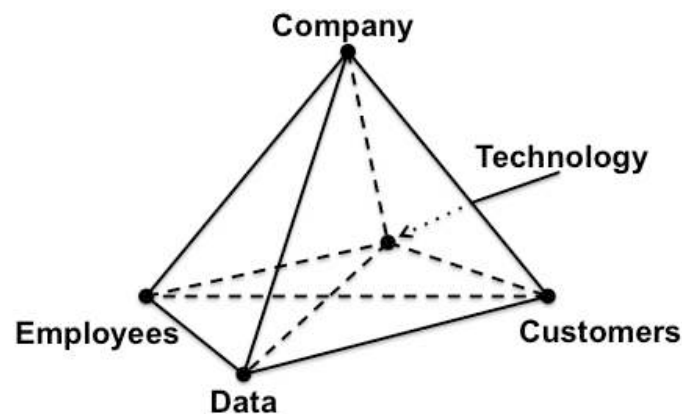
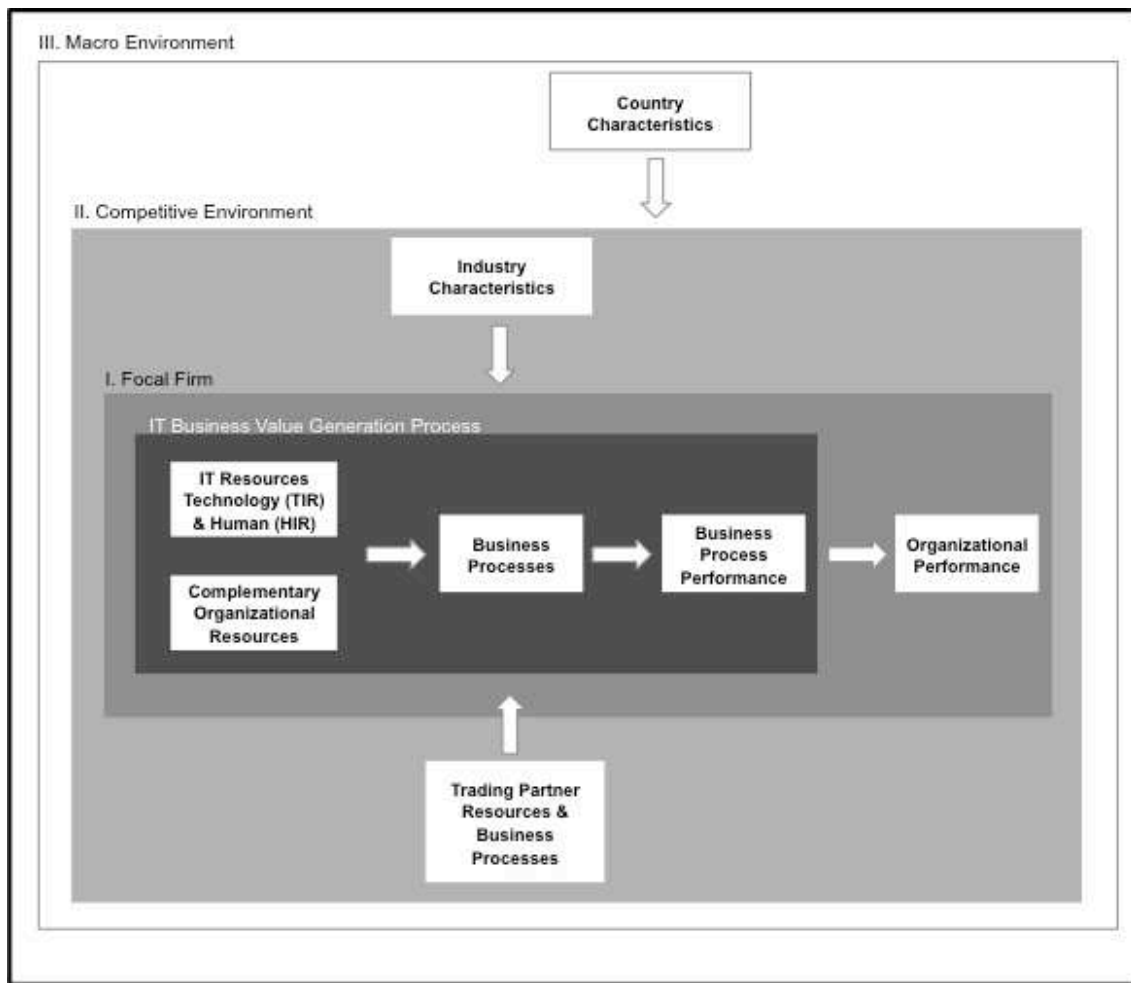


Abbildung 28: Extended Pyramid Model (EPM)

Im nächsten Schritt wird die Position der Daten im Kontext des Geschäftsmodells bzw. des zu schaffenden Geschäftswerts definiert. Dazu wird das *IT Business Value Model* von Melville et al. (2004)<sup>526</sup> (Abbildung 29) adaptiert und für die Applikation im Retrofitkontext erweitert.

<sup>525</sup> ebd.

<sup>526</sup> Melville; Kraemer; Gurbaxani (2004), S. 293

Abbildung 29: IT Business Value Model<sup>527</sup>

Die Autoren beschreiben in ihrem Modell die Verknüpfung zwischen IT-Ressourcen (in Form von Technologie- und Personal-Ressourcen) und Komplementär-Ressourcen, den damit verbundenen Geschäftsprozessen und dem daraus resultierenden Geschäftswert, der durch die IT generiert wird. Dieses Modell repräsentiert die Erkenntnisse wie ein Geschäftswert für Unternehmen entsteht, die in IT investieren und IT Ressourcen einsetzen. Dabei wird eine ressourcen-basierte Sichtweise als primäre theoretische Betrachtungsweise genutzt, welche auch für die Erweiterung beibehalten wird.<sup>528</sup>

Dieses Modell dient als Ausgangsbasis für ein konzeptionelles Modell, welches Retrofit einordnen soll und die Verknüpfung zwischen Retrofit, dem Geschäftsmodell und dem Geschäftswert aufzeigt. Dazu wird das bestehende Modell zunächst in der Verknüpfung zwischen Geschäftsprozessen und Geschäftswert um den Baustein Produkte und Dienstleistungen sowie den Baustein Kunden aus dem *Work System*

<sup>527</sup> ebd.<sup>528</sup> ebd.

Framework nach Alter (2008)<sup>529</sup> erweitert, um eine höhere Detailtiefe in der Wertschöpfungskette abzubilden (Abbildung 30).

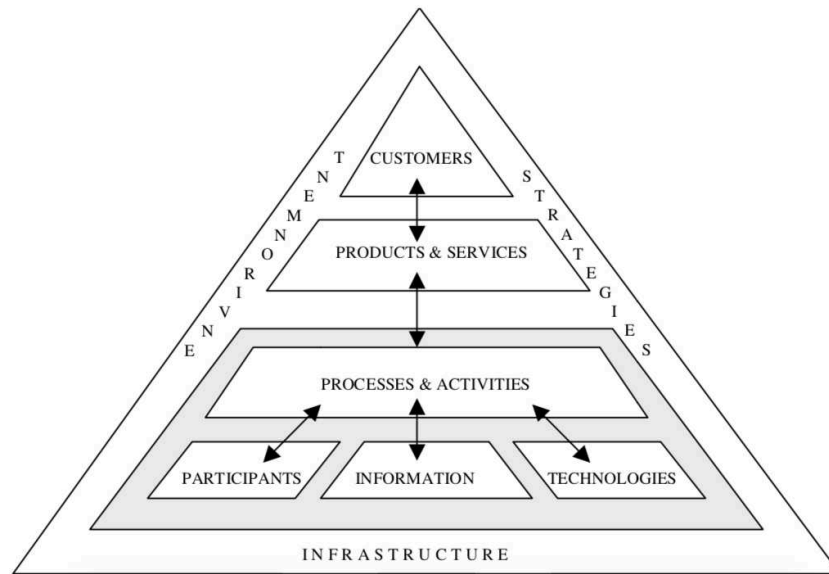


Abbildung 30: The Work System Framework<sup>530</sup>

Ferner wird das Modell um interne und externe Einflüsse aus dem produktionszentrierten *Manufacturing flexibility's conceptual framework* nach Vokurka und O'Leary-Kelly (2000)<sup>531</sup> erweitert (Abbildung 31). Der interne Einfluss auf die Wertschöpfungskette wird durch den Baustein Strategie repräsentiert, da dieser maßgeblichen Einfluss auf die operativen Prozesse und die Auswahl und Ausführung der Geschäftsmodelle hat. Der externe Einfluss wird unter dem Baustein Umgebungsfaktoren subsummiert und löst damit den vorherigen Baustein des Wettbewerbsumfelds aus der Fassung nach Mooney et al. (1995)<sup>532</sup> in einer allgemeingültigeren Form ab. Der dort ebenfalls vorhandene, vorherige Baustein der Organisationsumgebung findet sich somit, gemäß der neuen Logik, zu Teilen im Strategiebaustein, im Komplementärressourcenbaustein und im Baustein der Umgebungsfaktoren wieder. Basierend auf den Erkenntnissen der Literaturrecherche wird das erweiterte Modell dann mit den Bausteinen Retrofit bzw. Produktionsdaten (aus Retrofit) und neue / existierende Geschäftsmodelle komplettiert. Die Kombination des Geschäftsmodells und der Kunden ergibt gemeinsam den Geschäftswert. Denn dieser ist weder eine reine Schlussfolgerung aus den internen Prozessen, noch dem singular betrachtetem Geschäftsmodell, noch dem einzeln betrachteten Kunden. Erst die Verknüpfung des erfolgreich funktionierenden Geschäftsmodells im Zusammenspiel mit dem Kunden ergibt den Wert für das Unternehmen. Das Ergebnis stellt den konzeptionellen Entwurf zur Abbildung der

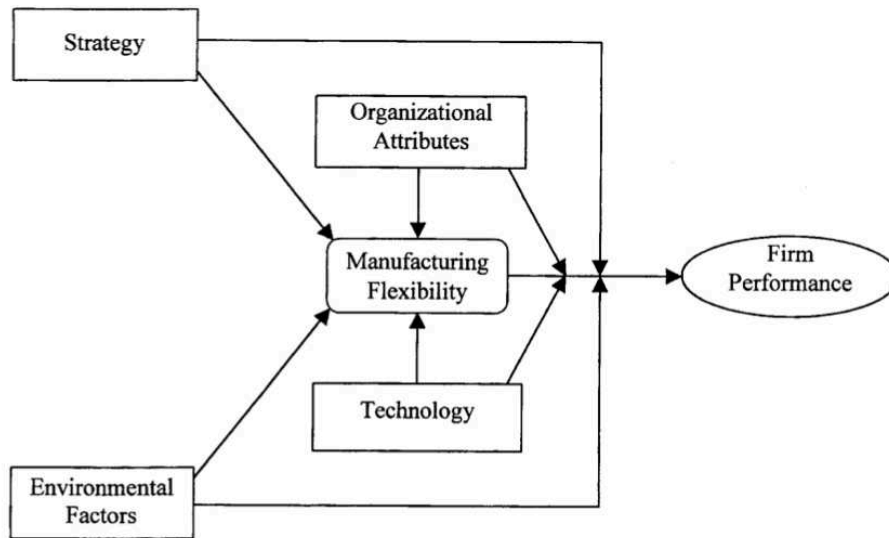
<sup>529</sup> Alter (2008), S. 20

<sup>530</sup> ebd.

<sup>531</sup> Vokurka; O'Leary-Kelly (2000), S. 487

<sup>532</sup> Mooney; Gurbaxani; Kraemer (1995), S. 23

gesamten Kette einer Retrofit-Lösung im Unternehmens- und Geschäftsmodellkontext dar (Abbildung 32) und wird *Retrofit Business Value Framework* genannt.



\* relationships among independent factors are intentionally omitted.

**Abbildung 31: Manufacturing flexibility's conceptual framework<sup>533</sup>**

<sup>533</sup> Vokurka; O'Leary-Kelly (2000), S. 487

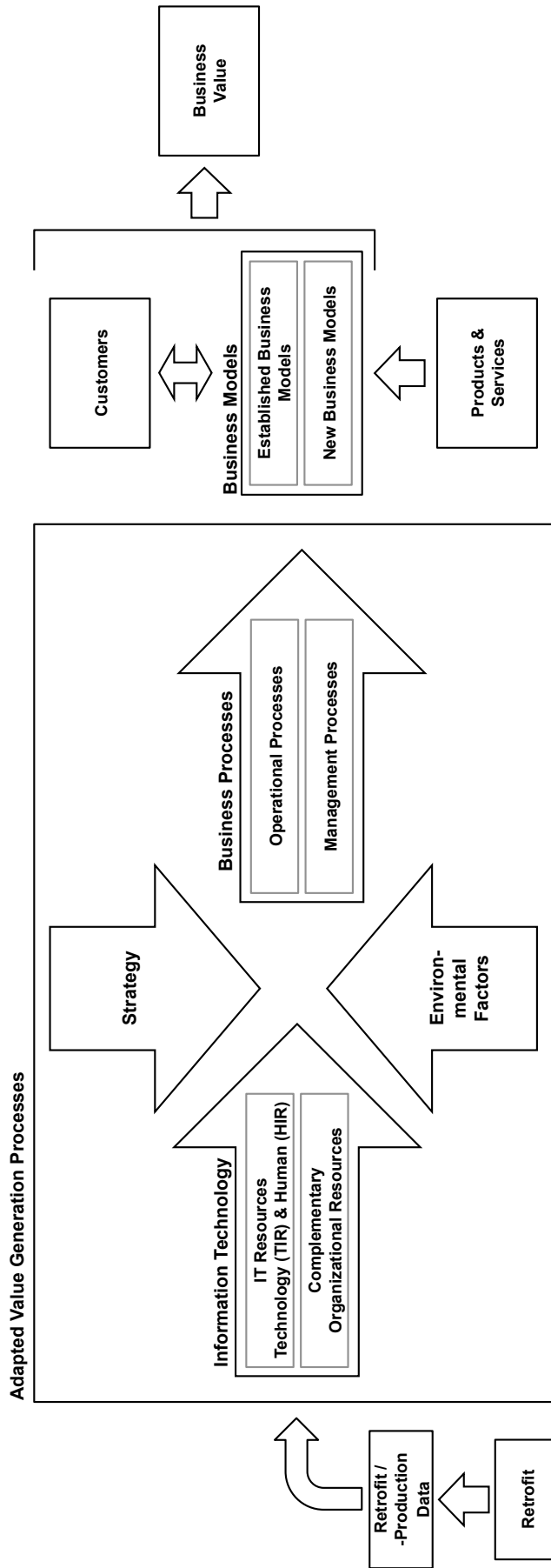


Abbildung 32: Retrofit Business Value Framework

## 4.1 Abgrenzung der Ziele und Absichten

Zur Entwicklung eines Frameworks werden die in der systematischen Literaturrecherche identifizierten Ziele und Absichten von digitalisierten Anlagen und Retrofits zunächst in Primärziele und Sekundärziele gruppiert. Ausschlaggebend für die nachfolgende Zuordnung ist die Frage, ob durch den Einsatz einer Retrofit-Lösung direkt messbare Veränderungen an unternehmensrelevanten KPIs der Bereiche Strategie, Finanzen oder Qualitätsmanagement zu erwarten sind. Diese Ziele werden zu den Primärzielen gezählt. Sollten die Ziele nicht in diese Kategorien fallen, oder sich erst zu einem späteren Zeitpunkt in der Zukunft realisieren, so werden sie für die weitere Betrachtung den Sekundärzielen zugeordnet.

Die Primärziele lassen sich wiederum in drei Kategorien unterteilen. Die erste Kategorie umfasst die operativen Ziele, die in Verbindung mit der Effizienz der Maschinen und Anlagen stehen. Dazu gehören:

- Die Steigerung der Rentabilität (im engl. „Return on Investment“, abgekürzt: RoI), durch
  - Das Steigern der Gesamtanlageneffektivität (OEE)
  - Das Senken der Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership, abgekürzt: TCO)
  - Das Verbessern der Qualität
- Die Versorgung der Daten für den digitalen Zwilling (Retrofit als Grundlage für die Modellierung in Simulationsumgebungen)
- Das Management und Tracking von Vermögensgegenständen
- Die Verbesserung der Arbeitsplatzsicherheit und Arbeitsplatzbedingungen
- Die Reduktion der Umweltauswirkungen durch den effizienteren Umgang mit Ressourcen

Neben diesen Primärzielen des operativen Effizienzbereichs umfasst die zweite Kategorie neue Geschäftsmodelle, die durch den Einsatz von IIoT bzw. Retrofits anwendbar werden. Dazu zählen:

- Die Erweiterung des Produkt-/Serviceangebots von Maschinenherstellern durch Angebote des Bereichs Servitisation
- Die Erweiterung des Serviceangebots um datenbasierte Diagnoselösungen für den Kunden
- Die Applikation von digitalen, prädiktiven Wartungs- und Optimierungswerkzeugen
- Die Einführung von vernetzten und geteilten Diensten und Applikationen

Die dritte Kategorie umfasst die Entwicklung von neuen individualisierten Produkt- und Dienstleistungsangebote bzw. Innovations- und Marketingdifferenzierungen, die



erst durch Retrofit ermöglicht werden:

- Ermöglichung neuer individualisierter Kundenangebote durch Realtime-Daten entlang des gesamten Produktlebenszyklus
- Entwicklung eines datengestützten After-Sales Ansatzes

Darüber hinaus haben sich weitere Ziele mit abweichendem Zeithorizont oder Schwerpunkt erkennen lassen, die der Gruppe der Sekundärziele zugeordnet wird:

- Schaffung einer Datenbasis, aus der sich Entscheidungen über Investitionen und Entwicklungsaktivitäten, zum Beispiel für Assistenzsysteme oder Erweiterungen bestehender Automationssysteme ableiten lassen
- Nutzung der Datenbasis für spätere Anwendungsfälle von Augmented Reality Szenarien
- Schaffung eines herstellerseitigen Lock-In Effekts, z.B. durch Anbindung der proprietären Software- oder Cloud-Lösung
- Ausnutzung eines etwaigen First-Mover Vorteils, durch den früheren Beginn des Sammelns, Akkumulierens und Analysierens von Daten, um damit zusätzliche Einstiegsbarrieren (sog. *Barriers of Entry*) für Konkurrenten zu schaffen
- Entwicklung einer Umgehungsmöglichkeit von Distributoren für die Hersteller (Steigerung der Unabhängigkeit von Service- und Distributionspartner)
- Möglichkeit der Verbesserung der Ersatzteilinventareffizienz für Hersteller (Reduktion des Umlaufvermögens)
- Möglichkeit der Überprüfung von Garantieansprüchen und Identifizierung von Garantieanspruchsverletzungen durch unabhängige Analyse der Maschinendaten
- Verbesserung der Marketingaktivitäten durch bessere Segmentierungsmöglichkeiten der Kundengruppen auf Basis der Daten des tatsächlichen Nutzungsverhaltens
- Steigerung der Autonomie der maschinennutzenden Kunden, da diese unabhängiger von den Empfehlungen und dem Support des Herstellers werden, da sie selber Zugriff auf die Produktnutzungsdaten erhalten

Bei der folgenden Entwicklung der Strukturierungsmethodik und des Frameworks wird der Fokus auf die Gruppe der Primärziele gelegt, da diese die zeitnah realisierbaren und, hinsichtlich des direkten Einflusses auf die Unternehmens-KPIs, relevanteren Ziele zu enthalten scheint.

Insbesondere mit Blick auf die Servitisation-Konzepte und die vorgestellten, alternativen Geschäftsmodelle ist vorab eine erste allgemeingültige Unterscheidung zwischen zwei Perspektiven festzustellen. Der Endanwender-Perspektive (im

Folgenden: *Operator*) und der Ausrüster- / Lösungsanbieter & Maschinenhersteller-Perspektive (im Folgenden *Provider*).

## 4.2 Entwicklung der Strukturierungsmethodik

Zur Entwicklung einer geeigneten Strukturierungsmethodik der zu klassifizierenden Komponenten werden zunächst inhaltliche Themengruppen festgelegt. Diese Themengruppen speisen sich aus den Erkenntnissen aus der systematischen Literaturrecherche und sind angereichert um eigene Überlegungen. Die zuvor entwickelten Modelle dienen in Kombination mit den Themengruppen der möglichst vollständigen Auffindung, Benennung und Zuordnung aller Retrofit-relevanten Komponenten. Die Themengruppen sind dabei als Überschriften oder Perspektiven, unter der Retrofit betrachtet wird, zu verstehen. Die zuvor entwickelten Modelle erlauben einen ressourcen- bzw. prozessorientierten Blick auf die Anknüpfungspunkte zu Retrofit. Die Kombination der beiden Elemente soll die Vollständigkeit der involvierten Komponenten sicherstellen.

Es wurden drei Themengruppen für die vertiefte Analyse festgelegt:

- Technische Themen
- Betriebswirtschaftliche Themen
- Operative Themen

Zu den technischen Themen zählen u.a. die hard- und softwareseitigen Komponenten, die Einbindung, die Vernetzung und die Versorgung. Im Fokus der betriebswirtschaftlichen Themen steht die Frage, welche Geschäftsmodelle möglich sind. Die operativen Themen behandeln u.a. die Fragen der Installation, der Integration, der Schulung und Bedienung durch die qualifizierten Fachkräfte sowie das Themengebiet Sicherheit und Datenschutz.

Die Strukturierung findet auf zwei Ebenen entlang der definierten Themengruppen statt. Auf den höheren Ebenen werden Gruppen gebildet, während die unteren Ebenen die detaillierten Spezifikationen und Merkmale enthalten.

## 4.3 Klassifizierung der Komponenten

### 4.3.1 Klassifizierung der Einsatzbereiche

Aus der systematischen Literaturrecherche ergab sich das Bild, dass Retrofitanwendungen aktuell seltener im industriellen Umfeld der Praxis, sondern

noch vermehrt unter Laborbedingungen eingesetzt und validiert werden. Dennoch lassen sich unter Betrachtung der Laborszenarien, der publizierten Feldversuche und Case Studies aus der Praxis erste Einsatzbereiche ableiten. Aus der Operator-Perspektive sind da zu nennen:

- Produktionsplanung
- Produktionsmanagement
- Wartung und Instandhaltung  
(u.a. Anwendung im Bereich Predictive Maintenance)
- Energie-Monitoring

Aus der Provider-Perspektive ergibt sich derzeit ein Einsatzbereich-agnostisches Bild. Grund dafür scheinen die mangelnden Retrofit-Praxisbeispiele zu sein, da die Provider-Perspektive in der Praxis lediglich für die OEM-Ausrüstung analysiert oder sonst nur theoretisch diskutiert wurde.

### 4.3.2 Technologieklassifizierung: Hardware

Die derzeit vorgestellten Hardwarelösungen und -komponenten stammen häufig aus dem Bereich der universell-einsetzbaren und kostengünstigen Einplatinencomputer. Der Einsatz dieser konnte insbesondere bei den vorgestellten Laborbetriebslösungen aus der Wissenschaft beobachtet werden.<sup>534 535 536</sup> Nichtsdestotrotz lassen sich vielzählige Merkmale und Varianten der Hardware aus Labor- und Praxisbetrieb feststellen. Einige der folgenden Merkmale sind nicht trennscharf oder explizit dem Bereich Hardware oder dem Bereich Software zuzuordnen und können daher Elemente beider Bereiche enthalten. Zur verbesserten Übersichtlichkeit werden die Hardwareelemente im Folgenden gruppiert:

#### Typ

- Kategorie des Kits: nur Hardware, nur Software oder Hard- mit Software
- Art des Kits: Nur Gateway zum Anschluss an vorhandene Sensorik oder Steuerung, oder vollständig-integrierte Retrofit Lösung (vom Sensor bis einschließlich des Gateways)
- Art der Kommunikation: Direkt (jedes Kit verfügt über einen eigenständigen Gateway zur Übermittlung von Daten in eine zentrale Datenbank) oder indirekt (die Kits übermitteln über einen zwischengeschalteten, zentralen Gateway ihre Daten in die Datenbank)

<sup>534</sup> Rosendahl; Schmidt; Lüder; u. a. (2015), S. 4

<sup>535</sup> Fan; Chang (2018), S. 2

<sup>536</sup> Morabito; Petrolo; Loscri; u. a. (2017), S. 6ff.

- Technische Grundlage des Kits: spezialgefertigte Hardware oder modifizierte Lösungen auf Basis von bestehenden Komponenten

### **Einsatzort und ortsabhängige Merkmale**

- Mobilität der Installation: stationär oder mobil
- Ort der Installation: ungeschützt an der Maschine, geschützt im Schaltschrank, geschützt in produktionsfernen Räumlichkeiten
- Resistenzen gegen Umgebungseinflüsse: Feuchtigkeitsresistent, druckresistent, hitzeresistent, Vibrations- und Schockfestigkeit

### **Elektronik und Schnittstellenmerkmale**

- Hardwareeigenschaften: Energieversorgung, Prozessor, Arbeitsspeicher, non-volatile Speichermedien, Netzwerk-, Kommunikations- und Diagnoseschnittstellen
- Externe Sensorik: Anzahl, Typ bzw. Art der anschließbaren Sensoren; Kompatibilität von Sensoren von Drittherstellern
- Steuerungskompatibilität: Anschluss- und Kommunikationsfähigkeit an und mit vorhandener Steuerung
- Netzwerk- und Kommunikationsschnittstellen: Kabelgebunden oder kabellos (Wireless-LAN, Bluetooth, RFID, LoRa, o.ä.)
- Erweiterbarkeit der Hardware
- Absicherung gegen Stromausfälle: integrierte USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung), Anbindung an externe USV oder Buffer-/Zwischenspeicherfunktion bei Netzausfall

Bei den analysierten Lösungen war zu beobachten, dass das Gros der Hardwaremerkmale etablierten Lösungen aus der Informations- und Kommunikationstechnik entsprach. Dies verspricht eine universellere Einsetzbarkeit und eine höhere Kompatibilität mit Komponenten von Drittherstellern zu unterstützen.

### **4.3.3 Technologieklassifizierung: Software**

Die Analyse auf der Softwareseite der Kits beschränkt sich auf ein abstraktes Level hinsichtlich der grundlegenden Komponenten, wie des verwendeten Betriebssystems, der softwareseitigen Einbindung, Konfigurationsmöglichkeiten und der Datenverarbeitung. In den wissenschaftlichen Publikationen wurden meist keine detaillierten Auskünfte über Softwaredetails geteilt und bei proprietären Praxislösungen sind Softwaredetails meist Teil des schützenswerten Herstellereigentums. Zur verbesserten Übersichtlichkeit werden die Softwareelemente im Folgenden gruppiert:

## Betriebssystem und Anwendungen

- Betriebssystem: Microsoft Windows, Linux-Derivat oder proprietäres Betriebssystem
- Lizenzmodus der Software: Verwendung von proprietären oder Open-Source Softwarelösungen
- Externe Lizenzierung: Notwendigkeit der separaten Lizenzierung einzelner Softwarekomponenten
- Umgebung der Anwendungen: nativ, virtualisiert und / oder containerized
- Bereitstellung von Software Development Kits (SDKs) / APIs zur Entwicklung individueller Softwarelösungen

## Konnektivität und Konfiguration

- Konfigurationsmöglichkeiten: Konfiguration via Human-Machine-Interface am Kit, Web-Interface oder Konsolenverbindung
- Systemoffenheit: Möglichkeit der Installation und Nutzung eigener Schnittstellen und APIs
- Vorinstallierte APIs: Vorinstallierte Auswahl an APIs zu zentralen Datenbank- und Cloudanbietern (Azure IoT, AWS IoT, Google Cloud Platform, IBM Watson IoT Platform, Oracle IoT Cloud, Predix by GE, und viele mehr)
- Anbindung an IIoT-Architektur: Anbindung des Kits an bestehende IIoT-Architektur z.B. via Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA)
- Semantik-Übersetzer: Integration von Semantik-Übersetzern für die Anbindung an bestehende Steuerungen
- Kommunikationswege der Daten: uni- oder bidirektionale Kommunikation über Schnittstellen
- Möglichkeiten der Aktualisierung der Softwarekomponenten: lokal oder over-the-air
- Verschlüsselungsgrad der Kommunikation: keine Verschlüsselung, vereinzelte Verschlüsselung, vollständige Verschlüsselung des gesamten Netzwerkverkehrs
- Kommunikationsmöglichkeiten bei der Überschreitung von eingestellten Grenzwerten: App, SMS, eMail, o.a.
- Geräte-Management: Möglichkeit des zentralen Geräte-Management mehrerer installierter Kits (initiale Einrichtung und Konfiguration, Gesundheitsüberwachung der Geräte, entfernte Aktualisierung von Softwarekomponenten, Deaktivierung von Kits)

## Datenverarbeitung und Datenspeicherung

- Auflösungsgrad und Intervallbereich der Datenerfassung
- Zeitliche Datenverarbeitung: Real-time Fähigkeit nach industriellen Standards mit deterministischen Laufzeiten oder variantes, laufzeitverzögertes Batch-Processing
- Örtliche Datenverarbeitung: lokale Verarbeitung der Daten in den Gateways (Edge Computing), zentrale Verarbeitung der Daten in einer zentralen Datenbank (Cloud Computing), dezentrale Verarbeitung der Daten zwischen Gateway und der zentralen Datenbank (Fog Computing)
- Datenspeicherung (unkomprimiert / komprimiert; temporär / dauerhaft; selektiv / vollständig; un- / verschlüsselt): lokal in den Kits oder Gateways oder in einer zentralen Datenbank
- Standort der Cloud-basierten Datenspeicherung: Deutschland, Europa, USA oder Rest der Welt
- Zugriff auf die Daten: Panel an der Maschine über ein Human-Machine-Interface (HMI), über Software-Client, mittels API oder über ein Webinterface

Auf Grund der verschiedenen Kommunikationsansätze und unterschiedlichen Szenarien der Datenverarbeitung und -speicherung konnten nur verhältnismäßig allgemeingültige Merkmale untersucht werden. Je nach ausgewählter Ansatzkombination können sich dann weitere Softwaremerkmale ergeben, die eine explizite Merkmalsabgrenzung erfordern.

### 4.3.4 Klassifizierung der Sicherheits- und Datenschutzmerkmale

Hinsichtlich der Sicherheits- und Datenschutzmerkmale stehen insbesondere die Themen der Verschlüsselung, der Authentifikation, der Ort der Datenspeicherung sowie die nationale Gesetzgebung am Ort der Datenspeicherung im Fokus.

Die Verschlüsselung bezieht sich auf die angesprochene Verschlüsselung der Netzwerkkommunikation, die verschlüsselte Speicherung der Daten und auf die Auswahl geeigneter Verschlüsselungsstandards und -technologien. Hinsichtlich der Authentifikation sind Überlegungen nicht nur bezüglich der Authentifikationspunkte (z.B. Login in das Retrofit-Kit, den Gateway, die Cloud-Umgebung, und viele mehr), sondern auch der Authentifikationsart und des zugrunde liegenden Rollen- und Rechtemanagements anzustellen. Der vom Einsatzort des Retrofit-Kits abweichende Ort der Datenspeicherung ist lediglich bei Cloud-basierten Speicherkonzepten relevant. Hier greift im Zweifelsfall eine abweichende Gesetzgebung mit entsprechenden Folgen bezüglich der Eigentums-, Verarbeitungs- und Schutzrechte der gespeicherten Daten. Aus der Perspektive des kommerziellen Anbieters einer

Datenbanklösung zur zentralen Speicherung der Daten sind die etablierten Datenschutzbedingungen aus vergleichbaren Industrie- und Internetangeboten auch hier zu beachten.

Neben der Gewährleistung einer sicheren lokalen Netzwerkumgebung durch gängige Mechanismen, Technologien und Maßnahmen auf der virtuellen Ebene, ist natürlich auch die Sicherheit der Kits vor unbefugtem physischen Zugriff zu schützen.

Wie unter anderem von Pentland (2009)<sup>537</sup> <sup>538</sup> bereits diskutiert, ist darüber hinaus zu prüfen, wer der Eigentümer der erzeugten Daten ist. Denn aus der Eigentümerschaft leiten sich die Verwertungs- und Nutzungsrechte der Daten ab. Genauso ist dabei zu beachten, ob und welche Rechte sich der Betreiber der eingesetzten (Cloud-basierten) Software-Lösung an der Analyse, Auswertung und Kommerzialisierung der Daten einräumt.

#### 4.3.5 Klassifizierung der Integrierbarkeit

Zur Integrierbarkeit eines Retrofit-Kits stellen sich aus der technischen Perspektive abhängig davon, ob es sich bei der ausgewählten Lösung um ein Kit handelt, welches autark oder in Verbindung mit einer bestehenden Steuerung arbeiten soll, unterschiedliche Fragen.

Allgemein ist zu Beginn die Frage zu beantworten, ob für das gewünschte Einsatzszenario auf ein Standard-Kit zurückgegriffen werden kann, oder ob eine hard- und/oder softwareseitig individuell angepasste Lösung zum Einsatz kommt. Gemeinsam sind bei allen Szenarien die Fragen, wer die Installation vornimmt, ob die Installationsteams vom Hersteller unterstützt werden, wie lange die Installation dauert, ob die Installation Auswirkungen auf den Betrieb der applizierten Anlagen haben wird (ist ein Stillstand der Maschine für die Installation notwendig?), ist das ausgewählte Kit überhaupt für den Einsatzort geeignet/zugelassen/zertifiziert, wo welche (zusätzlichen) Sensoren installiert werden und welche Maßnahmen zur Integration in die Produktionsumgebung und die Softwarelandschaft nötig sind. Bei der an eine bestehende Steuerung anknüpfenden Lösung müssen zusätzlich Fragen der hard- und softwareseitigen Kompatibilität, der Unterstützung der Steuerungsemantik durch das Retrofit-Kit sowie etwaig notwendige Konfigurationsanpassungen der Steuerung überprüft werden. Außerdem gilt es zu prüfen, welchen Einfluss ein etwaiger Eingriff auf die bestehenden Gewährleistungsansprüche hat. Softwareseitig gilt es zu klären, zu welchen bestehenden PLM/ERP/MES/SCADA/SCM/...-Systemen Schnittstellen und zu welchen anderen Maschinen M2M-Kommunikations-

---

<sup>537</sup> Pentland (2009), S. 79

<sup>538</sup> Schenk; Zobel (2016), S. 15

schnittstellen einzurichten sind. Je nach eingesetzter Lösung und Anwendungsfall sind auch einige Themen im nachgelagerten Wertstrom der Daten zu bearbeiten. Falls sich noch keine entsprechende Softwarelösung im Einsatz befindet, müssen zusätzlich Lösungen für die Verfügbarkeit, Anreicherung/Kombinierbarkeit und Visualisierung der Daten gefunden werden. Genauso gilt es zu klären, wie das Rechtemanagement für die Daten gestalten werden soll und ob/wie externe Partner Zugriff zu den Daten gewährt werden soll.

Dazu sind nicht nur auf der technisch-operativen Ebene die entsprechenden Anforderungen zu überprüfen, sondern es gilt auch auf technisch-planerischer Ebene zu prüfen welche Prozesse und Abläufe von der Installation betroffen sind und wie die Prozessintegration zu realisieren ist.

#### 4.3.6 Klassifizierung von Training und Support

Abhängig vom Grad der menschlichen Interaktion mit den Komponenten des Retrofit-Kits am Einsatzort, z.B. über HMIs, der Komplexität des etwaig verfügbaren Webinterfaces und der Schnittstellen zu bestehenden Softwarelösungen ist die Schulung der Mitarbeiter in Produktion und Verwaltung notwendig. Je nach Umfang der Anbieterleistungen ist eine Schulung für den kompletten Lebenszyklus des Retrofit-Kits und seiner Komponenten notwendig, von der Installation über die Inbetriebnahme und die Wartung bis hin zum Umgang mit Störungsmeldungen im Produktionsbetrieb.

Eine weitere wichtige Komponente im Maschinen- und Anlagenbau stellt der Support dar. Da Ausfall- und Standzeiten mit hohen Kosten für den Betreiber einhergehen, ist die Reduktion dieser durch eine schnelle Lösungsfindung von hoher Bedeutung. Dafür bieten viele etablierte Maschinen- und Anlagenbauer ein mehrstufiges Supportsystem an. Dieses beinhaltet 24/7/365 verfügbare Telefonhotlines in Landessprache zur ersten Fehlerdiagnose, Remote-Assistance durch entfernte Servicemitarbeiter für Anlagen, die über Modem- oder Internetkonnektivität verfügen und je nach SLA die Bereitstellung von Servicemitarbeitern vor Ort beim Kunden innerhalb weniger Stunden. Dieses etablierte Supportsystem lässt sich für Retrofit-Kits in ähnlicher Weise auch nutzen. Es kann jedoch noch um Softwarekomponenten und Algorithmen zur automatisierten Fehlerlösung bzw. der automatisierten Unterstützung von Mitarbeitern des Anwenders beim Auffinden und Lösen von Fehlern ergänzt werden. Auch sind Onlineforen zum Austausch der Anwender untereinander vorstellbar.



### 4.3.7 Klassifizierung der Geschäftsmodelle

Die Klassifizierung der Geschäftsmodelle des Providers basiert auf den Erkenntnissen und der entwickelten Struktur der systematischen Literaturrecherche mit dem Schwerpunkt auf datenbasierte und -unterstützte Geschäftsmodelle im Industrie 4.0-Kontext (s. Kapitel 3.2.6). Die Klassifizierung findet in einem dreistufigen Prozess statt. Im ersten Klassifizierungsschritt werden die am Geschäftsmodell möglichen Beteiligten vorgestellt sowie die möglichen Geschäftsbeziehungsinteraktionen zwischen den Beteiligten aufgezeigt. In einem zweiten Klassifizierungsschritt werden die abstrakten Geschäftsmodell- und, die teils sich damit überschneidenden, Geschäftsstrategievariablen definiert. Im dritten Klassifizierungsschritt wird auf die neuen und zusätzlichen Geschäftsmodelle eingegangen. Hier liegt der Fokus insbesondere auf den in der Literaturrecherche primär untersuchten datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodellen.

Im ersten Klassifizierungsschritt zwischen den Geschäftsmodellen für die Entwickler und Hersteller der Retrofit-Kits (im Folgenden der „Hersteller“), die ihre Lösungen an den die Lösung betreibenden Endanwender verkaufen und den Maschinen- und Anlagenbauern (im Folgenden der „OEM“), welche die Retrofit-Kits zur „Digitalisierung“ bzw. zum „Upgrade“ ihrer Bestandsanlagen bei und im Auftrag von ihren Kunden (im Folgenden der „Kunde“) einsetzen, unterschieden. Im ersten Fall (im folgenden Fall A) besteht eine direkte Interaktion und Geschäftsbeziehung zwischen Hersteller und Kunde. Im zweiten Fall (im Folgenden Fall B) wählt der OEM zunächst einen Hersteller seiner Wahl aus und verkauft diese Lösung dann an seinen Kunden. Hier ist auch ein White-Label Modell vorstellbar. Im dritten Fall (im Folgenden Fall C) wäre der OEM selber der Hersteller und wird seine Retrofitlösung dann selber und direkt an den Kunden vertreiben.

Im zweiten Klassifizierungsschritt werden die folgenden Variablen definiert, die die Differenzierung der Geschäftsmodelle auf einem abstraktem Level ermöglichen sollen:

1. Retrofit als Produkt a) einer auf dieses eine Produkt fokussierten *Single-Product-Company* oder b) Retrofit als ergänzendes Produktangebot durch einen Maschinen- und Anlagenbauer
2. Angebotene Retrofit-Kits sind a) standardisierte Komponenten in wenigen Varianten oder b) vollständig individualisierbar entsprechend der Kundenanforderungen
3. Retrofit-Kits sowie korrespondierende Softwarekomponenten sind a) branded durch den Hersteller oder b) als White-Label Lösung verfügbar
4. Retrofit-Implementierung über ein a) „IBM-Modell“ oder b) ein „IKEA-Modell“. Im Fall a) bietet der Hersteller das volle Spektrum an Dienstleistungen rund um die Auswahl, die lokale Implementierung, die Anbindung sowie die

Schulung an. Im Fall b) fokussiert sich der Hersteller auf die Entwicklung und den Vertrieb der Hardware (und evtl. begleitenden Software) und überlässt alle weiteren Aufgaben spezialisierten Anbietern, ähnlich wie bei der Differenzierung zwischen Softwareherstellern und den zertifizierten, implementierenden Systemhäusern

5. a) Retrofit als ein in sich geschlossenes, eigenes Geschäftsmodell (z.B. als Transaktionsgeschäfts zum reinen Verkauf der Hardware ohne weitere Services) oder b) Retrofit zur Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle auf Basis von Maschinen und Anlagen (z.B. als Grundlage für die Ermöglichung des Verkaufs von Folgeabonnements für die Nutzung von Services (z.B. Software zur Datenauswertung)) oder c) Retrofit als Grundlage für die Entwicklung von *nonownership* Servitisation-Angeboten

Abhängig von der Konfiguration der Variablen, findet somit eine Vorselektion der dann anwendbaren, möglichen Geschäftsmodelle statt. Im dritten Klassifizierungsschritt zeigt der gewählte Fokus auf die durch Retrofit zusätzlich ermöglichten, neuen Geschäftsmodelle, dass die datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodelle in den Mittelpunkt rücken. Es wurde bereits zwischen drei Typen unterschieden: a) Cloud-basierte Geschäftsmodelle, b) Service-orientierte Geschäftsmodelle und c) Prozess-orientierte Geschäftsmodelle. Die Literaturrecherche ergab dabei, dass der Schwerpunkt der Wissenschaft bisher auf den Service-orientierten Geschäftsmodellen liegt. Dies ist möglicherweise auch darauf zurückzuführen, dass die beiden anderen Typen häufig in Kombination mit einem Service-orientierten Geschäftsmodell auftreten und dieser Geschäftsmodell-Typ auch die fundamentalste Neuartigkeit im industriellen Sektor darstellt.

Die in der Literatur bereits abgeleitete Detail-Klassifizierung der Geschäftsmodelle innerhalb des Bereichs der Service-orientierten Geschäftsmodelle wird im Folgenden weiterverwendet. Dabei wurde zwischen drei Stufen der Servitisation Strategien unterschieden: 1) einzelne, ergänzende Leistungsangebote, 2) integrierte Lösungsangebote und 3) Verträge für Produktangebote ohne Eigentümerwechsel (Nonownership Contracts).<sup>539 540 541</sup> Die dabei eingesetzten hybriden Leistungsakte wurden unterteilt in: a.) produkt-orientierte, b.) nutzungs-orientiert und c.) ergebnis-orientierte PSS.<sup>542 543</sup>

---

<sup>539</sup> Ehret; Wirtz (2017), S. 9f.

<sup>540</sup> Lovelock; Gummesson (2004), S. 34

<sup>541</sup> Du; Howe; Jain; u. a. (2014), S. 7

<sup>542</sup> Tukker (2004), S. 248

<sup>543</sup> Reim; Parida; Örtqvist (2015), S. 73

## 5 Integriertes Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen

### 5.1 Konzeption des Frameworks

Auf Grund des noch jungen Forschungsgebiets und der überschaubaren Anzahl an Publikationen hat sich noch kein konzeptionelles Framework als Standard in den Bereichen (I)IoT / Industrie 4.0 / Retrofit etabliert. Etablierte konzeptionelle Frameworks aus angrenzenden Wissenschaftsbereichen werden als Grundlage zur Entwicklung des eigenen konzeptionellen Frameworks verwendet. Auf Grund der hybriden Kombination und Interaktion der Bereiche Strategie, Geschäftsmodell und operativer Anforderungen gilt es ein Framework zu entwickeln, welches die logische Verzahnung dieser Bereiche bei Retrofitszenarien widerspiegelt. Diese Verknüpfung ist wortgebend für das „integrierende“ Element des Frameworks. Eine Besonderheit stellt dabei die Perspektive des Betrachters dar. Denn wie im vorherigen Kapitel erläutert, unterscheiden sich die realisierbaren Geschäftsmodelle abhängig von der Frage, aus wessen Perspektive Retrofits untersucht werden, aus der Rolle des Operators oder des Providers. Das folgende Framework ist rollen-agnostisch und deckt beide Perspektiven ab.

Grundlage des hier vorgestellten Frameworks sind die konzeptionellen Frameworks von Spanos und Lioukas (2001)<sup>544</sup> und Al-Debei und Avison (2010)<sup>545</sup>. Spanos und Lioukas (2001)<sup>546</sup> entwickeln ein kombiniertes Strategie-Framework, welches die Strategiekonzepte von Porter (1980, 1985, 1990, 1991)<sup>547 548 549 550</sup> mit dem jüngeren wissenschaftlichen Ansatz der Ressourcentheorie nach Wernerfelt (1984)<sup>551</sup> zu vereinen versucht (Abbildung 33). Dabei machen sie drei Effekt-Klassen aus, die Einfluss auf die Leistung von Unternehmen nehmen: 1) Strategie-; 2) Industrie- (/Branchenkräfte-); 3) Vermögenswerte-Effekte. Die zwischen den Klassen agierenden Effekte sind für die weiteren Untersuchungen nicht von Relevanz, und werden daher nicht näher behandelt.

---

<sup>544</sup> Spanos; Lioukas (2001)

<sup>545</sup> Al-Debei; Avison (2010)

<sup>546</sup> Spanos; Lioukas (2001), S. 913

<sup>547</sup> Porter (1980)

<sup>548</sup> Porter (1985)

<sup>549</sup> Porter (1990)

<sup>550</sup> Porter (1991)

<sup>551</sup> Wernerfelt (1984)

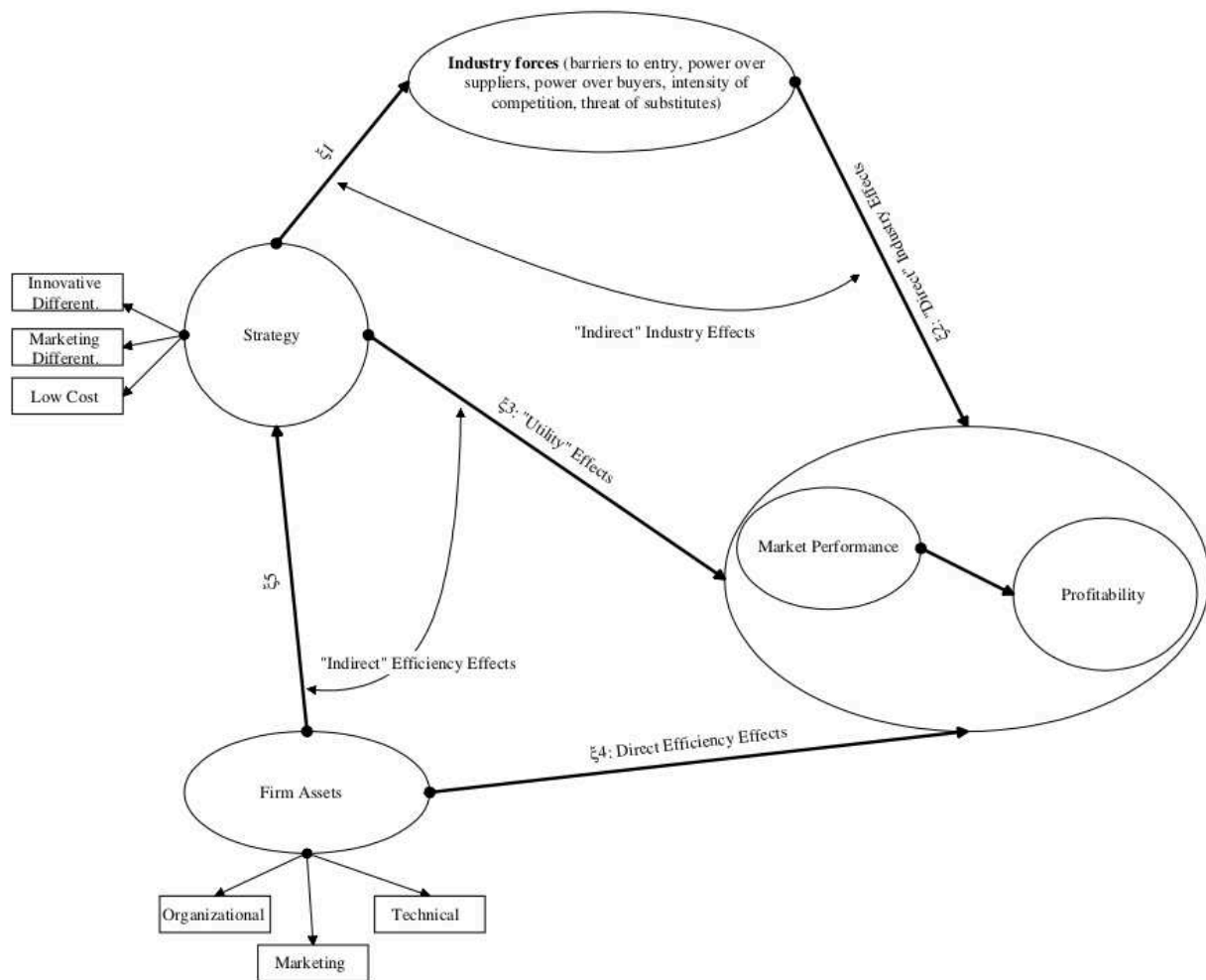


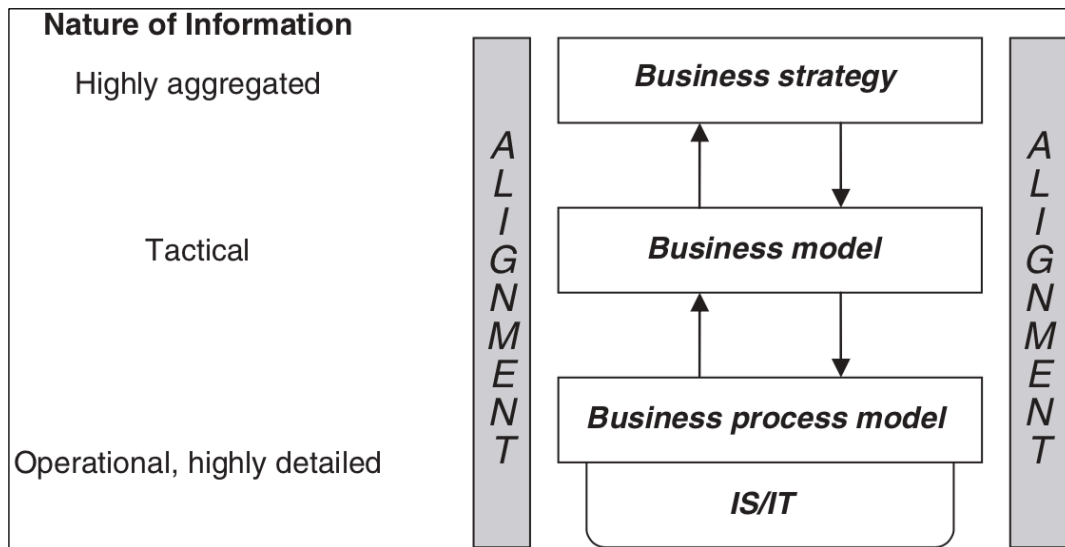
Abbildung 33: Conceptual Framework nach Spanos und Lioukas (2001)<sup>552</sup>

Al-Debei und Avison (2010)<sup>553</sup> entwickeln ein Framework für Geschäftsmodellkonzepte mit Bezug zu (digitalen) Informationssystemen. Wie die Autoren feststellen, ist das Geschäftsmodell dabei Bindeglied zwischen der Firmenstrategie und den Geschäftsprozessen und stellt somit einen einzigartigen strategischen, operativen und technologischen Mix dar.<sup>554</sup> Daraus entwickeln die Autoren im nächsten Schritt ein Schichtmodell für digitale Geschäfte (Abbildung 34), dessen Elemente sich im hier vorgestellten Framework wiederfinden werden.

<sup>552</sup> Spanos; Lioukas (2001), S. 913

<sup>553</sup> Al-Debei; Avison (2010), S. 360ff.

<sup>554</sup> a.a.O., S. 370

Abbildung 34: Digital business layers<sup>555</sup>

Das hier vorgestellte *integrierte Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen* (im Folgenden auch als *integriertes Bewertungs-Framework* bezeichnet) wird zunächst als konzeptionelles Framework vorgestellt und in einem zweiten Schritt um die Bewertungskomponente komplettiert. Das Framework besteht aus sechs vertikalen Ebenen und insgesamt zehn übergeordneten Bausteinen. Dabei wurden die Effekt-Klassen von Spanos und Lioukas (2001)<sup>556</sup> mit dem Schichtmodell von Al-Debei und Avison (2010)<sup>557</sup> kombiniert und um die in den vorherigen Kapiteln entwickelten, Retrofit-spezifischen Rollen, strategischen Primärziele, Klassifizierungen und gegenseitigen Interaktionen erweitert.

Die Ebenen beinhalten die zusammenhängenden Themengruppen auf einer gemeinsamen Detailstufe. Die folgenden Ebenen wurden definiert: 1) Anwender / Nutzer, 2) Strategisch primäre Ziele und Einflüsse, 3) Angewandtes Geschäftsmodell, 4) Anforderungen, 5) Fähigkeiten & Ressourcen (des Anwenders / Nutzers) und 6) Leistung. Die zehn übergeordneten Bausteine befinden sich innerhalb oder zwischen den Ebenen und beinhalten einzelne oder thematisch zusammenhängende Elemente. Die folgenden übergeordneten Bausteine wurden definiert: 1) Operator oder Provider, 2) Strategie, 3) Brancheneinflüsse / Marktkräfte, 4) Geschäftsmodell, 5) Geschäftsprozessmodell, 6) Anbieter, 7) Anforderungsklassifikationen, 8) Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte und 9) externe und interne Leistungskomponenten.

Einzelne übergeordnete Bausteine beinhalten weitere Teilbausteine. So besteht der Baustein Strategie aus den im vorherigen Kapitel definierten drei Primärzielen: a) Operative Ziele, b) Neue Geschäftsmodelle und c) Innovations- und

<sup>555</sup> a.a.O., S. 371


<sup>556</sup> Spanos; Lioukas (2001)

<sup>557</sup> Al-Debei; Avison (2010), S. 360ff.

Marketingdifferenzierungen. Diese drei Primärziele werden in die zwei möglichen Kategorien der wettbewerblichen Prioritäten „Kosten“ (bzw. „Kostenfokus“) und „Differenzierung“ (bzw. „Differenzierungsfokus“) nach Porter (1980)<sup>558</sup> sortiert. Der übergeordnete Baustein Anforderungsklassifikationen besteht aus den drei im vorherigen Kapitel differenzierten Themengruppen: a) Technische Themen; b) Operative Themen; c) Betriebswirtschaftliche Themen. Diese drei Themengruppen stehen in direkter Interaktion mit den drei Bausteinen a) Technische Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte, b) Organisatorische und Vertriebliche Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte und c) Finanzielle Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte des angrenzenden, übergeordneten Bausteins der Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte.

Es wurden mehrdimensionale Interaktionen zwischen den Ebenen und den übergeordneten Bausteinen auf Basis der zugrundeliegenden Frameworks und der Literaturergebnisse festgestellt und im eigenen Framework abgebildet. Darüber hinaus ergaben sich aus der bereits getroffenen Differenzierung der verschiedenen Anwenderrollen (Operator oder Provider) sowie der diskutierten Geschäftsmodelle weitere Einflüsse auf die übergeordneten Bausteine. Konkret war dies beim Einfluss des Anwenders/Nutzers auf die Strategie, beim Einfluss des Providers auf das Geschäftsmodell und die Anforderungen und bei den Interaktionen der Anforderungen auf das Geschäftsmodell und die Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte der Fall.

Aus den definierten Komponenten und Interaktionen des Frameworks ergibt sich der konzeptionelle Teil des integrierten Bewertungs-Frameworks (Abbildung 35).

Dieses Framework wird in der Ebene Anforderungen nun um eine Bewertungsmatrix angereichert, die Entscheidungsträgern beim Vergleich von Anwenderanforderungen und Angebotsmerkmalen unterstützen soll. Zur besseren Darstellbarkeit wird die Bewertungsmatrix nicht in das integrierte Framework mit eingebettet, sondern als ergänzende Komponente separat behandelt und visualisiert (s. Kapitel 5.2). Die sieben zu bewertenden Anforderungen sind durch das Symbol  im Framework gekennzeichnet.

---

<sup>558</sup> Porter (1980)

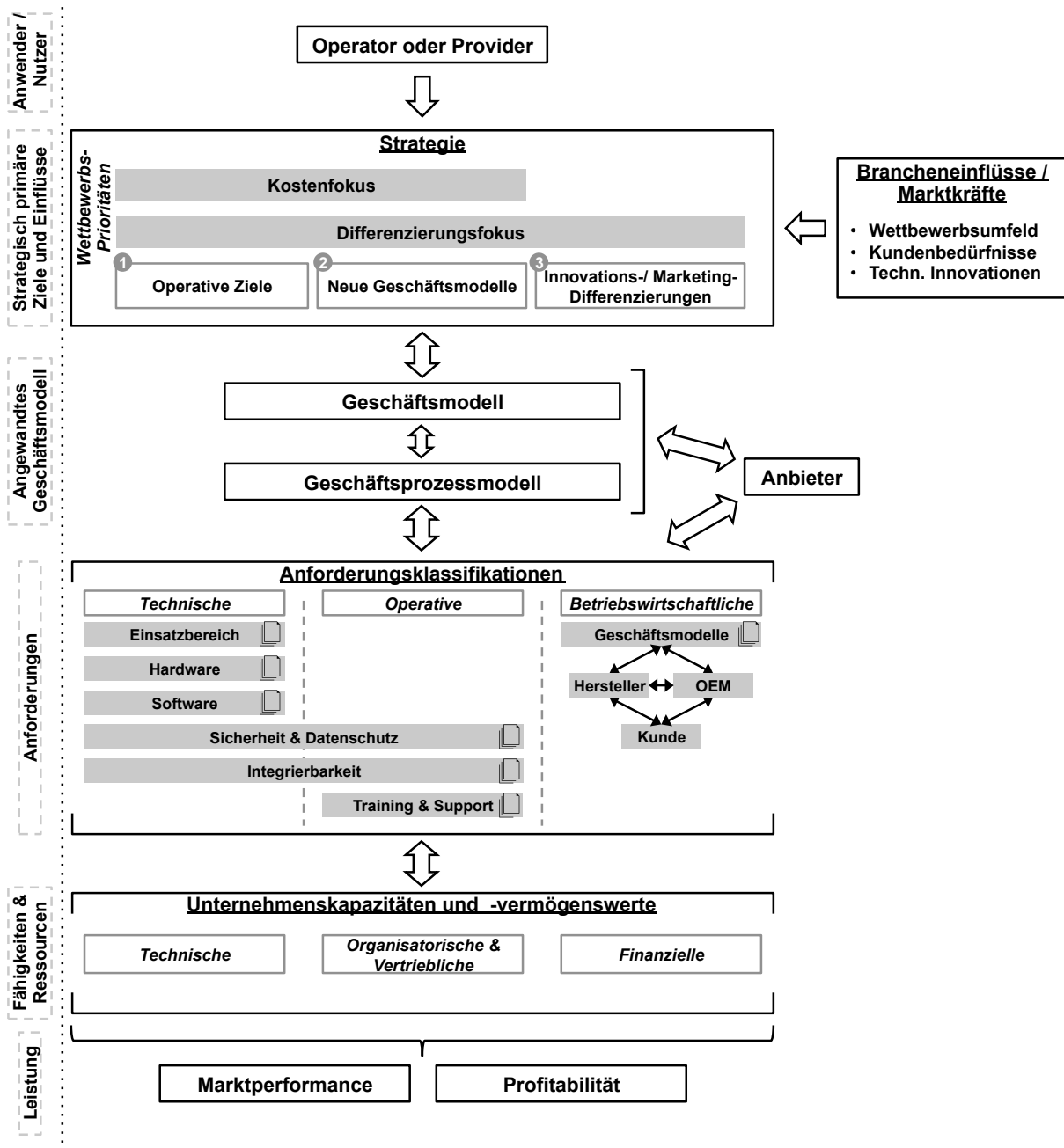


Abbildung 35: Integriertes Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen

## 5.2 Bewertungsmatrix des Frameworks

Für die Bewertungskomponente des integrierten Bewertungs-Frameworks wird eine relative Bewertungsmethode gewählt. Auf Grund der vielfältigen Einsatzbereiche, projektabhängigen Absichten, angestrebten Unternehmensziele und avisierten Geschäftsmodelle, die mit einem Retrofitprojekt einhergehen, scheint eine absolute Bewertungsmethode nicht zielführend. Denn diese würde die individuellen Präferenzen und externen Einflüsse nur mit einem hohen Grad an Komplexität in der Berechnung berücksichtigen können. Bei einer relativen Bewertungsmethode werden

die Ziele aller involvierten Bereiche des Unternehmens mit den Eigenschaften der Lösungen in einem standardisierten Format abgeglichen. Dazu wird eine zwei-dimensionale Bewertungsmatrix genutzt.

Drei Eigenschaften müssen für die Bewertungsmatrix des integrierten Bewertungs-Frameworks definiert bzw. erfüllt werden. Das sind die zu messenden Variablen, die schnelle und einfache Diagnose von Differenzen zwischen den Anforderungen des Anwenders und den Merkmalen der Retrofit-Lösungen sowie eine praxistaugliche Visualisierungsmethode.

Die zu messenden Variablen ergeben sich aus den in Kapitel 4.3 bereits definierten Klassifizierungsmerkmalen, die im Folgenden thematisch sortiert und entsprechend der vorgenommenen Themengebiete-gruppierung als Variablen übernommen werden. Die Differenzdiagnose und die praxistaugliche Datendarstellung können durch die geeignete Visualisierungsauswahl gemeinsam gelöst werden. Vorteilhaft scheint hier eine Visualisierung, die somit nicht nur die Daten visualisiert, sondern entsprechende Differenzen zwischen Anforderung und Lösungsmerkmal sofort aufzeigt. Eine geeignete Visualisierungsmethode scheint das vertikale Skalensystem des *semantischen Differentials* zu sein.<sup>559</sup> Hier werden die Merkmale auf die y-Achse und die zu messende Variable (z.B. der Erfüllungsgrad) auf die Skalen der x-Achse appliziert. Die Skalen werden auf Grund der unterschiedlichen Bewertungsdimensionen der einzelnen Themengruppen auf Variablenebene definiert, soweit nicht eine allgemeingültige 0-100% - Skala verwendet werden kann. Dabei können mehrere Eigenschaften oder Teilaspekte einer Klassifizierungsvariable zusammengefasst werden und bei vollständiger Erfüllung aller Teilaspekte die 100% darstellen. Beim Einsatz des subsummierenden Verfahrens empfiehlt es sich, mit einem begleitenden Lastenheft zu arbeiten, welches die vollständige und technisch korrekte Gesamtheit der Anforderungen jeder Klassifizierungsvariablen abbildet. So ist sichergestellt, dass auch Klassifizierungsvariablen, welche aus heterogenen Teilaspekten bestehen, vollständig und korrekt in der Skala gemessen werden. Alternativ können die Klassifizierungsvariablen auch in detaillierte Sub-Klassifizierungsvariablen aufgebrochen werden, die pro Variable jeweils nur eine Eigenschaft beinhaltet. Dies führt zu einer umfangreicheren Bewertungsmatrix, kann jedoch u.a. die Anfertigung des Lastenhefts ersparen.

Abweichend von der sonst üblichen Praxis der einheitlichen Darstellung aller Variablen sollten bei der Anwendung der Methode im Retrofit-Kontext die Variablen, die als kritisch definiert werden (z.B. Datenschutz im Endkonsumentenkontext in Deutschland) und somit keinen mangelnden Erfüllungsgrad des Leistungsmerkmals gegenüber der Anforderung zulassen, explizit gekennzeichnet werden. So kann sichergestellt werden, dass bei einem nicht ausreichenden Erfüllungsgrad der

---

<sup>559</sup> Mindak (1961)



Anforderungen dieser Mangel erkennbar ist und das untersuchte Angebot von der Auswahl ausgeschlossen wird.

Eine Besonderheit stellt der Bereich der Geschäftsmodell-Klassifizierung bei der Applikation der Skala des semantischen Differentials zur Bewertung der Klassifizierungsvariablen dar. Denn hier können keine Anforderungen zu einem gewissen Grad erfüllt werden wie das z.B. bei technischen Merkmalen der Fall ist. Die identifizierten Merkmale der Geschäftsmodelle für Retrofits wurden überwiegend in binäre Alternativen klassifiziert.

Im Folgenden werden die sieben aus den Klassifizierungen des vorherigen Kapitels abgeleiteten Bewertungsmatrizen mit der definierten Variablenauswahl präsentiert (Abbildung 36, Abbildung 37, Abbildung 38, Abbildung 39, Abbildung 40, Abbildung 41, Abbildung 42, Abbildung 43, Abbildung 44, Abbildung 45).

	<u>Einsatzbereich</u>				
	20%	40%	60%	80%	100%
<b><u>Operator-Perspektive</u></b>					
Produktionsplanung					
Produktionsmanagement					
Wartung und Instandhaltung					
Energie-Monitoring					
<b><u>Provider-Perspektive</u></b>					
Allgemeine OEM-Ausrüstung					

**Abbildung 36: Bewertung des Einsatzbereichs**

**Hardware**

Nein	Ja
------	----

**Typ**

**Kategorie des Kits**

Nur Hardware

Nur Software

Hard- mit Software

**Art des Kits**

Nur Gateway

Vollständig-integrierte Retrofit Lösung

**Art der Kommunikation**

Direkt

Indirekt

**Technische Grundlage des Kits**

Spezialgefertigte Hardware

Modifizierte Lösungen auf Basis von bestehenden Komponenten


Nein	Ja
------	----

**Einsatzort und ortsabhängige Merkmale**

**Mobilität der Installation**

Stationär

Mobil

**Ort der Installation**

Ungeschützt an der Maschine

Geschützt im Schaltschrank

Geschützt in produktionsfernen Räumlichkeiten


**Ort der Installation**

Ungeschützt an der Maschine

Geschützt im Schaltschrank

Geschützt in produktionsfernen Räumlichkeiten


**Abbildung 37: Bewertung der Hardware - Teil 1**



<u>Software</u>		
	Nein	Ja
<b><u>Betriebssystem und Anwendungen</u></b>		
<u>Betriebssystem</u>		
Microsoft Windows		
Linux-Derivat		
Proprietäres Betriebssystem		
<u>Lizenzmodus der Software</u>		
Proprietäre Softwarelösung		
Open-Source Softwarelösung		
<u>Externe Lizenzierung</u>		
Separate Lizenzierung einzelner Softwarekomponenten		
<u>Umgebung der Anwendungen</u>		
Nativ		
Virtualisiert und / oder containerized		
<u>Software-Schnittstellen</u>		
Bereitstellung von SDKs/APIs		

**Abbildung 39: Bewertung der Software - Teil 1**

	20% Nein	40%	60%	80%	100% Ja
<b><u>Konnektivität und Konfiguration</u></b>					
<b><u>Konfigurationsmöglichkeiten</u></b>					
via Human-Machine-Interface am Kit					
via Web-Interface					
via Konsolenverbindung					
<b><u>Systemoffenheit</u></b>					
Installation und Nutzung eigener Schnittstellen und APIs					
<b><u>Vorinstallierte APIs</u></b>					
Auswahl an APIs zu zentralen Datenbank- und Cloudanbietern					
<b><u>Anbindung an IIoT-Architektur</u></b>					
Anbindung des Kits an bestehende IIoT-Architektur					
<b><u>Semantik-Übersetzer</u></b>					
Semantik-Übersetzer für bestehende Steuerungen					
<b><u>Kommunikationswege der Daten</u></b>					
Unidirektionale Kommunikation					
Bidirektionale Kommunikation					
<b><u>Möglichkeiten der Aktualisierung der Softwarekomponenten</u></b>					
Lokal					
Over-the-air					
<b><u>Verschlüsselungsgrad der Kommunikation</u></b>					
Keine Verschlüsselung					
Vereinzelte Verschlüsselung					
Vollständige Verschlüsselung					
<b><u>Kommunikationsmöglichkeiten bei Grenzwertenüberschreitung</u></b>					
App					
SMS					
Email					
Andere					
<b><u>Geräte-Management</u></b>					
Zentrales Geräte-Management mehrerer installierter Kits					

Abbildung 40: Bewertung der Software - Teil 2

**Datenverarbeitung und Datenspeicherung**

Auflösungsgrad und Intervallbereich der Datenerfassung

Zeitliche Datenverarbeitung

Real-time Fähigkeit mit deterministischen Laufzeiten  
 Variantes, laufzeitverzögertes Batch-Processing

Örtliche Datenverarbeitung

Lokale Datenverarbeitung in den Gateways (Edge Computing)  
 Datenverarbeitung in zentraler Datenbank (Cloud Computing)  
 Dezentrale Datenverarbeitung zwischen Gateway und der zentralen Datenbank (Fog Computing)

Datenspeicherung

Unkomprimiert / komprimiert (Nein / Ja)  
 Temporär / dauerhaft (Nein / Ja)  
 Selektiv / vollständig (Nein / Ja)  
 Unverschlüsselt / verschlüsselt (Nein / Ja)  
 Lokal in den Kits oder Gateways

In einer zentralen Datenbank

Standort der Cloud-basierten Datenspeicherung

Deutschland  
 Europa  
 USA  
 Rest der Welt

Zugriff auf die Daten

Panel an der Maschine (HMI)  
 Software-Client  
 Mittels API  
 Über ein Webinterface

	20% Nein	40%	60%	80%	100% Ja
<u>Auflösungsgrad und Intervallbereich der Datenerfassung</u>					
<u>Zeitliche Datenverarbeitung</u>					
Real-time Fähigkeit mit deterministischen Laufzeiten					
Variantes, laufzeitverzögertes Batch-Processing					
<u>Örtliche Datenverarbeitung</u>					
Lokale Datenverarbeitung in den Gateways (Edge Computing)					
Datenverarbeitung in zentraler Datenbank (Cloud Computing)					
Dezentrale Datenverarbeitung zwischen Gateway und der zentralen Datenbank (Fog Computing)					
<u>Datenspeicherung</u>					
Unkomprimiert / komprimiert (Nein / Ja)					
Temporär / dauerhaft (Nein / Ja)					
Selektiv / vollständig (Nein / Ja)					
Unverschlüsselt / verschlüsselt (Nein / Ja)					
Lokal in den Kits oder Gateways					
In einer zentralen Datenbank					
<u>Standort der Cloud-basierten Datenspeicherung</u>					
Deutschland					
Europa					
USA					
Rest der Welt					
<u>Zugriff auf die Daten</u>					
Panel an der Maschine (HMI)					
Software-Client					
Mittels API					
Über ein Webinterface					

**Abbildung 41: Bewertung der Software - Teil 3**

**Sicherheit und Datenschutz**

	20% Nein	40%	60%	80%	100% Ja
<u>Verschlüsselung</u>					
Verschlüsselung der Netzwerkcommunication					
Verschlüsselte Speicherung der Daten					
<u>Authentifikation</u>					
Geeignete Authentifikationsart					
Rollen- und Rechtemanagement					
<u>Nation der Datenspeicherung</u>					
Abweichende Gesetzgebung durch Datenspeicherungsart					
Einschränkung durch Eigentums-, Verarbeitungs- und Schutzrechte der gespeicherten Daten					
Konformität mit nationalen Datenschutzbedingungen					

**Abbildung 42: Bewertung von Sicherheit und Datenschutz**

	<u>Integrierbarkeit</u>	
	Nein	Ja
<u>Kit-Typus</u>		
Standard-Kit		
Individuell angepasste Lösung		
<u>Installationspersonal</u>		
Installation durch Anwender		
Installation durch Hersteller		
<u>Installationseigenschaften</u>		
Auswirkungen auf den Betrieb der applizierten Anlagen (Stillstand?)		
Eignung/Zulassung/Zertifizierung des Kits für Einsatzort		
Installation externer Sensorik		
<u>Installationsauswirkungen</u>		
Anpassungen der Produktionsumgebung		
Anpassungen der Softwarelandschaft		
Konfigurationsanpassungen der Steuerung		
Schnittstellen zu bestehenden Systemen		
<u>Wertstrom der Daten</u>		
Verfügbarkeit, Anreicherung/Kombinierbarkeit und Visualisierung der Daten		

**Abbildung 43: Bewertung der Integrierbarkeit**

	<u>Training und Support</u>				
	20% Nein	40%	60%	80%	100% Ja
<u>Schulung</u>					
Technische Schulung für technische Mitarbeiter					
Anwenderschulung für Mitarbeiter					
<u>Support</u>					
Verfügbarkeit von Telefonsupport					
Verfügbarkeit von Servicemitarbeitern vor Ort					

**Abbildung 44: Bewertung von Training und Support**



**Geschäftsmodelle**

	Nein	Ja
<u>Erster Klassifizierungsschritt</u>		
Direkte Interaktion und Geschäftsbeziehung zwischen Hersteller und Kunde		
OEM wählt Hersteller aus, Lösung wird weiterverkauft		
OEM ist Hersteller		
<u>Zweiter Klassifizierungsschritt</u>		
1) Single-Product-Company		
1) Retrofit als ergänzendes Produktangebot		
2) Standardisierte Lösungen in wenigen Varianten		
2) Vollständig individualisierbare Lösungen		
3) Branded durch den Hersteller		
3) White-Label Lösung		
4) Retrofit-Implementierung über ein „IBM-Modell“		
4) Retrofit-Implementierung über ein „IKEA-Modell“		
5) Retrofit als ein in sich geschlossenes, eigenes Geschäftsmodell (z.B. als Transaktionsgeschäft)		
5) Retrofit zur Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle auf Basis von Maschinen und Anlagen		
5) Retrofit als Grundlage für die Entwicklung von „nonownership“ Servitisation-Angeboten		
<u>Dritter Klassifizierungsschritt</u>		
Einzelne, ergänzende Leistungsangebote		
Integrierte Lösungsangebote		
Verträge für Produktangebote ohne Eigentümerwechsel		
Produkt-orientierte PSS		
Nutzungs-orientierte PSS		
Ergebnis-orientierte PSS		

**Abbildung 45: Bewertung der Geschäftsmodelle**

### 5.3 Exemplarische Anwendung des Frameworks

Ein fiktives Beispiel demonstriert im Folgenden die exemplarische Anwendung des konzeptionellen Frameworks im Praxiseinsatz. Dabei werden sowohl der strukturierte Ablauf als auch der Inhalt der einzelnen Bausteine veranschaulicht. Der Praxisanwender erhält somit die Möglichkeit, die vielleicht zuvor abstrakt erscheinenden Funktionen und Entscheidungsoptionen des Frameworks und seiner Bausteine konkret auf das eigene Projekt zu applizieren.

Der Entscheidungsträger, der das Framework anwendet, wird im Folgenden der Einfachheit halber als *Anwender* bezeichnet.

In dem dargestellten Framework werden zwei mögliche Anwenderrollen beleuchtet: 1) Die Provider- und 2) die Operatorrolle. Abhängig davon, welche Rolle der Anwender einnimmt, unterscheiden sich seine Strategie und seine Geschäftsmodelle und es stehen ihm dazu korrespondierend innerhalb der einzelnen Bausteine unterschiedliche Optionen zur Verfügung. So unterscheiden sich z.B. die Geschäftsmodelle zwischen Provider- und Operatorrolle. In der Providerrolle ist das Geschäftsmodell auf den Verkauf und die Installation der Retrofit-Lösungen sowie die damit verbundenen und die dadurch ermöglichten Dienstleistungen ausgerichtet. In der Operatorrolle steht hingegen die Anpassung bestehender oder die Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle durch die technologischen Möglichkeiten auf Basis des Retrofits im Vordergrund. Diese Unterscheidung ist bei der Klassifizierung der Geschäftsmodelle bereits ausgeführt worden, zeigt sich aber noch einmal bei den nun folgenden Anwendungsszenarien.

Einige mögliche Anwendungsszenarien aus der Providerperspektive eines Retrofit-Anbieters sind:

1. Ein Maschinenbauer ergänzt sein Produktportfolio um eine White-Label Retrofit-Lösung, die er von einem spezialisierten Unternehmen bezieht und gemeinsam mit diesem für seine Maschinen angepasst hat. Diese Retrofit-Kits vermarktet er nun über seine bestehende After-Sales Kanäle an die Bestandskunden seiner Maschinen und Anlagen. Teil der Kooperation ist die gemeinsame Entwicklung einer Cloudumgebung für die Anlagen des Maschinenbauers, über die sowohl seine Kunden als auch sein Support-Center auf die Anlage zugreifen können. Dies ermöglicht ihm Remote-Maintenance Dienstleistungen zu verkaufen.
2. Ein Start-Up entwickelt und vertreibt ein eigenes Retrofit-Kit mit eigener Cloudumgebung, welches maschinenagnostisch eingesetzt werden kann. Es adressiert Kunden, die eine herstellerunabhängige Digitalisierungsmöglichkeit ihrer analogen Maschinen suchen. Der Kunde kauft das Retrofit-Kit, installiert

es mit seinen eigenen Mitarbeiter und schließt mit dem Start-Up einen Vertrag zur Nutzung der Cloudumgebung ab.

3. Ein Maschinenbauer spezialisiert sich auf die Revitalisierung und Überholung alter Maschinen, die er mit Retrofit-Kits ausstattet und sie im Anschluss in Kooperation mit einem Leasinganbieter gegen eine nutzungsabhängige Leasingrate vertreibt.

Einige mögliche Anwendungsszenarien aus der Operatorperspektive, die durch Retrofits ermöglicht werden, sind im Folgenden aufgeführt. Ein Operator rüstet seinen bestehenden Maschinenpark mit Retrofit-Kits aus. Dadurch ergeben sich folgende Möglichkeiten:

1. Die Produktion von vollständig individualisierbaren Produkten mit Losgröße Eins
2. Die Umsetzung von Machinery-as-a-Service Geschäftsmodellen durch die Anbindung seines Maschinenparks an eine entsprechende Plattform, z.B. durch den Verkauf von Maschinenstunden an produktionskapazitätssuchende Unternehmen
3. Die Umsetzung von Dynamic Pricing Methoden. Diese beschreiben das Konzept, Preise für Güter und für die Erbringung von Dienstleistungen nicht starr zu fixieren, sondern in Abhängigkeit von z.B. der tagesaktuellen Nachfrage oder Auslastung variabel zu gestalten
4. Die Möglichkeit für finanzierende Leasing-/Kreditinstitute und Versicherungen die Raten in Abhängigkeit von der Maschinennutzung zu gestalten
5. Dem Endkunden eine höhere Produktionsflexibilität durch vernetzte Automatisierung zu verkaufen. Durch die Maschinenvernetzung kann der Kunde die Reihenfolge seiner Aufträge selber definieren und selbstständig in Echtzeit anpassen
6. Die digitale Erfassung von Maschinendaten mittels nachträglich installierter Sensoren an der Maschine, die von der Retrofit-Lösung aggregiert und zur Verfügung gestellt werden
7. Der Einsatz von Predictive Maintenance Algorithmen

Das folgende Anwendungsbeispiel stellt einen exemplarischen Musterfall dar, an Hand dessen das Frameworks eingesetzt wird: Ein Anwender ist Eigentümer eines Maschinenparks mit 40 Werkzeugmaschinen, die alle über 30 Jahre alt sind und zuletzt in den 1990er Jahren mit speicherprogrammierbaren Steuerungen ausgestattet worden sind. Finanziell kann er die Maschinen aktuell nicht gegen neue Maschinen ersetzen, möchte jedoch in die bestehenden Maschinen investieren. Aktuell ist sein geschäftlicher Fokus die auftragsbezogene Fertigung von sich ähnelnden Metallteilen in kleinen Losgrößen für wenige große Kunden in seiner Region. Durch den alten Maschinenpark, regelmäßige Maschinenausfälle, die

händische Dokumentation und die häufig wechselnde Parametrisierung der Maschinen hat der Anwender jedoch hohe Ausschussquoten und erreicht häufig nur mit erheblicher Nacharbeit die von den Kunden gewünschten Qualitätsziele. Dies ist kostenintensiv und gefährdet die Wettbewerbsfähigkeit.

Durch die Investition erhofft sich der Anwender: 1) Die Beibehaltung des Fokus auf kleine Losgrößen mit zukünftigem Schwerpunkt auf Losgröße Eins, 2) den Verkauf einer höheren Produktionsflexibilität an seine Kunden, 3) die Erhöhung der Maschinenverfügbarkeiten durch den Einsatz von Predictive Maintenance Algorithmen und 4) die Dokumentation von Maschinenparametern zur Entwicklung einer Parametrisierungs-Best-Practice auf Produktebene mit dem Ziel langfristig auch digitale Zwillinge aufzubauen.

Im Folgenden wird das Framework für das beschriebene Anwendungsbeispiel entlang der vertikalen Achse von oben nach unten angewandt.

### **Framework-Ebene: Anwender/Nutzer**

Auf der Ebene Anwender/Nutzer des Frameworks lässt sich feststellen, dass es sich bei dem beschriebenen Beispiel um die Perspektive des Operators handelt.

### **Framework-Ebene: Strategisch primäre Ziele und Einflüsse**

Auf der Ebene der strategisch primären Ziele und Einflüsse wird zunächst der Baustein Brancheneinflüsse / Marktkräfte in den Fokus genommen. Dabei wird zunächst das Wettbewerbsumfeld analysiert. In dem hier untersuchten Fall stellt der Anwender fest, dass er sich in einem kompetitiven Marktumfeld befindet. Die von ihm angebotenen Fertigungsleistungen sind substituierbar und es herrscht ein hoher Preisdruck in seinem Markt. Die Analyse der Kundenbedürfnisse ergibt, dass die Kunden eine hohe Qualität und Flexibilität von ihm fordern. Darüberhinaus gab es verschiedene potenzielle Kunden in der Vergangenheit, die signifikante Volumina an hoch individualisierten Einzelanfertigungen bei ihm angefragt haben. Die Kunden wollten ihre Individualisierungen (z.B. in Form von individuell gefrästen Schriftzügen) über digitale Schnittstellen in seine Produktion einspielen. Sie forderten also technologische Innovation, wären aber zugleich bereit, attraktive finanzielle Prämien für die Individualisierbarkeit und für die Steuerung der Reihenfolge der Individualisierungsaufträge zu zahlen. Denn einige ihrer Kunden haben wiederum eine hohe Zahlungsbereitschaft signalisiert, dafür dass sie ihr individuelles Produkt früher erhalten. Auf der gleichen Ebene der strategisch primären Ziele und Einflüsse wird nun der Baustein Strategie analysiert. Der Anwender stellt fest, dass er aktuell weder einen Kosten- noch einen Differenzierungsfokus verfolgt. Seine neue Wettbewerbspriorität möchte er u.a. durch das Angebot der Losgröße Eins und die kundengesteuerte Produktionsflexibilität auf den Differenzierungsfokus legen. Hier lässt sich auch direkt eine Innovations- und Marketingdifferenzierung ableiten. Die

Losgröße Eins mit der Möglichkeit der direkten Einflussnahme auf die Individualisierungsreihenfolge wird er zukünftig aktiv vermarkten. Mit Blick auf die operativen Ziele möchte der Anwender drei Dinge erreichen: 1) Höhere Rentabilität durch die Steigerung der Gesamtanlageneffektivität (OEE), u.a. durch weniger Maschinenausfälle, 2) Das Senken der Betriebskosten durch eine effizientere Parametrisierung der Anlagen und 3) die Steigerung der Qualität, sodass weniger Ausschuss entsteht. Die Gestaltung gänzlich neuer Geschäftsmodelle ist in diesem Zusammenhang nicht beabsichtigt. Jedoch wird es signifikante Anpassungen am bestehenden Geschäftsmodell geben.

### Framework-Ebene: Angewandtes Geschäftsmodell

Auf der Ebene des angewandten Geschäftsmodells wird zwischen dem Geschäftsmodell und den Geschäftsmodellprozessen unterschieden. Hinsichtlich des Geschäftsmodells sind bei einer Analyse an Hand des *Business Model Canvas* von Osterwalder und Pigneur (2009)<sup>560</sup> einige Veränderungen im Vergleich zum bisherigen Geschäftsmodell festzustellen. Im Folgenden werden die einzelnen Segmente des *Business Model Canvas* für das vorliegende Anwendungsbeispiel nacheinander analysiert: 1) Die *Customer Segments* des Kunden bleiben Nischenmärkte, sind jedoch zukünftig diversifizierter und weniger abhängig von den wenigen "großen" Bestandskunden, 2) Die *Customer Relationships* rücken in den Hintergrund. Die zukünftigen Fertigungsprozesse verfügen über einen höheren Automatisierungsgrad und die Individualisierungen fallen bereits in die Rubrik "Self-Service", 3) Die *Channels* verändern sich durch das höhere Digitalisierungsniveau, sodass auch Online-Kanäle zukünftig in Betracht kommen, 4) Die *Revenue Streams* werden um Zusatzeinnahmen durch den höheren Individualisierungsgrad und die Flexibilisierungsmöglichkeiten erweitert und können bei genügend Kunden des neuen Typs später noch um Dynamic Pricing Ansätze erweitert werden, 5) Die *Cost Structure* bleibt ähnlich, weist jedoch wegen des höheren Automatisierungsgrades einen geringeren Personalbedarf für die Maschinenbedienung auf, während gleichzeitig die Investitionskosten für den Retrofit berücksichtigt werden müssen, 6) Die *Key Activities* bleiben unverändert, 7) Die *Key Resources* werden um die aggregierten digitalen Daten der Maschinen und die eingesetzte Cloudumgebung ergänzt, 8) Zu den *Key Partners* kommt der Anbieter des Retrofit-Kits mit der von ihm betriebenen Cloudumgebung hinzu, die die Dokumentation der Maschinenparametrisierung, den Einsatz der Predictive Maintenance Algorithmen und den digitalen Kundenzugang zu den Individualisierungen ermöglicht. Somit erklärt sich hier auch die Bedeutung und die Interaktion mit dem Anbieter der Retrofit-Lösung (im Framework beschrieben als *Anbieter*) im Baustein des Geschäftsmodells.

<sup>560</sup> Osterwalder; Pigneur (2009)

## Framework-Ebene: Anforderungen

Auf der Ebene der Anforderungen befindet sich der Baustein der Anforderungsklassifikationen mit den drei Teilbausteinen der 1) technischen, 2) operativen und 3) betriebswirtschaftlichen Anforderungen. Diese Anforderungen bilden gemeinsam die Gesamtheit der Forderungen an die einzusetzende Retrofit-Lösung. Die Anforderungen ergeben sich primär aus dem geplanten Anwendungsszenario, dem angestrebten Geschäftsmodell und den Eigenschaften der aufzurüstenden Maschinen. Darüberhinaus beeinflussen z.B. auch lokale Gegebenheiten, unternehmensspezifische Eigenschaften und die Fähigkeiten und Ressourcen des Unternehmens die Anforderungen. Daher interagieren die Anforderungsklassifikationen auch mit der Ebene der Fähigkeiten und Ressourcen. Ferner interagieren die Anforderungsklassifikationen sowohl mit dem avisierten Geschäftsmodell, bzw. den darunterliegenden Geschäftsmodellprozessen des Anwenders, als auch mit dem Anbieter. Denn dieser hat die gestellten Forderungen mit seiner Retrofit-Lösung zu erfüllen. Die Teilbausteine bestehen aus thematisch gruppierten Bewertungsmatrizen. Diese dienen der Analyse und Beurteilung der Retrofit-Lösungen im Kontext des geplanten Anwendungsszenarios. Wie bereits beschrieben, werden die Bewertungsmatrizen stets in Verbindung mit einem auf das Anwendungsszenario abgestimmten Lastenheft eingesetzt, welches projektbezogene Details spezifiziert. Im Framework wurden sieben nach Themen gruppierte Bewertungsmatrizen definiert: 1) Einsatzbereich, 2) Hardware, 3) Software, 4) Sicherheit & Datenschutz, 5) Integrierbarkeit, 6) Training & Support und 7) Geschäftsmodelle. Für die technischen Anforderungen sind die 1) bis 5) Bewertungsmatrix relevant, für die operativen Anforderungen die 4) bis 6), und für die betriebswirtschaftlichen Anforderungen ist lediglich die 7) Bewertungsmatrix von Relevanz. Für das hier skizzierte Anwendungsbeispiel werden die Bewertungsmatrizen im Folgenden nicht vollständig ausgefüllt und ausgewertet, sondern es wird eine zusammenfassende Übersicht zum praxisbezogenen Verständnisgewinn beschrieben.

Die Bewertungsmatrix Einsatzbereich analysiert die operativen Resorts und hilft dem Anwender die Gewichtung der entsprechenden Einsatzschwerpunkte zu definieren. Die Bewertungsmatrix Hardware ist ihrerseits in die Rubriken 1) Typ, 2) Einsatzort und ortsabhängige Merkmale und 3) Elektronik und Schnittstellenmerkmale aufgeteilt. Sie beschreiben und ermöglichen die Bewertung aller physischen Komponenten der Retrofit-Lösung, also der elektronischen und mechanischen Bauteile und Eigenschaften. Die Bewertungsmatrix Software ist ebenfalls in mehrere Rubriken aufgeteilt. Hier finden sich 1) Betriebssystem und Anwendungen, 2) Konnektivität und Konfiguration und 3) Datenverarbeitung und Datenspeicherung. Sie analysiert alle nicht-physischen softwarebezogenen Bestandteile, wie z.B. die Eigenschaften der auf der Retrofit-Lösung laufenden Programme und deren Daten.

Die Bewertungsmatrix Sicherheit und Datenschutz behandelt die Fragen rund um die Zugriffsmöglichkeiten auf die Retrofit-Lösung, die Datensicherheit und standortabhängige juristische Datenthemen. Die Bewertungsmatrix Integrierbarkeit hilft bei der Überprüfung der mit der Installation der Lösung einhergehenden Fragestellungen, wie z.B. welche Auswirkungen die Installation der Lösung auf die Maschinen hat. Die Bewertungsmatrix Training & Support beinhaltet eine kompakte Übersicht des Schulungs- und Unterstützungsangebots für die Lösung durch den Anbieter. Die Bewertungsmatrix Geschäftsmodelle behandelt in drei Klassifizierungsschritten die Analyse des Geschäftsmodells des Anbieters der Retrofit-Lösung. Dabei wird hier abgeglichen in wie fern das Geschäftsmodell des Anbieters zum Anwendungsszenario des Anwenders passt. Dabei ist insbesondere das Dreiecksverhältnis zwischen Hersteller, OEM und Kunde zu berücksichtigen. In einzelnen Fällen, wie z.B. bei OEMs, die durch eine Kooperation mit einem Retrofit-Hersteller eine eigene Retrofit-Lösung für ihre Maschinen anbieten möchten, kann es ratsam sein, diese Bewertungsmatrix als Erstes zu bearbeiten. Denn wenn das anvisierte Geschäftsmodell des OEMs nicht zu dem Geschäftsmodell des Herstellers passt, muss entweder der OEM sein Geschäftsmodell und seine Strategie anpassen oder einen anderen Hersteller konsultieren.

### **Framework-Ebene: Fähigkeiten & Ressourcen**

Auf der Ebene der Fähigkeiten & Ressourcen sind im gleichnamigen Baustein die Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte des Anwenders abgebildet. Diese sind korrespondierend zu den drei Teilbausteinen der Anforderungen in 1) technische, 2) organisatorische & betriebliche und 3) finanzielle Unternehmenskapazitäten und -vermögenswerte unterteilt. Sie interagieren mit den korrespondierenden Bausteinen der Ebene Anforderungen. Denn das Anwendungsszenario prägt gemeinsam mit den Fähigkeiten und Ressourcen die Anforderungen. Eine technische Ressource und zugleich ein Unternehmensvermögenswert stellen in dem skizzierten Anwendungsszenario z.B. die 40 bestehenden Werkzeugmaschinen des Anwenders dar. Maschinenhersteller, Typ und vorhandene Schnittstellen der nachgerüsteten SPS nehmen direkten Einfluss auf die technischen Anforderungen. Darüber hinaus beeinflussen z.B. die internen organisatorischen Fähigkeiten den Installationsprozess und den anschließenden Betrieb der Retrofit-Lösung zur Umsetzung der geplanten digitalen Verarbeitung der Individualisierungsaufträge. Die finanziellen Ressourcen nehmen z.B. Einfluss auf die Anforderungen an das Geschäftsmodell und müssen auch die Investition des Retrofit-Projekts bedienen können.

### **Framework-Ebene: Leistung**

Auf der Ebene Leistung folgt dann das Ergebnis des in die Praxis umgesetzten Anwendungsszenarios. Auf dieser Ebene wird an Hand der zwei Bausteine Marktperformance und Profitabilität gemessen, welche Auswirkungen das realisierte Anwendungsszenario hat. Hierbei wird die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens (z.B. in Form von Marktanteilen) und die finanzielle Rentabilität des neuen Retrofit-unterstützten Geschäftsmodells untersucht.

Das hier durchgespielte Anwendungsszenario aus einer exemplarischen Anwenderrolle eines Operators hat praktisch veranschaulicht wie das Framework unter praxisnahen Bedingungen eingesetzt wird. Ferner zeigt das Anwendungsszenario wie das Framework Anwender bzw. Entscheidungsträger bei komplexen, interdisziplinären Retrofit-Projekten unterstützt und durch die systematische Herangehensweise solche Projekte für alle Beteiligten zum Erfolg führen kann.



## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die nächste Evolutionsstufe der Industrie, die Industrie 4.0, wird durch eine vollständige Digitalisierung von Prozessen und Maschinen nicht nur technologische Veränderungen, sondern auch tiefgreifende Veränderungen der Geschäftsmodelle mit sich bringen.<sup>561</sup> Die fortschreitende Digitalisierung im industriellen Umfeld verbessert die Effizienz von Maschinenparks und ermöglicht auch gänzlich neue Geschäftsmodelle. Unternehmen werden sich an die zunehmenden Servitisationanforderungen ihrer Kunden anpassen und diesen mit passenden Angeboten und Geschäftsmodellen begegnen müssen. Um an den Chancen und Möglichkeiten dieses Wandels teilzuhaben, ist es für Unternehmen unabdingbar vernetzte Maschinen und Anlagen einzusetzen. Auf Grund langer Lebenszyklen von Maschinen und Anlagen sowie der mangelnden Möglichkeit und/oder Bereitschaft des Austauschs dieser Vermögensgegenstände ist davon auszugehen, dass sich Nachrüstungen von Bestandsanlagen (Retrofits) zu einem signifikanten Baustein der Digitalisierungsstrategie entwickeln werden. Retrofits sind universell und flexibel einsetzbar, kostengünstig und häufig non-invasiv installierbar. Sie verlängern darüber hinaus die Maschinenlebensdauer und bieten die virtuelle Abbildungsmöglichkeit von Fabriken in Form von digitalen Zwillingen.

Retrofits stehen wie der gesamte Evolutionsschritt der Industrie 4.0 in Industrie und Praxis noch am Anfang. Zusammenfassend offenbart die systematische Literaturrecherche auch auf der theoretischen Seite eine Lücke in der wissenschaftlichen Untersuchung von Retrofits. Eine zentrale Voraussetzung für die Adoption von Retrofits in Wissenschaft und Praxis ist ein grundlegendes Verständnis für die Zusammenhänge zwischen den technisch-operativen Anforderungen an die Retrofit-Lösungen und den strategischen und Geschäftsmodell-beeinflussenden Komponenten. Diese Voraussetzung signalisiert den Bedarf nach einem passenden konzeptionellen Instrument, welches die Elemente der Unternehmensstrategie mit Retrofit-Lösungen und Geschäftsmodellen in integrierter Form verbindet. Diesem Bedarf wurde mit der Entwicklung und Visualisierung eines integrierten Frameworks, dem *integrierten Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen*, entsprochen. Dieses Werkzeug soll zwei Parteien dienen. Es soll für Wissenschaftler eine Ausgangsbasis für weitere, empirische Untersuchungen auf dem Feld der Retrofits darstellen. Für Anwender aus der Praxis soll es ein Werkzeug sein, welches sie bei Retrofit-Projekten so unterstützt, dass sie effektiver, produktiver und einfacher ihre Projekte umsetzen können.

---

<sup>561</sup> Roedder; Dauer; Laubis; u. a. (2016), S. 2800

## 6.1 Diskussion der entwickelten Modelle

Die vorliegende Arbeit untersucht den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft zu Retrofits sowie zu datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodelle mit Bezug zu Retrofits. Sie soll einen Beitrag in der Erforschung von Retrofits leisten sowie durch ihren konzeptionellen Ansatz eine Grundlage für weitergehende Untersuchungen darstellen. Dazu wurden Retrofits und datenbasierte und -unterstützte Geschäftsmodellen im Industrie 4.0 (IIoT) Kontext untersucht und klassifiziert. Daraus wurde ein branchenagnostisches Framework, das *integrierte Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen*, entwickelt, welches die Verknüpfung von unternehmensstrategischen Elementen, Geschäftsmodellen und operativen Anforderungen beim Einsatz von Retrofit-Lösungen abbildet. Die Konzepte innerhalb des Frameworks wurden so gestaltet, dass sie einfach in ihrer Natur und Struktur sind, keine präskriptiven Elemente haben und einen universell einsetzbaren, systematischen Ansatz zur integrierten Analyse der vollständigen Retrofit-Lösung bieten. Dabei können je nach Situation des einzelnen Retrofit-Projekts auch lediglich einzelne Elemente des Frameworks zum besseren Verständnis und zur partiellen Analyse herangezogen werden.

Das entwickelte Framework soll auf dem noch jungen Gebiet der Digitalisierungsnachrüstung von Maschinen und Anlagen Orientierungshilfe, Anknüpfungspunkt und Arbeitsgrundlage für Retrofit-Verantwortliche in der Praxis sein. Dieses Management-Werkzeug unterstützt Wissenschaftler und Verantwortliche aus der Praxis gleichermaßen dabei Retrofit-Lösungen zu konzeptionieren, zu analysieren und (im eigenen Betrieb) zu integrieren. Das Framework ist für Anwender verschiedenster Perspektiven einsetzbar und hilft bei der Entwicklung eigener Use- und Business-Cases. Ferner dient es in der Wissenschaft als konzeptionelle Basis für weitere, empirische Forschung.

Das darüber hinaus entwickelte siebenteilige Bewertungsmodul des integrierten Bewertungs-Frameworks ist als Hilfestellung für die Bewertung verschiedener Anwendungsperspektiven bei Entwicklung und praktischem Einsatz von Retrofit-Lösungen zu verstehen.

Um dem entwickelten integrierten Bewertungs-Framework einen einordnenden Kontext zu geben, wurden zuvor zwei weitere Frameworks weiterentwickelt. Das weiterentwickelte *Extended Pyramid Model* hilft im Verständnis des Kontexts und der Relevanz von Daten. Es basiert auf dem *Pyramid Model* nach Parasuraman (1996)<sup>562</sup> und deckt die Wechselbeziehungen zwischen den an einer Geschäftstransaktion Beteiligten sowie der involvierten Technologie ab. Das

---

<sup>562</sup> Parasuraman (1996)

weiterentwickelte *Retrofit Business Value Framework* bildet die Wertschöpfung durch Retrofits über Geschäftsprozesse und -modelle nach Melville et al. (2004)<sup>563</sup> ab.

Diese beiden Frameworks erlauben nicht nur ein besseres Verständnis für den Kontext von Retrofit-Lösungen, sondern können zukünftig auch als Ausgangsbasis für weitere strategische und prozessuale Untersuchungen von datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodellen genutzt werden. Durch die steigende Signifikanz datenbasierter Geschäftsmodellkonzepte werden die beiden Frameworks als konzeptionelles Gerüst konkreter Forschungsprojekte, insbesondere auch im industriellen Umfeld, weitere Verwendungszwecke finden.

Schlussendlich gilt es die vorgestellten Modelle durch geeignete empirische Forschung in der Zukunft zu untersuchen, mittels dieser weiterzuentwickeln und so die drängenden Fragen rund um Retrofits und die daraus resultierenden Geschäftsmodelle zu lösen.

## 6.2 Einschränkungen der Ansätze und Modelle

Die Entwicklung konzeptioneller Modelle beinhaltet immer gewisse Einschränkungen. Durch den modelltheoretischen Zugang mangelt es den entwickelten Modellen an datengestützter Empirie, auf die sich die Schlussfolgerungen und kausalen Ableitungen stützen können. Ferner verfügen konzeptionelle Modelle nur über einen begrenzten Einfluss von Wissen aus der Praxis, sodass wichtige Erkenntnisse aus dem praktischen Kontext in ihnen häufig nicht ausreichend abgebildet sind.

Neben den allgemeinen Restriktionen konzeptioneller Arbeiten können bei Arbeiten zu neuen und bisher wenig bis gar nicht erforschten Themengebieten die damit verbundenen Technologien, Einflüsse und Variablen nicht umfassend abgebildet werden. So müssen natürliche Einschränkungen hinsichtlich Umfang und Tiefe des untersuchten Felds in Kauf genommen werden. Gleiches gilt auch für die (Wechsel-) Beziehungen zwischen dem untersuchten Themenfeld und den mit diesem verbundenen Forschungsgebieten.

Durch die hohe Komplexität und die Vielzahl der Variablen, die auf eine Unternehmensstrategie einwirken, sind strategische Modelle stets drastisch vereinfachte Konzepte realer strategischer Zusammenhänge. Die in der vorliegenden Arbeit versimplifizierte Zusammenhänge im strategischen wie auch im strategisch-technologischen Bereich vereinfachen das Verständnis und die Nutzung des Frameworks. Sie nehmen dafür aber Limitierungen in Detailtiefe und Vollkommenheit hin. Dieser Kompromiss wurde bewusst akzeptiert, da andernfalls ein Einsatz des

<sup>563</sup> Melville; Kraemer; Gurbaxani (2004), S. 293

Frameworks im praktischen Umfeld unmöglich wäre. Um zusätzlich einen branchenagnostischen Einsatz des Frameworks zu ermöglichen, wurde auch das entwickelte Bewertungsmodul so vollständig und umfassend wie möglich und so spezifisch wie gerade nötig gestaltet. Somit sind natürlich auch gewisse Limitierungen in der Entwicklung des Bewertungsmoduls entstanden, die durch entsprechende Adaption und weitere Detaillierung der vorgeschlagenen Bewertungsvariablen für den praktischen Einsatz jedoch überwunden werden können.

Mit Blick auf die partielle Auflösung der genannten Einschränkungen durch zukünftige Validierungen mittels empirischer Forschung gilt es zunächst passende empirische Methoden zu entwickeln. Dabei empfiehlt es sich unter Umständen das vorliegende Framework in einzelne Segmente aufzubrechen und dann segmentweise zu validieren. Denn es wird argumentiert, dass (konzeptionelle) Modelle einer gewissen Komplexitätsstufe nicht getestet werden können.<sup>564</sup> Dies könnte eine weitere Einschränkung bei der Validierung des Frameworks darstellen.

Die Vielzahl der bereits auf dem Markt verfügbaren und aktuell als Prototyp angekündigten Retrofit-Produkte und -Lösungen wurde in dieser Arbeit auf Grund ressourcenlimitierender Faktoren nicht Produkt für Produkt einzeln gemessen und getestet. Die durch eine solche Praxisbetrachtung erzielten Erkenntnisse hätten einer weiteren Verfeinerung des Frameworks bei gleichzeitiger Überprüfung der universellen Adaptabilität im Realeinsatz gedient.

### 6.3 Weiterentwicklungen und zukünftige Forschung

Die zukünftige Forschung lässt sich in sechs Gebiete unterteilen.

Zunächst gilt es das vorgelegte integrierte Bewertungs-Framework empirisch zu überprüfen und entsprechend der gewonnenen Erkenntnisse weiterzuentwickeln. Dafür sind geeignete empirische Methoden auszuwählen, Analysen durchzuführen und Anpassungen an dem Framework vorzunehmen. Denkbar wären zum Beispiel großangelegte Umfragen oder alternativ explorative Case-Studies. Diese Studien können die getroffenen Zusammenhänge und Annahmen des konzeptionellen Modells validieren. Dabei können bisher rein konzeptionelle Annahmen bestätigt oder widerlegt werden. Im besten Fall gelingt es aus der Empirie heraus Verbesserungsvorschläge zur Weiterentwicklung des Frameworks abzuleiten. Diese Weiterentwicklung kann entweder auch weiterhin ohne konkreten Bezug zu einer ausgewählten Industrie geschehen, oder aber sich auf einen zuvor definierten Industriezweig beschränken.

---

<sup>564</sup> Porter (1991), S. 116

Die Entwicklung eines detaillierten Verständnisses für die Zusammenhänge der einzelnen Komponenten und Variablen im integrierten Bewertungs-Framework und ihre jeweilige Bedeutung auf die Gestaltung neuer Retrofit-Lösungen und -Geschäftsmodelle stellt ein weiteres zukünftiges Forschungsgebiet dar.

Im Zuge der systematischen Literaturrecherche wurde eine Forschungslücke bei der Erforschung dedizierter Geschäftsmodelle für Retrofit-Anwendungen entdeckt. Viele der bisher erforschten und in dieser Arbeit untersuchten datenbasierten und -unterstützten Geschäftsmodelle aus dem Bereich IIoT lassen sich im Retrofit-Kontext anwenden. Es gibt jedoch bisher keine expliziten Geschäftsmodellkonzepte, die sich die Besonderheiten und Eigenschaften von Retrofits zu Nutze machen, um darauf basierend eigene Geschäftsmodelle zu entwickeln. Der entwickelte Geschäftsmodell-Baustein innerhalb des Bewertungsmoduls mag hier eine erste Ausgangsbasis für die Entwicklung eigener Retrofit-Geschäftsmodelle darstellen.

Personal-organisatorische Aspekte wurden in dem entwickelten Framework bisher nicht berücksichtigt. Die Untersuchungen welche Einflüsse und Auswirkungen der Einsatz von Retrofit-Lösungen und neuen Geschäftsmodellen z.B. auf das Personalwesen, die Personalstruktur, die Unternehmenskultur und vieles mehr hat, bedürfen eigener Forschungsvorhaben.

Die beiden begleitenden Frameworks, das Extended Pyramid Model und das Retrofit Business Value Framework, sind ebenfalls empirisch zu validieren. Da sie auch für anderweitige industrielle Forschungsaktivitäten mit Datenbezug verwendet werden können, und dieser Forschungsbereich derzeit an Attraktivität gewinnt, wäre eine entsprechende Überprüfung der Frameworks von hohem Interesse. Methodisch müssten auch hier zunächst passende Vorgehensweisen definiert werden, bevor über die erhobenen Daten dann die konzeptionellen Annahmen gefestigt und etwaige Fehler im Modell identifiziert werden können. Eine Weiterentwicklung der beiden Frameworks ist gleichermaßen vorstellbar.

Als sechstes wäre auch die Entwicklung weiterer Werkzeuge für die Auswahl, Integration und Überwachung von Retrofit-Lösungen vorstellbar. Da die gesamte Retrofit-Forschung noch sehr jung ist, bieten sich hier viele Chancen für weitere Forschungsvorhaben. Hier sind Untersuchungen auf der Strategie-, auf der Geschäftsmodell- und der Technologie-Ebene gleichermaßen vorstellbar. Durch veränderte Nutzeranforderungen, den Wandel der industriellen Geschäftsmodelle und die hohe technologische Innovationsrate entstehen auf dem gesamten Forschungsgebiet nicht nur in jedem einzelnen Segment, sondern auch im interdisziplinären Kontext viele zu untersuchende Fragestellungen.

## 7 Anhang

### 7.1 Verwendete Suchbegriffe in der Literaturrecherche

#	Verwendete Suchbegriffe
1	Retrofit AND Industrie
2	Retrofit AND "Industrie 4.0"
3	Retrofit AND Geschäftsmodell
4	Retrofit AND Digitalisierung
5	Retrofit AND Technologie
6	Retrofit AND Industrie AND 4.0
7	Retrofit AND "Industrielles Internet der Dinge"
8	Upgrade AND "Industrie 4.0"
9	Nachrüsten AND "Industrie 4.0"
10	Nachrüsten AND Geschäftsmodell
11	Nachrüsten AND Digitalisierung
12	Nachrüsten AND Industrie AND 4.0
13	Nachrüsten AND "Industrielles Internet der Dinge"
14	Retrofit AND Industry AND 4.0
15	Retrofit AND "Industry 4.0"
16	Retrofit AND IIoT
17	Retrofit AND "Industrial Internet of Things"
18	Retrofit AND "Business Model"
19	Retrofit AND Digitalization
20	Upgrade AND "Business Model" AND "IIoT"
21	Upgrade AND "Business Model" AND "Industry 4.0"
22	"Legacy machines" AND "Industry 4.0"

**Tabelle 1: Verwendete Suchbegriffe in der Literaturrecherche**

## 7.2 Dokumentation der Literaturrecherche

### 7.2.1 Dokumentation der Literaturrecherche in Google Scholar

#### Datenbank: Google Scholar

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: Google Scholar
- URL der Datenbank: <https://scholar.google.de/>
- Sprachen der Recherche: Deutsch und Englisch
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2010 – 2018
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 10
- Betrachtung der ersten 5 Seiten
- Suchdatum: 04.12.2018
- Exkludierte Medientypen und Publikationsarten:  
Bachelor- und Masterarbeiten, Industry-specific solutions, Case studies

#	Verwendete Suchbegriffe	Anzahl Resultate	Anzahl der Downloads
1	Retrofit AND Industrie	1.180	8
2	Retrofit AND "Industrie 4.0"	257	15
3	Retrofit AND Geschäftsmodell	100	4
4	Retrofit AND Digitalisierung	80	4
5	Retrofit AND Technologie	1.360	0
6	Retrofit AND Industrie AND 4.0	510	13
7	Retrofit AND "Industrielles Internet der Dinge"	0	0
8	Upgrade AND "Industrie 4.0"	985	0
9	Nachrüsten AND "Industrie 4.0"	114	3
10	Nachrüsten AND Geschäftsmodell	371	2
11	Nachrüsten AND Digitalisierung	358	1
12	Nachrüsten AND Industrie AND 4.0	190	1
13	Nachrüsten AND "Industrielles Internet der Dinge"	0	0
14	Retrofit AND Industry AND 4.0	8.820	3
15	Retrofit AND "Industry 4.0"	498	5
16	Retrofit AND IIoT	130	5
17	Retrofit AND "Industrial Internet of Things"	191	3
18	Retrofit AND "Business Model"	3.530	1
19	Retrofit AND Digitalization	1.360	1
20	Upgrade AND "Business Model" AND "IIoT"	139	5
21	Upgrade AND "Business Model" AND "Industry 4.0"	1.740	12
22	"Legacy machines" AND "Industry 4.0"	32	6
	<b>Summe der Ergebnisse:</b>	<b>21.945</b>	<b>92</b>

Tabelle 2: Suchbegriffe und Ergebnisse, Google Scholar

## 7.2.2 Dokumentation der Literaturrecherche in ScienceDirect

### Datenbank: ScienceDirect

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: ScienceDirect
- URL der Datenbank: <https://www.sciencedirect.com/>
- Sprachen der Recherche: Deutsch und Englisch
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2010 – 2018
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 25
- Betrachtung der ersten 3 Seiten
- Suchdatum: 06.12.2018
- Inkludierte Medientypen und Publikationsarten:  
Review articles, Research articles, Book chapters, Conference abstracts, Data articles, Discussion, Editorials

#	Verwendete Suchbegriffe	Anzahl Resultate	Anzahl der Downloads
1	Retrofit AND Industrie	36	0
2	Retrofit AND "Industrie 4.0"	7	0
3	Retrofit AND Geschäftsmodell	0	0
4	Retrofit AND Digitalisierung	0	0
5	Retrofit AND Technologie	43	0
6	Retrofit AND Industrie AND 4.0	16	0
7	Retrofit AND "Industrielles Internet der Dinge"	0	0
8	Upgrade AND "Industrie 4.0"	86	10
9	Nachrüsten AND "Industrie 4.0"	0	0
10	Nachrüsten AND Geschäftsmodell	0	0
11	Nachrüsten AND Digitalisierung	0	0
12	Nachrüsten AND Industrie AND 4.0	0	0
13	Nachrüsten AND "Industrielles Internet der Dinge"	0	0
14	Retrofit AND Industry AND 4.0	993	1
15	Retrofit AND "Industry 4.0"	29	1
16	Retrofit AND IIoT	3	0
17	Retrofit AND "Industrial Internet of Things"	4	0
18	Retrofit AND "Business Model"	456	0
19	Retrofit AND Digitalization	1.286	0
20	Upgrade AND "Business Model" AND "IIoT"	8	2
21	Upgrade AND "Business Model" AND "Industry 4.0"	89	3
22	"Legacy machines" AND "Industry 4.0"	5	1
	<b>Summe der Ergebnisse:</b>	<b>3.061</b>	<b>18</b>

Tabelle 3: Suchbegriffe und Ergebnisse, ScienceDirect



## 7.2.3 Dokumentation der Literaturrecherche in CatalogPlus

### Datenbank: CatalogPlus

Eigenschaften der Datenbank und gewählte Parameter:

- Name der Datenbank: CatalogPlus
- URL der Datenbank:  
[https://catalogplus.tuwien.ac.at/primo\\_library/libweb/action/search.do?vid=UTW](https://catalogplus.tuwien.ac.at/primo_library/libweb/action/search.do?vid=UTW)
- Sprachen der Recherche: Deutsch und Englisch
- Zeitraum der Veröffentlichungen: 2010 – 2018
- Eingestellte Suchergebnisse pro Suchanfrage und Seite: 10
- Betrachtung der ersten 5 Seiten
- Suchdatum: 08.12.2018
- Inkludierte Medientypen und Publikationsarten:  
Artikel, Buchkapitel, Konferenzschriften, Buch, Zeitungsartikel

#	Verwendete Suchbegriffe	Anzahl Resultate	Anzahl der Downloads
1	Retrofit AND Industrie	76	0
2	Retrofit AND "Industrie 4.0"	19	0
3	Retrofit AND Geschäftsmodell	1	1
4	Retrofit AND Digitalisierung	2	0
5	Retrofit AND Technologie	66	0
6	Retrofit AND Industrie AND 4.0	31	0
7	Retrofit AND "Industrielles Internet der Dinge"	0	0
8	Upgrade AND "Industrie 4.0"	76	4
9	Nachrüsten AND "Industrie 4.0"	1	1
10	Nachrüsten AND Geschäftsmodell	6	0
11	Nachrüsten AND Digitalisierung	4	0
12	Nachrüsten AND Industrie AND 4.0	2	0
13	Nachrüsten AND "Industrielles Internet der Dinge"	0	0
14	Retrofit AND Industry AND 4.0	937	5
15	Retrofit AND "Industry 4.0"	100	0
16	Retrofit AND IIoT	107	6
17	Retrofit AND "Industrial Internet of Things"	4	0
18	Retrofit AND "Business Model"	2.197	1
19	Retrofit AND Digitalization	196	1
20	Upgrade AND "Business Model" AND "IIoT"	22	1
21	Upgrade AND "Business Model" AND "Industry 4.0"	135	2
22	"Legacy machines" AND "Industry 4.0"	15	2
	<b>Summe der Ergebnisse:</b>	<b>3.997</b>	<b>24</b>

Tabelle 4: Suchbegriffe und Ergebnisse, CatalogPlus

## 8 Literaturverzeichnis

- Adrodegari, F.; Alghisi, A.; Ardolino, M.; u. a. (2015): From ownership to service-oriented business models: A survey in capital goods companies and a PSS typology. In: *Procedia CIRP*, Volume: 30, S. 245–250.
- Al-Debei, M. M. und Avison, D. (2010): Developing a unified framework of the business model concept. In: *European Journal of Information Systems*, Volume: 19, Issue: 3, S. 359–376.
- Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; u. a. (2015): Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Volume: 17, Issue: 4, S. 2347–2376.
- Al-Shdifat, A. und Emmanouilidis, C. (2018): Development of a Context-aware framework for the Integration of Internet of Things and Cloud Computing for Remote Monitoring Services. In: *Procedia Manufacturing*, Volume: 16, S. 31–38.
- Alter, S. (2008): Service system fundamentals: Work system, value chain, and life cycle. In: *IBM Systems Journal*, Volume: 47, Issue: 1, S. 71–85.
- Amit, R. und Zott, C. (2001): Value creation in e-business. In: *Strategic Management Journal*, Volume: 22, Issue: 6–7, S. 493–520.
- Anderl, E. und Löll, J. (2015): Smart-Data-Ertragsmodelle, Smart Data Geschäftsmodelle. URL: [https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/SmartData\\_Positionspapier\\_Geschaeftsmodelle.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=13](https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/SmartData_Positionspapier_Geschaeftsmodelle.pdf?__blob=publicationFile&v=13), abgerufen am 9. Dezember 2018.
- Arbeitskreis Smart Service Welt und acatech (2015): Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internet-basierte Dienste für die Wirtschaft. Abschlussbericht. URL: [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2015/03/BerichtSmartService2015\\_mitUmschlag\\_bf.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2015/03/BerichtSmartService2015_mitUmschlag_bf.pdf), abgerufen am 8. Dezember 2018.
- Arm, J.; Zezulka, F.; Bradac, Z.; u. a. (2018): Implementing Industry 4.0 in Discrete Manufacturing: Options and Drawbacks. In: *IFAC-PapersOnLine*, Volume: 51, Issue: 6, S. 473–478.
- Arnold, C. (2017): The Industrial Internet of Things from a Management Perspective: A Systematic Review of Current Literature. In: *Journal of Emerging Trends in Marketing and Management*, Volume: I, Issue: 1, S. 8–21.
- Arnold, C.; Kiel, D. und Voigt, K.-I. (2016): How Industry 4.0 changes business models in different manufacturing industries. In: *27th ISPIM Innovation Conference*, Porto, Portugal. S. 1–20.
- Arnold, C.; Kiel, D. und Voigt, K.-I. (2017a): Innovative Business Models for the Industrial Internet of Things. In: *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, Volume: 162, S. 371–381.
- Arnold, C.; Kiel, D. und Voigt, K.-I. (2017b): The Driving Role of the Industrial Internet

of Things for Strategic Change: The Case of Electronic Engineering Business Models. In: Proceedings of the 24th Innovation and Product Development Management Conference (IPDMC), Reykjavik, Iceland. S. 1–24.

Aucotec (2018): Digital Twin mit Engineering Base - Kaeser Kompressoren, Aucotec Success Stories. URL: <https://www.aucotec.com/de/success-stories/anlagenbetreiber/kaeser/>, abgerufen am 8. Dezember 2018.

Aurich, J. C.; Fuchs, C. und Wagenknecht, C. (2006): Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. In: Journal of Cleaner Production, Volume: 14, Issue: 17, S. 1480–1494.

azeti GmbH: Machina Starter Paket. URL: <https://shop.azeti.net/products/machina-starter-paket>, abgerufen am 18. Dezember 2018.

Baheti, R. und Gill, H. (2011): Cyber-physical Systems. In: The impact of control technology, Volume: 12, Issue: 1, S. 161–166.

Baines, T. S.; Lightfoot, H. W.; Benedettini, O.; u. a. (2009): The servitization of manufacturing. In: Journal of Manufacturing Technology Management, Volume: 20, Issue: 5, S. 547–567.

Baines, T. S.; Lightfoot, H. W.; Evans, S.; u. a. (2007): State-of-the-art in product-service systems. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Volume: 221, Issue: 10, S. 1543–1552.

Bakir, D.; Bakir, R. und Engels, F. (2018): Industry\_Integrator as retrofit solution for digital manufacturing methods in existing industrial plants. In: Procedia Manufacturing, Volume: 17, S. 1009–1014.

Bakir, D.; Feickert, T. und Bakir, R. (2017): Smart Data Hub: Retrofit Solution to Acquire Process-inherent Knowledge. In: Procedia Manufacturing, Volume: 11, Issue: June, S. 658–662.

Barquet, A. P. B.; de Oliveira, M. G.; Amigo, C. R.; u. a. (2013): Employing the business model concept to support the adoption of product-service systems (PSS). In: Industrial Marketing Management, Volume: 42, Issue: 5, S. 693–704.

Barthelmey, A.; Störkle, D.; Kuhlenkötter, B.; u. a. (2014): Cyber Physical Systems for Life Cycle Continuous Technical Documentation of Manufacturing Facilities. In: Procedia CIRP, Volume: 17, S. 207–211.

Bauer, H.; Baur, C.; Mohr, D.; u. a. (2016): Industry 4.0 after the initial hype - Where manufacturers are finding value and how they can best capture it, McKinsey Digital. URL: [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/getting-the-most-out-of-industry-4-0/mckinsey-industry\\_40\\_2016.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/getting-the-most-out-of-industry-4-0/mckinsey-industry_40_2016.ashx), abgerufen am 10. Dezember 2018.

Bauer, W.; Schlund, S.; Marrenbach, D.; u. a. (2014): Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.; Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Berlin, Stuttgart, S. 1-43.

Bauernhansl, T. (2017): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein

- wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas und ten Hompel, Michael (Hrsg.). Springer Berlin Heidelberg, S. 1–31.
- Bauernhansl, T.; Emmrich, V.; Döbele, M.; u. a. (2015): Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0 Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. URL: [https://www.wieselhuber.de/migrate/attachments/Geschaeftsmodell\\_Industrie40-Studie\\_Wieselhuber.pdf](https://www.wieselhuber.de/migrate/attachments/Geschaeftsmodell_Industrie40-Studie_Wieselhuber.pdf), abgerufen am 10. Dezember 2018.
- Bellersheim, V. (2016): Digitale Geschäftsmodelle und Trends im Maschinenbau. URL: [https://www.wieselhuber.de/modules/file/232/WP\\_DigitalisierungMaschinenbau\\_CECIMO.pdf](https://www.wieselhuber.de/modules/file/232/WP_DigitalisierungMaschinenbau_CECIMO.pdf), abgerufen am 9. Dezember 2018.
- Bergweiler, S. (2015): Intelligent Manufacturing based on Self-Monitoring Cyber-Physical Systems. In: The Ninth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies. International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM-15), 9th, located at located at NexTech 2015, July. S. 108–113.
- Beudert, B. R.; Juergensen, L. und Weiland, J. (2015): Understanding Smart Machines : How They Will Shape the Future. URL: [https://www.schneider-electric.us/en/download/document/998-2095-10-16-15AR0\\_EN/](https://www.schneider-electric.us/en/download/document/998-2095-10-16-15AR0_EN/), abgerufen am 15. Dezember 2018.
- Beuren, F. H.; Gomes Ferreira, M. G. und Cauchick Miguel, P. A. (2013): Product-service systems: a literature review on integrated products and services. In: Journal of Cleaner Production, Volume: 47, Issue: 3, S. 222–231.
- Bibliographisches Institut GmbH: Duden: nach-rüs-ten. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/nachruesten>, abgerufen am 1. Dezember 2018.
- Binner, H. F. (2018): Organisation 4.0: MITO-Konfigurationsmanagement. Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1-599.
- Birtel, M. und Popper, J. (2018): Vorgehensweise zum Retrofitting einer Stanzmaschine zur Visualisierung von Prozessdaten. In: Mensch und Computer 2018 – Workshopband, 02.–05. September 2018, Dresden, S. 897–902.
- Bischoff, J.; Taphorn, C.; Wolter, D.; u. a. (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). agiplan, Fraunhofer IML, ZENIT, Berlin, S. 1-386.
- Bonomi, F.; Milito, R.; Zhu, J.; u. a. (2012): Fog computing and its role in the internet of things. In: Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing - MCC '12. ACM Press, New York, New York, USA. S. 13–15.
- Booth, A. (2006): „Brimful of STARLITE“: toward standards for reporting literature searches. In: J Med Lib Assoc, Volume: 94, Issue: October, S. 421–430.
- Brax, S. (2005): A manufacturer becoming service provider – challenges and a paradox. In: Managing Service Quality: An International Journal, Volume: 15,

Issue: 2, S. 142–155.

Brettel, M.; Friederichsen, N.; Keller, M.; u. a. (2014): How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. In: International Journal of Information and Communication Engineering, Volume: 8, Issue: 1, S. 37–44.

Bruhn, M.; Hepp, M. und Hadwich, K. (2015): Vom Produkthersteller zum Serviceanbieter – Geschäftsmodelle der Servicetransformation. In: Marketing Review St. Gallen, Volume: 32, Issue: 1, S. 28–39.

Brynjolfsson, E.; Hitt, L. M. und Kim, H. H. (2011): Strength in Numbers: How Does Data-Driven Decisionmaking Affect Firm Performance? In: SSRN Electronic Journal, S. 1–33.

Bucherer, E. und Uckelmann, D. (2011): Business Models for the Internet of Things. In: Architecting the Internet of Things. Uckelmann, Dieter; Harrison, Mark und Michahelles, Florian (Hrsg.). Berlin, Heidelberg. S. 253–277.

Buchholz, B. (VDI/VDE); Gausemeier, J. P. D.-I.; Echterhoff, B.; u. a. (2016): Autonomik Industrie 4.0 - Leitfaden Band 6 Neue Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle in Industrie 4.0. URL: [https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Autonomik-leitfaden-6.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Autonomik-leitfaden-6.pdf?__blob=publicationFile&v=4), abgerufen am 13. Dezember 2018.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Produktion und Dienstleistung - Zukunft der Arbeit (2015): Industrie 4.0 - Innovationen für die Produktion von morgen. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn, S. 1-165.

Burmeister, C.; Luettgens, D. und Piller, F. T. (2016): Business Model Innovation for Industrie 4.0: Why the „Industrial Internet“ Mandates a New Perspective on Innovation. In: Die Unternehmung, Volume: 70, Issue: 2, S. 124–152.

Cedeño, J. M. V.; Papinniemi, J.; Hannola, L.; u. a. (2018): Developing Smart Services By Internet of Things in Manufacturing Business. In: LogForum, Volume: 14, Issue: 1, S. 59–71.

Charalambis, A.; Tonetti, M. A. und Tosello, G. (2017): Molding 4.0 - The Economics of an Injection Molding As-a-Service Business Model. In: IESM 2017 - Conference Proceedings. Bousonville, Thomas; Melo, Teresa; Rezg, Nidhal; u. a. (Hrsg.). S. 99–104.

Chesbrough, H. (2010): Business model innovation: Opportunities and barriers. In: Long Range Planning, Volume: 43, Issue: 2–3, S. 354–363.

Chesbrough, H. und Rosenbloom, R. S. (2002): The role of the business model in capturing value from innovation. In: Industrial and Corporate Change, Volume: 11, Issue: 3, S. 529–555.

Cisco (2015): Making Machines More Connected and Intelligent. URL: <http://www.globiots.com/wp-content/uploads/2015/11/C11-735862.pdf>, abgerufen am 14. Dezember 2018.

Civerchia, F.; Bocchino, S.; Salvadori, C.; u. a. (2017): Industrial Internet of Things

- monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. In: Journal of Industrial Information Integration, Volume: 7, S. 4–12.
- Cook, D.; Mulrow, C. und Haynes, R. B. (1997): Synthesis of best evidence for clinical decisions. In: Annals of Internal Medicine, Volume: 126, S. 376–380.
- Coombes, P. H. und Nicholson, J. D. (2013): Business models and their relationship with marketing: A systematic literature review. In: Industrial Marketing Management, Volume: 42, Issue: 5, S. 656–664.
- Crawford, M. und Lin, S.-W. (2017): World-Tour IIC: Architecture Presentation. URL: <https://www.iiconsortium.org/iiot-world-tour/turin-17/20170619-World-Tour-IIC-Architecture-Presentation.pdf>, abgerufen am 11. Dezember 2018.
- Crossan, M. M. und Apaydin, M. (2010): A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature. In: Journal of Management Studies, Volume: 47, Issue: 6, S. 1154–1191.
- Damm, W.; Achatz, R.; Beetz, K.; u. a. (2010): Nationale Roadmap Embedded Systems. In: Cyber-Physical Systems. Broy, Manfred (Hrsg.). Berlin, Heidelberg. S. 67–136.
- Delsing, J. (2017): Local Cloud Internet of Things Automation: Technology and Business Model Features of Distributed Internet of Things Automation Solutions. In: IEEE Industrial Electronics Magazine, Volume: 11, Issue: 4, S. 8–21.
- Deshpande, A. und Pieper, R. (2011): Legacy Machine Monitoring Using Power Signal Analysis. In: ASME 2011 International Manufacturing Science and Engineering Conference, Volume 2. ASME, S. 207–214.
- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH (2018): Einfach in die Cloud: Digitalisierung von Brownfield-Anlagen leicht gemacht. URL: <https://www.dfki.de/web/news/detail/News/einfach-in-die-cloud-digitalisierung-von-brownfield-anlagen-leicht-gemacht/>, abgerufen am 15. Dezember 2018.
- Dinter, B.; Franz, T.; Grapenthin, S.; u. a. (2015): Big Data und Geschäftsmodellinnovationen in der Praxis: 40+ Beispiele. URL: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Big-Data-und-Geschaeftsmodell-Innovationen-in-der-Praxis-40-Beispiele.html>, abgerufen am 11. Dezember 2018.
- Dremel, C. und Herterich, M. (2016): Digitale Cloud-Plattformen als Enabler zur analytischen Nutzung von operativen Produktdaten im Maschinen- und Anlagenbau. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Volume: 53, Issue: 5, S. 646–661.
- Du, V.; Howe, K.; Jain, R.; u. a. (2014): Creating Value for Machinery Companies Through Services. URL: [http://image-src.bcg.com/Images/BCG\\_Creating\\_Value\\_for\\_Machinery\\_Companies\\_Through\\_Services\\_May\\_2014\\_tcm108-84206.pdf](http://image-src.bcg.com/Images/BCG_Creating_Value_for_Machinery_Companies_Through_Services_May_2014_tcm108-84206.pdf), abgerufen am 12. Dezember 2018.
- Economist (2015): The industrial internet of things - Machine learning. URL: <https://www.economist.com/node/21678786/print>, abgerufen am 15. November 2018.

- Ehret, M.; Kashyap, V. und Wirtz, J. (2013): Business models: Impact on business markets and opportunities for marketing research. In: *Industrial Marketing Management*, Volume: 42, Issue: 5, S. 649–655.
- Ehret, M. und Wirtz, J. (2010): Division of Labor between Firms: Business Services, Non-Ownership-Value and the Rise of the Service Economy. In: *Service Science*, Volume: 2, Issue: 3, S. 136–145.
- Ehret, M. und Wirtz, J. (2017): Unlocking value from machines: business models and the industrial internet of things. In: *Journal of Marketing Management*, Volume: 33, Issue: 1–2, S. 111–130.
- Ehrlich, M.; Wisniewski, L. und Jaspersnrite, J. (2015): Usage of Retrofitting for Migration of Industrial Production Lines to Industry 4.0. In: *Komma 2015 – Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation*. Magdeburg. S. 1–10.
- Eisenmann, T.; Parker, G. und Alstyne, M. W. Van (2006): Strategies for Two-Sided Markets. In: *Harvard Business Review*, Issue: October, S. 1–12.
- Ellwein, C.; Riedel, O.; Meyer, O.; u. a. (2018): Rent'n'Produce: A Secure Cloud Manufacturing Platform for Small and Medium Enterprises. In: *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings*, S. 1–6.
- Elsevier B.V.: ScienceDirect.com. URL: <https://www.sciencedirect.com/>, abgerufen am 1. Dezember 2018.
- Fan, Y. und Chang, J. J. (2018): Embedded smart box for legacy machines to approach to I 4.0 in smart manufacturing. In: *MATEC Web of Conferences*, Volume: 185, S. 1–7.
- Fantana, N. L.; Riedel, T.; Schlick, J.; u. a. (2013): IoT Applications - Value Creation for Industry. In: *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. Vermesan, Ovidiu und Friess, Peter (Hrsg.). River Publishers, Aalborg, Denmark. S. 153–204.
- Fink, A. (2005): *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*. 2nd Edition. Sage Publications, S. 1-245.
- Fleisch, E. (2010): What is the Internet of Things ? - An Economic Perspective. In: *Auto-ID Labs White Paper WP-BIZAPP-053*, Volume: 5, Issue: 2, S. 1–27.
- Fleisch, E.; Weinberger, M. und Wortmann, F. (2014): Business Models and the Internet of Things. URL: [http://www.iot-lab.ch/wp-content/uploads/2014/11/EN\\_Bosch-Lab-White-Paper-GM-im-IOT-1\\_3.pdf](http://www.iot-lab.ch/wp-content/uploads/2014/11/EN_Bosch-Lab-White-Paper-GM-im-IOT-1_3.pdf), abgerufen am 9. Dezember 2018.
- Gao, R.; Wang, L.; Teti, R.; u. a. (2015): Cloud-enabled prognosis for manufacturing. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume: 64, Issue: 2, S. 749–772.
- Gassmann, O.; Frankenberger, K. und Csik, M. (2013): *Geschäftsmodelle entwickeln - 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator*. Hanser Verlag, München, St. Gallen, S. 1-303.
- Gassner, H. (2017): What Do We Mean By: Brownfield Integration? URL:

<https://smartindustryforum.org/what-do-we-mean-by-brownfield-integration/>,  
abgerufen am 16. Dezember 2018.

Gazis, V.; Leonardi, A.; Mathioudakis, K.; u. a. (2015): Components of fog computing in an industrial internet of things context. In: 2015 12th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking - Workshops, SECON Workshops 2015, S. 37–42.

Gebauer, H.; Fleisch, E. und Friedli, T. (2005): Overcoming the Service Paradox in Manufacturing Companies. In: European Management Journal, Volume: 23, Issue: 1, S. 14–26.

Gechter, D.; Nothacker, M.; Khan, C.; u. a. (2013): Manual Systematische Literaturrecherche für die Erstellung von Leitlinien. URL:  
<https://www.aeqz.de/mdb/edocs/pdf/literatur/manual-literaturrecherche.pdf>,  
abgerufen am 14. November 2018.

Geisberger, E. und Broy, M. (2015): Living in a networked world: Integrated research agenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS). acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., München, S. 1-293.

Gezer, V.; Um, J. und Ruskowski, M. (2017): An Extensible Edge Computing Architecture: Definition, Requirements and Enablers. In: UBICOMM 2017 : The Eleventh International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, Issue: November, S. 148–152.

Gilart-Iglesias, V.; Maciá-Pérez, F.; Capella-D'aiton, A.; u. a. (2007): Industrial machines as a service: A model based on embedded devices and web services. In: 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN'06, S. 630–635.

Gilart-Iglesias, V.; Maciá-Pérez, F.; Marcos-Jorquera, D.; u. a. (2007): Industrial machines as a service: Modelling industrial machinery processes. In: IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Volume: 2, S. 737–742.

Gilart-Iglesias, V.; Maciá-Pérez, F.; Mora-Gimeno, F. J.; u. a. (2006): Normalization of industrial machinery with embedded devices and SOA. In: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, S. 173–180.

Ginsberg, A. und Venkatraman, N. (1985): Contingency Perspectives of Organizational Strategy: A Critical Review of the Empirical Research. In: Academy of Management Review, Volume: 10, Issue: 3, S. 421–434.

Google Inc.: Google Scholar. URL: <https://scholar.google.de/>, abgerufen am 1. Dezember 2018.

Grewal, D. und Parasuraman, A. (2000): The impact of technology on the quality-value-loyalty chain: A research agenda. In: Journal of the Academy of Marketing Science, Volume: 28, Issue: 1, S. 168–174.

Grönroos, C. und Helle, P. (2010): Adopting a service logic in manufacturing. In: Journal of Service Management, Volume: 21, Issue: 5, S. 564–590.



- Grubic, T. und Peppard, J. (2016): Servitized manufacturing firms competing through remote monitoring technology An exploratory study. In: *Journal of Manufacturing Technology Management*, Volume: 27, Issue: 2, S. 154–184.
- Guba, B. (2008): Systematische Literatursuche. In: *Wiener Medizinische Wochenschrift*, Volume: 158, Issue: 1–2, S. 62–69.
- Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; u. a. (2013): Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. In: *Future Generation Computer Systems*, Volume: 29, Issue: 7, S. 1645–1660.
- Guerreiro, B. V.; Lins, R. G.; Sun, J.; u. a. (2018): Definition of Smart Retrofitting: First Steps for a Company to Deploy Aspects of Industry 4.0. In: *Advances in Manufacturing. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Hamrol, Adam; Cizak, Olaf; Legutko, Stanisław; u. a. (Hrsg.). Springer International Publishing, Cham. S. 161–170.
- Haggenmüller, W.; Martin, S.; Preisinger, M.; u. a. (2016): Integrative Entwicklung von Smart Services und Geschäftsmodellen am Beispiel von Werkzeugmaschinen. In: *Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, At Berlin*, Volume: 12. S. 61–85.
- Hart, C. (1998): *Doing a Literature Review: Releasing the Social Science Research Imagination*. Sage Publications, Kingswinford, S. 1-230.
- Haskamp, H.; Orth, F.; Wermann, J.; u. a. (2018): Implementing an OPC UA interface for legacy PLC-based automation systems using the Azure cloud: An ICPS-architecture with a retrofitted RFID system. In: *Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018*, S. 115–121.
- Henderson, B. D. (1984): The application and misapplication of the experience curve. In: *Journal of Business Strategy*, Volume: 4, Issue: 3, S. 3–9.
- Herterich, M. M.; Uebernickel, F. und Brenner, W. (2015): The impact of cyber-physical systems on industrial services in manufacturing. In: *Procedia CIRP*, Volume: 30, S. 323–328.
- Higgins, J. und Green, S. (2006): *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Intervention*. URL: [https://training.cochrane.org/sites/training.cochrane.org/files/public/uploads/resources/Handbook5\\_1/Handbook4.2.6Sep2006.pdf](https://training.cochrane.org/sites/training.cochrane.org/files/public/uploads/resources/Handbook5_1/Handbook4.2.6Sep2006.pdf), abgerufen am 2. Dezember 2018.
- Hofmann, E.; Hornstein, J.; Maucher, D.; u. a. (2012): Instruments and Methods of Capital Equipment Purchasing in Terms of the Characteristics of Procurement Objects. In: *Capital Equipment Purchasing. Professional Supply Management Vol 2*. Springer, Berlin, Heidelberg. S. 67–111.
- Horn, C. und Kruger, J. (2016): A retrofitting concept for integration of machinery with legacy interfaces into cloud manufacturing architectures. In: *2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. IEEE, S. 350–352.
- Hui, G. (2014): How the internet of things changes business models, *Harvard Business Review*. URL: <https://hbr.org/2014/07/how-the-internet-of-things->

changes-business-models, abgerufen am 13. Dezember 2018.

Iansiti, M. und Lakhani, K. R. (2014): Digital Ubiquity: How Connections, Sensors, and Data Are Revolutionizing Business. In: Harvard Business Review, Volume: 92, Nr. 11, Issue: November, S. 90–99.

Ibarra, D.; Ganzarain, J. und Igartua, J. I. (2018): Business model innovation through Industry 4.0: A review. In: Procedia Manufacturing, Volume: 22, S. 4–10.

Industrial Internet Consortium (2015): Industrial Internet Reference Architecture, Technical Report. URL: <http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>, abgerufen am 17. Dezember 2018.

Industrial Internet Consortium (2016): Cooperation Among Two Key Leaders in the Industrial Internet. URL: <https://blog.iiconsortium.org/2016/03/the-industrial-internet-is-important-new-technologies-and-new-business-opportunities-will-disrupt-industries-on-many-level.html>, abgerufen am 2. Februar 2019.

Jeschke, S.; Brecher, C.; Meisen, T.; u. a. (2017): Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. In: Industrial Internet of Things - Cybermanufacturing Systems. Jeschke, Sabina; Brecher, Christian; Song, Houbing; u. a. (Hrsg.). Springer International Publishing Switzerland, Cham. S. 3–19.

Johnson, M. W.; Christensen, C. M. und Kagermann, H. (2008): Reinventing Your Business Model. In: Harvard Business Review, Issue: December 2008, S. 1–11.

Jónasdóttir, H.; Dhanani, K.; McRae, K.; u. a. (2018): Upgrading Legacy Equipment to Industry 4.0 Through a Cyber-Physical Interface. In: Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0. Moon, Ilkyeong; Lee, Gyu M.; Park, Jinwoo; u. a. (Hrsg.). Springer International Publishing, Cham. S. 3–10.

Kagermann, H. (2014): Industrie 4.0 und die Smart Service Welt - Dienstleistungen für die digitalisierte Gesellschaft. In: Dienstleistung in der digitalen Gesellschaft: Beiträge zur Dienstleistungstagung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Wissenschaftsjahr 2014. Boes, Andreas (Hrsg.). Campus Verlag, Frankfurt am Main. S. 67–71.

Kagermann, H. (2015): Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. In: Management of Permanent Change. Albach, Horst; Meffert, Heribert; Pinkwart, Andreas; u. a. (Hrsg.). Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden. S. 23–45.

Kagermann, H.; Lukas, W.-D. und Wahlster, W. (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: VDI Nachrichten, Issue: 13, S. 3–4.

Kagermann, H.; Wahlster, W. und Helbig, J. (2013a): Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. URL: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>, abgerufen am 11. Dezember 2018.

Kagermann, H.; Wahlster, W. und Helbig, J. (2013b): Umsetzungsempfehlungen für

- das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. URL: [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Abschlussbericht\\_Industrie4.0\\_barrierefrei.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Abschlussbericht_Industrie4.0_barrierefrei.pdf), abgerufen am 11. Dezember 2018.
- Kalim, M. (2015): Internet of Things: The Power of Predictive Maintenance, SAP. URL: <http://blogs.sap.com/analytics/2015/03/12/internet-of-things-the-power-of-predictive-maintenance/>, abgerufen am 26. November 2018.
- Kampker, A.; Frank, J.; Schwartz, M.; u. a. (2018): Lernen von den Besten: Fünf Erfolgsfaktoren bei der Entwicklung von Smart Services. In: Service Engineering. Meyer, Kyrill; Klingner, Stephan und Zinke, Christian (Hrsg.). Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden. S. 151–165.
- Kassner, L.; Gröger, C.; Königsberger, J.; u. a. (2017): The Stuttgart IT Architecture for Manufacturing. In: Lecture Notes in Business Information Processing book series (LNBIP, volume 291). Hammoudi, Slimane; Maciaszek, Leszek A.; Missikoff, Michele M.; u. a. (Hrsg.). Springer International Publishing AG, Cham. S. 53–80.
- Kaufmann, T. (2015): Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit. URL: [http://butler.aifb.kit.edu/web/industrie40/wp-content/uploads/sites/5/2016/05/Vorlesung\\_Geschäftsmodelle\\_-I4.0\\_1.0.pdf](http://butler.aifb.kit.edu/web/industrie40/wp-content/uploads/sites/5/2016/05/Vorlesung_Geschäftsmodelle_-I4.0_1.0.pdf), abgerufen am 17. Dezember 2018.
- Kerns, J. (2016): An Infrastructure-Free IIoT? In: Machine Design, Volume: 88, Issue: 7, S. 1–5.
- Kiel, D.; Müller, J.; Arnold, C.; u. a. (2017): Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. In: The XXVIII ISPIM Innovation Conference – Composing the Innovation Symphony, Austria, Vienna on 18-21 June 2017. ISPIM, Vienna, Austria. S. 1–21.
- Kim, S.-H.; Cohen, M. A. und Netessine, S. (2007): Performance Contracting in After-Sales Service Supply Chains. In: Management Science, Volume: 53, Issue: 12, S. 1843–1858.
- Kitchenham, B.; Pearl Brereton, O.; Budgen, D.; u. a. (2009): Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review. In: Information and Software Technology, Volume: 51, Issue: 1, S. 7–15.
- Kohtamäki, M. und Helo, P. (2015): Industrial services – The solution provider’s stairway to heaven or highway to hell? In: Benchmarking: An International Journal, Volume: 22, Issue: 2, S. 170–185.
- Kotler, P. (1994): Reconceptualizing marketing: An interview with Philip Kotler. In: European Management Journal, Volume: 12, Issue: 4, S. 353–361.
- Läzer, K. L.; Sonntag, M.; Drazek, R.; u. a. (2010): Einführung in die systematische Literaturrecherche mit den Datenbanken „PsycINFO“, „Pubmed“ und „PEP – Psychoanalytic Electronic Publishing“ sowie in das Literaturverwaltungsprogramm „Citavi“. URL: <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34->

2010081634029/3/TutorialSystematischeLiteraturrecherche.pdf, abgerufen am 1. Dezember 2018.

Lee, E. A. (2008): Cyber Physical Systems: Design Challenges. In: 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). IEEE, S. 363–369.

Lee, I. und Lee, K. (2015): The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. In: Business Horizons, Volume: 58, Issue: 4, S. 431–440.

Lee, J.; Bagheri, B. und Kao, H. A. (2015): A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. In: Manufacturing Letters, Volume: 3, S. 18–23.

Lee, J.; Kao, H. A. und Yang, S. (2014): Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. In: Procedia CIRP, Volume: 16, S. 3–8.

Leminen, S.; Westerlund, M.; Rajahonka, M.; u. a. (2012): Towards IOT Ecosystems and Business Models. In: Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking - 12th International Conference, NEW2AN 2012, and 5th Conference, ruSMART 2012, St. Petersburg, Russia, August 27-29, 2012 Proceedings. Andreev, Sergey; Balandin, Sergey und Koucheryavy, Yevgeni (Hrsg.). S. 15–26.

Lennvall, T.; Gidlund, M. und Akerberg, J. (2017): Challenges when bringing IoT into industrial automation. In: 2017 IEEE AFRICON: Science, Technology and Innovation for Africa, AFRICON 2017, S. 905–910.

Lerch, C. und Gotsch, M. (2014): Die Rolle der Digitalisierung bei der Transformation vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister. In: Die Unternehmung, Volume: 68, Issue: 4, S. 250–267.

Lerch, C. und Gotsch, M. (2015): Digitalized Product-Service Systems in Manufacturing Firms: A Case Study Analysis. In: Research-Technology Management, Volume: 58, Issue: 5, S. 45–52.

Li, B.; Zhang, L.; Wang, S.; u. a. (2010): Cloud manufacturing: a new service-oriented networked manufacturing model. In: Computer integrated manufacturing systems, Volume: 16.1, S. 1–7.

Lichtblau, K.; Stich, V.; Bertenrath, R.; u. a. (2015): Industrie 4.0 - Readiness. URL: <http://www.impulsstiftung.de/documents/3581372/4875835/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015.pdf/447a6187-9759-4f25-b186-b0f5eac69974;jsessionid=AD922E7A6E86039440E01BFDF424CAE7>, abgerufen am 17. Dezember 2018.

Lovelock, C. und Gummesson, E. (2004): Whither Services Marketing? In: Journal of Service Research, Volume: 7, Issue: 1, S. 20–41.

MacDougall, W. (2014): Industrie 4.0 - Smart Manufacturing for the Future, GTIA - Germany Trade and Invest. URL: [https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/documents-folder/policies/germany-industrie-4-0-smart-manufacturing-for-the-future-gtai/at\\_download/file](https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/documents-folder/policies/germany-industrie-4-0-smart-manufacturing-for-the-future-gtai/at_download/file), abgerufen am 13. Dezember

2018.

- Maciá Pérez, F.; Berna-Martinez, J. V.; Marcos-Jorquera, D.; u. a. (2012): A new paradigm: cloud agile manufacturing. In: *International Journal of Advanced Science and Technology*, Volume: 45, S. 47–54.
- Maeda, M.; Sakurai, Y.; Tamaki, T.; u. a. (2017): Method for Automatically Recognizing Various Operation Statuses of Legacy Machines. In: *Procedia CIRP*, Volume: 63, S. 418–423.
- Mamo, F. T.; Sikora, A. und Rathfelder, C. (2017): Legacy to Industry 4.0: A Profibus Sniffer. In: *Journal of Physics: Conference Series*, Volume: 870, Issue: 1, S. 1–6.
- Marilungo, E.; Papetti, A.; Germani, M.; u. a. (2017): From PSS to CPS Design: A Real Industrial Use Case Toward Industry 4.0. In: *Procedia CIRP*, Volume: 64, S. 357–362.
- Marston, S.; Li, Z.; Bandyopadhyay, S.; u. a. (2011): Cloud computing — The business perspective. In: *Decision Support Systems*, Volume: 51, Issue: 1, S. 176–189.
- Mathieu, V. (2001): Service strategies within the manufacturing sector: benefits, costs and partnership. In: *International Journal of Service Industry Management*, Volume: 12, Issue: 5, S. 451–475.
- Matt, D. T.; Rauch, E. und Dallasega, P. (2015): Trends towards Distributed Manufacturing Systems and Modern Forms for their Design. In: *Procedia CIRP*, Volume: 33, S. 185–190.
- Matzler, K.; Bailom, F.; von den Eichen, S. F.; u. a. (2013): Business model innovation: coffee triumphs for Nespresso. In: *Journal of Business Strategy*, Volume: 34, Issue: 2, S. 30–37.
- May, G.; Kyriakoulis, N.; Apostolou, K.; u. a. (2018): Predictive Maintenance Platform Based on Integrated Strategies for Increased Operating Life of Factories. In: *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. Moon, Ilkyeong; Lee, Gyu M.; Park, Jinwoo; u. a. (Hrsg.). Springer International Publishing, Cham. S. 279–287.
- McGeever, J. (2014): Corporate America's „ABC“ policy - Anything But Capex, Reuters. URL: <https://www.reuters.com/article/us-markets-investment-capex-analysis-idUSKBN0G60CC20140806>, abgerufen am 30. November 2018.
- Meier, H.; Roy, R. und Seliger, G. (2010): Industrial Product-Service Systems—IPS 2. In: *CIRP Annals*, Volume: 59, Issue: 2, S. 607–627.
- Melville, N.; Kraemer, K. und Gurbaxani, V. (2004): Review: Information Technology and Organizational Performance: An Integrative Model of IT Business Value. In: *MIS Quarterly*, Volume: 28, Issue: 2, S. 283–322.
- Mert, G.; Herder, C. F.; Menck, N.; u. a. (2016): Innovative Services for Customized, Availability-oriented Business Models for the Capital Goods Industry. In: *Procedia CIRP*, Volume: 47, S. 501–506.
- Mikusz, M. (2014): Towards an Understanding of Cyber-physical Systems as

- Industrial Software-Product-Service Systems. In: *Procedia CIRP*, Volume: 16, S. 385–389.
- Mindak, W. A. (1961): Fitting the Semantic Differential to the Marketing Problem. In: *Journal of Marketing*, Volume: 25, Issue: 4, S. 28–33.
- Moctezuma, L. E. G.; Jokinen, J.; Postelnicu, C.; u. a. (2012): Retrofitting a factory automation system to address market needs and societal changes. In: *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, S. 413–418.
- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; u. a. (2009): Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. In: *Annals of Internal Medicine*, Volume: 151, Issue: 4, S. 264-270.
- Monostori, L. (2014): Cyber-physical production systems: roots, expectations and R&D challenges. In: *Procedia CIRP*, Volume: 17, S. 9–13.
- Mont, O. (2002): Clarifying the concept of product–service system. In: *Journal of Cleaner Production*, Volume: 10, Issue: 3, S. 237–245.
- Mooney, J.; Gurbaxani, V. und Kraemer, K. L. (1995): A Process Oriented Framework for Assessing the Business Value of Information Technology. In: Forthcoming in the Proceedings of the Sixteenth Annual International Conference on Information Systems. S. 1–26.
- Morabito, R.; Cozzolino, V.; Ding, A. Y.; u. a. (2018): Consolidate IoT Edge Computing with Lightweight Virtualization. In: *IEEE Network*, Volume: 32, Issue: 1, S. 102–111.
- Morabito, R.; Petrolo, R.; Loscri, V.; u. a. (2017): LEGIoT: a Lightweight Edge Gateway for the Internet of Things. In: *Future Generation Computer Systems*, S. 1–39.
- Morris, M.; Schindehutte, M. und Allen, J. (2005): The entrepreneur’s business model: toward a unified perspective. In: *Journal of Business Research*, Volume: 58, Issue: 6, S. 726–735.
- Morrish, J.; Figueredo, K.; Haldeman, S.; u. a. (2016): The Industrial Internet of Things, Volume B01: Business Strategy and Innovation Framework. URL: [https://www.iiconsortium.org/pdf/Business\\_Strategy\\_and\\_Innovation\\_Framework\\_Nov\\_2016.pdf](https://www.iiconsortium.org/pdf/Business_Strategy_and_Innovation_Framework_Nov_2016.pdf), abgerufen am 14. Dezember 2018.
- Motschall, E. (2005): Effiziente Literatursuche in der Medizin. URL: [https://www.akademie-zwm.ch/uploads/tx\\_scpublications/Literatursuche-Internet-2005.pdf](https://www.akademie-zwm.ch/uploads/tx_scpublications/Literatursuche-Internet-2005.pdf), abgerufen am 1. Dezember 2018.
- Mourtzis, D.; Milas, N. und Athinaios, N. (2018): Towards Machine Shop 4.0: A General Machine Model for CNC machine-tools through OPC-UA. In: *Procedia CIRP*, Volume: 78, S. 301–306.
- Muhtaroglu, F. C. P.; Demir, S.; Obali, M.; u. a. (2013): Business model canvas perspective on big data applications. In: *2013 IEEE International Conference on Big Data*. IEEE, S. 32–37.
- Nasrallah, A.; Thyagaturu, A. S.; Alharbi, Z.; u. a. (2019): Ultra-Low Latency (ULL)

- Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research. In: IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume: 21, Issue: 1, S. 88–145.
- Neely, A. (2008): Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. In: Operations Management Research, Volume: 1, Issue: 2, S. 103–118.
- Ng, I. C. L.; Ding, D. X. und Yip, N. (2013): Outcome-based contracts as new business model: The role of partnership and value-driven relational assets. In: Industrial Marketing Management, Volume: 42, Issue: 5, S. 730–743.
- Ng, I. C. L.; Maull, R. und Yip, N. (2009): Outcome-based contracts as a driver for systems thinking and service-dominant logic in service science: Evidence from the defence industry. In: European Management Journal, Volume: 27, Issue: 6, S. 377–387.
- Nsiah, K. A.; Schappacher, M.; Rathfelder, C.; u. a. (2018): An open-source toolkit for retrofit industry 4.0 sensing and monitoring applications. In: I2MTC 2018 - 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference: Discovering New Horizons in Instrumentation and Measurement, Proceedings, Volume: 60, S. 1–6.
- Okoli, C. (2015): A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. In: Communications of the Association for Information Systems, Volume: 37, Issue: 1, S. 879–910.
- Oliva, R. und Kallenberg, R. (2003): Managing the transition from products to services. In: International Journal of Service Industry Management, Volume: 14, Issue: 2, S. 160–172.
- Osterwalder, A. (2004): THE BUSINESS MODEL ONTOLOGY A PROPOSITION IN A DESIGN SCIENCE APPROACH. l'Ecole des HEC de l'Université de Lausanne, S. 1-172.
- Osterwalder, A. und Pigneur, Y. (2009): Business Model Generation. URL: <http://radio.shabanali.com/business-model-generation-osterwalder.pdf>, abgerufen am 14. Dezember 2018.
- Parasuraman, A. (1996): Understanding and leveraging the role of customer service in external, interactive and internal marketing. In: Frontiers in Services Conference, Nashville, TN, Issue: 1996/10/3.
- Parida, V.; Sjödin, D. R.; Wincent, J.; u. a. (2014): A Survey Study of the Transitioning towards High-value Industrial Product-services. In: Procedia CIRP, Volume: 16, S. 176–180.
- Pentland, A. (2009): Reality Mining of Mobile Communications: Toward a New Deal on Data. In: The Global Information Technology Report 2008–2009 Mobility in a Networked World. Dutta, Soumitra und Mia, Irene (Hrsg.). World Economic Forum, S. 75–80.
- Pérez, J. D. C.; Buitrón, R. E. C. und Melo, J. I. G. (2018): Methodology for the Retrofitting of Manufacturing Resources for Migration of SME Towards Industry 4.0. In: Applied Informatics - First International Conference, ICAI 2018 Bogotá,

- Colombia, November 1–3, 2018 Proceedings. Communications in Computer and Information Science. Florez, Hector; Diaz, Cesar und Chavarriaga, Jaime (Hrsg.). Springer International Publishing, Cham. S. 337–352.
- Porter, M. E. (1980): *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press, New York, New York, USA, S. 1-196.
- Porter, M. E. (1985): *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press, New York, New York, USA, S. 1-557.
- Porter, M. E. (1990): *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press, New York, New York, USA, S. 1-855.
- Porter, M. E. (1991): Towards a dynamic theory of strategy. In: *Strategic Management Journal*, Volume: 12, Issue: S2, S. 95–117.
- Porter, M. E. und Heppelmann, J. E. (2014): How Smart, Connected Products Are Transforming Competition, *Harvard Business Review*. URL: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>, abgerufen am 15. Dezember 2018.
- Qin, J.; Liu, Y. und Grosvenor, R. (2016): A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. In: *Procedia CIRP*, Volume: 52, Issue: Supplement C, S. 173–178.
- Ramge, T. (2015): Die drei Zauberworte - brand eins online, *BrandEins*. URL: <https://www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2015/handel/die-drei-zauberworte>, abgerufen am 7. Dezember 2018.
- Rauch, E.; Seidenstricker, S.; Dallasega, P.; u. a. (2016): Collaborative Cloud Manufacturing: Design of Business Model Innovations Enabled by Cyberphysical Systems in Distributed Manufacturing Systems. In: *Journal of Engineering*, Volume: 2016, S. 1–12.
- Rehe, M.; Denkena, B. und Wagener, C. (2018): Energy consumption analysis of modules for CPS retrofitting. In: *Procedia Manufacturing*, Volume: 24, S. 48–53.
- Reim, W.; Parida, V. und Örtqvist, D. (2015): Product-Service Systems (PSS) business models and tactics - A systematic literature review. In: *Journal of Cleaner Production*, Volume: 97, S. 61–75.
- Robert Bosch GmbH (2016): Alte Maschine, schnelle Vernetzung, neuer Nutzen. URL: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/alte-maschinen-neuer-nutzen-sensoren-und-software-holen-drehbank-von-robert-bosch-in-die-industrie-4-0-69632.html>, abgerufen am 30. November 2018.
- Roedder, N.; Dauer, D.; Laubis, K.; u. a. (2016): The digital transformation and smart data analytics: An overview of enabling developments and application areas. In: *Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2016*, S. 2795–2802.
- Rosendahl, R.; Schmidt, N.; Lüder, A.; u. a. (2015): Industry 4.0 value networks in legacy systems. In: *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, Volume: 2015–Octob, S. 15–18.



- Rudtsch, V.; Gausemeier, J.; Gesing, J.; u. a. (2014): Pattern-based business model development for cyber-physical production systems. In: *Procedia CIRP*, Volume: 25, Issue: C, S. 313–319.
- Rymaszewska, A.; Helo, P. und Gunasekaran, A. (2017): IoT powered servitization of manufacturing – an exploratory case study. In: *International Journal of Production Economics*, Volume: 192, Issue: February, S. 92–105.
- Schenk, M. und Zobel, N. (2016): Industrie 4.0 - Neue Geschäftsmodelle in der Prozessindustrie. In: 9. Fachtagung »Anlagenbau der Zukunft«. Schenk, Michael (Hrsg.). Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg. S. 13–16.
- Schlechtendahl, J.; Keinert, M.; Kretschmer, F.; u. a. (2014): Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments. In: *Production Engineering*, Volume: 9, Issue: 1, S. 143–148.
- Schuh, G.; Potente, T.; Thomas, C.; u. a. (2014): Short-term Cyber-physical Production Management. In: *Procedia CIRP*, Volume: 25, S. 154–160.
- Seitz, A.; Buchinger, D. und Bruegge, B. (2018): The Conjunction of Fog Computing and the Industrial Internet of Things - An Applied Approach. In: 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops 2018, Issue: I, S. 812–817.
- Shafer, S. M.; Smith, H. J. und Linder, J. C. (2005): The power of business models. In: *Business Horizons*, Volume: 48, Issue: 3, S. 199–207.
- Singh, S.; Angrish, A.; Barkley, J.; u. a. (2017): Streaming Machine Generated Data to Enable a Third-Party Ecosystem of Digital Manufacturing Apps. In: *Procedia Manufacturing*, Volume: 10, Issue: Dmc, S. 1020–1030.
- Smart, P.; Tranfield, D. und Denyer, D. (2003): Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. In: *British Journal of Management*, Volume: 14, Issue: 3, S. 207–222.
- Smith, D. J. (2013): Power-by-the-hour: The role of technology in reshaping business strategy at Rolls-Royce. In: *Technology Analysis and Strategic Management*, Volume: 25, Issue: 8, S. 987–1007.
- Smith, V.; Devane, D.; Begley, C. M.; u. a. (2011): Methodology in conducting a systematic review of systematic reviews of healthcare interventions. In: *BMC Medical Research Methodology*, Volume: 11, Issue: 1, S. 1–6.
- Spanos, Y. E. und Lioukas, S. (2001): An examination into the causal logic of rent generation: contrasting Porter's competitive strategy framework and the resource-based perspective. In: *Strategic Management Journal*, Volume: 22, Issue: 10, S. 907–934.
- Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; u. a. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart, S. 1-155.
- Stackpole, B. (2018): It's Not Edge vs . Cloud — It's Both. In: *Automation World*,

Volume: October, S. 1–12.

Statista GmbH: Statista. URL: <https://de.statista.com/>, abgerufen am 1. Dezember 2018.

Stock, T. und Seliger, G. (2016): Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. In: *Procedia CIRP*, Volume: 40, Issue: Icc, S. 536–541.

Storbacka, K.; Windahl, C.; Nenonen, S.; u. a. (2013): Solution business models: Transformation along four continua. In: *Industrial Marketing Management*, Volume: 42, Issue: 5, S. 705–716.

T-Systems International GmbH (2016): KAESER Kompressoren SE setzt auf Industrie 4.0. URL: [https://www.t-systems.com/blob/513274/0c58117912be363cdb82aeadafdbb573/DL\\_REF\\_Kaeser.pdf](https://www.t-systems.com/blob/513274/0c58117912be363cdb82aeadafdbb573/DL_REF_Kaeser.pdf), abgerufen am 28. November 2018.

Tao, F.; Cheng, Y.; Xu, L. Da; u. a. (2014): CCloudT-CMfg: Cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Volume: 10, Issue: 2, S. 1435–1442.

Tao, F.; Zhang, L.; Venkatesh, V. C.; u. a. (2011): Cloud manufacturing: A computing and service-oriented manufacturing model. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Volume: 225, Issue: 10, S. 1969–1976.

Technische Universität Wien: TU CatalogPlus Suche. URL: [https://catalogplus.tuwien.ac.at/primo\\_library/libweb/action/search.do?vid=UTW](https://catalogplus.tuwien.ac.at/primo_library/libweb/action/search.do?vid=UTW), abgerufen am 1. Dezember 2018.

Tedeschi, S.; Rodrigues, D.; Emmanouilidis, C.; u. a. (2018): A cost estimation approach for IoT modular architectures implementation in legacy systems. In: *Procedia Manufacturing*, Volume: 19, S. 103–110.

Teece, D. J. (2010): Business Models, Business Strategy and Innovation. In: *Long Range Planning*, Volume: 43, Issue: 2–3, S. 172–194.

Thoben, K. D.; Wiesner, S. A. und Wuest, T. (2017): “Industrie 4.0” and smart manufacturing—a review of research issues and application examples. In: *International Journal of Automation Technology*, Volume: 11, Issue: 1, S. 4–16.

Trunzer, E.; Vogel-Heuser, B. und Vermum, C. (2018): Datengetriebene Diagnose von Regelarmaturen zur Steigerung der Anlagenverfügbarkeit. In: *VDI-Kongress Automation 2018*. VDI Verlag GmbH, Baden-Baden, Deutschland. S. 319–328.

Tukker, A. (2004): Eight Types of Product Service Systems. In: *Business Strategy and the Environment*, Volume: 13, Issue: 4, S. 246–260.

Vandermerwe, S. und Rada, J. (1988): Servitization of business: Adding value by adding services. In: *European Management Journal*, Volume: 6, Issue: 4, S. 314–324.

Vargo, S. L. und Lusch, R. F. (2008): From goods to service(s): Divergences and convergences of logics. In: *Industrial Marketing Management*, Volume: 37, Issue: 3, S. 254–259.

- Voigt, K.-I.; Steinmann, F.; Bauer, J.; u. a. (2013): Condition Monitoring als Schlüsseltechnologie - Eine Analyse der Anforderungen an neue Geschäftsmodelle für den Remote Service. In: Conference Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. S. 1–27.
- Vokurka, R. J. und O’Leary-Kelly, S. W. (2000): A review of empirical research on manufacturing flexibility. In: Journal of Operations Management, Volume: 18, Issue: 4, S. 485–501.
- Volkwein, M. und Bildstein, A. (2017): Erkenntnisse aus der Studie „Digitalisierung im Mittelstand – Entscheidungsgrundlagen und Handlungsempfehlungen“. In: Mittelstand Digital WISSENSCHAFT TRIFFT PRAXIS - Digitale Produktionsmittel im Einsatz. Begleitforschung Mittelstand-Digital WIK GmbH, Bad Honnef. S. 5–10.
- Volz, M. (2018): Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung in der Fertigungs- und Prozessindustrie. In: Industrial Quality, Issue: 2, S. 26–28.
- Wahlster, W. (2016): Industrie 4.0: Mass Customization in Multiadaptive Smart Factories. URL: [http://www.dfki.de/wwdata/German-Finnish\\_Symposium\\_Berlin\\_11\\_11\\_16/Presentation\\_Wahlster.pdf](http://www.dfki.de/wwdata/German-Finnish_Symposium_Berlin_11_11_16/Presentation_Wahlster.pdf), abgerufen am 14. Dezember 2018.
- Walenza-Slabe, E.; Jasti, A.; Previtali, D.; u. a. (2017): Smart Factory Applications in Discrete Manufacturing. In: Industrial Internet Consortium Whitepaper Series, Volume: IIC:WHT:IS, S. 1–34.
- Wank, A.; Adolph, S.; Anokhin, O.; u. a. (2016): Using a Learning Factory Approach to Transfer Industrie 4.0 Approaches to Small- and Medium-sized Enterprises. In: Procedia CIRP, Volume: 54, S. 89–94.
- Weber, A. und Reichel, J. (2018): Value Chain Service im Asset Management. In: Betriebliche Instandhaltung. Reichel, Jens; Müller, Gerhard und Haeffs, Jean (Hrsg.). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. S. 35–48.
- Weber, C.; Königsberger, J.; Kassner, L.; u. a. (2017): M2DDM - A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. In: Procedia CIRP, Volume: 63, S. 173–178.
- Wee, D. und Baur, C. (2015): Manufacturing’ s next act. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>, abgerufen am 18. Dezember 2018.
- Wee, D.; Kelly, R.; Cattell, J.; u. a. (2015): Industry 4.0 - How to navigate digitization of the manufacturing sector, McKinsey Digital. URL: [http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck\\_industry\\_40\\_report.pdf](http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck_industry_40_report.pdf), abgerufen am 7. Dezember 2018.
- Wei, Z.; Song, X. und Wang, D. (2017): Manufacturing flexibility, business model design, and firm performance. In: International Journal of Production Economics, Volume: 193, Issue: 28, S. 87–97.
- Wernerfelt, B. (1984): A resource-based view of the firm. In: Strategic Management Journal, Volume: 5, Issue: 2, S. 171–180.
- Weyrich, M. (2018): On the Application of cyber physical Production Systems. In: III

International Conference Computer Algebra and Information Technologies CAIT-Odessa-2018, 20-25 August 2018, Odessa, Ukraine. S. 1–4.

Wiktorsson, M.; Noh, S. Do; Bellgran, M.; u. a. (2018): Smart Factories: South Korean and Swedish examples on manufacturing settings. In: *Procedia Manufacturing*, Volume: 25, S. 471–478.

Wlodarczyk, T. W.; Rong, C. und Thorsen, K. A. H. (2009): Industrial Cloud: Toward Inter-enterprise Integration. In: *Cloud Computing. CloudCom 2009. Lecture Notes in Computer Science*, Vol 5931. Jaatun, M.G.; Zhao, G. und Rong, C. (Hrsg.). Springer, Berlin, Heidelberg. S. 460–471.

World Economic Forum und A.T. Kearney (2017): Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation. URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_White\\_Paper\\_Technology\\_Innovation\\_Future\\_of\\_Production\\_2017.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf), abgerufen am 8. Dezember 2018.

World Economic Forum und Accenture (2016): Digital Transformation of Industries, World Economic Forum. URL: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/digital-enterprise-narrative-final-january-2016.pdf>, abgerufen am 9. Dezember 2018.

Xu, X. (2012): From cloud computing to cloud manufacturing. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume: 28, Issue: 1, S. 75–86.

Yoo, Y.; Boland, R. J.; Lyytinen, K.; u. a. (2012): Organizing for Innovation in the Digitized World. In: *Organization Science*, Volume: 23, Issue: 5, S. 1398–1408.

Zancul, E. de S.; Takey, S. M.; Barquet, A. P. B.; u. a. (2016): Business process support for IoT based product-service systems (PSS). In: *Business Process Management Journal*, Volume: 22, Issue: 2, S. 305–323.

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015): RAMI 4.0 - Das Referenzarchitekturmodell - Faktenblatt ZVEI. URL: [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Themen/Industrie\\_4.0/Das\\_Referenzarchitekturmodell\\_RAMI\\_4.0\\_und\\_die\\_Industrie\\_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4\\_0-RAMI-4\\_0.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4_0-RAMI-4_0.pdf), abgerufen am 10. Dezember 2018.

Zhong, R. Y.; Xu, X.; Klotz, E.; u. a. (2017): Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. In: *Engineering*, Volume: 3, Issue: 5, S. 616–630.

Zühlke, D. (2018): Fortschritt im Netzwerk. URL: [https://smartfactory.de/wp-content/uploads/2018/04/SF\\_BR\\_2018\\_FortschrittImNetzwerk\\_A4\\_DE\\_XS.pdf](https://smartfactory.de/wp-content/uploads/2018/04/SF_BR_2018_FortschrittImNetzwerk_A4_DE_XS.pdf), abgerufen am 4. Dezember 2018.

Zujewski, B. (2013): Axeda IoT and Connected Products Blog | R&D. URL: <http://blog.axeda.com/topic/rd>, abgerufen am 18. Dezember 2018.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise .....	7
Abbildung 2: Dilemma zwischen Genauigkeit und Vollständigkeit .....	10
Abbildung 3: Schematische Beschreibung der Durchführung einer systematischen Literaturrecherche (auf Basis des Konzepts von Tranfield et al. (2003)) .....	15
Abbildung 4: Die vier Stufen industrieller Revolutionen.....	19
Abbildung 5: Struktur eines Cyber-Physischen Systems .....	21
Abbildung 6: Klassifizierungsframework nach Qin et al. (2016) .....	23
Abbildung 7: Die IoT Elemente .....	25
Abbildung 8: Die LEGIoT Architektur.....	27
Abbildung 9: Vergleich der auszutauschenden Maschinen und Anlagen je industrieller Revolution .....	31
Abbildung 10: CPS System für proaktive Betriebsabläufe in der Smart Factory .....	33
Abbildung 11: Aktueller IT/OT Status und Transformationspotenzial.....	34
Abbildung 12: Darstellung des breiten Spektrums an QoS-Anforderungen entsprechend der Netzwerkeinstellung (je Floor), wobei die Fertigungsfläche (Machine Floor) das höchste Maß an Determinismus und die geringste Latenzzeit erfordert .....	34
Abbildung 13: Beispiel für die verschiedenen Kommunikationsschnittstellen und Protokolle, die sich in einer typischen Produktionsstätte befinden .....	35
Abbildung 14: Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) - Funktionale Ansicht .....	40
Abbildung 15: Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0).....	42
Abbildung 16: Fusion der Architekturen IIRA und RAMI 4.0 .....	42
Abbildung 17: Überblick über die Stuttgart IT Architecture for Manufacturing (SITAM) .....	43
Abbildung 18: Digitales Transformationsframework .....	47
Abbildung 19: Vergleich von Service Level und Anwenderbeteiligung.....	56
Abbildung 20: Geschäftsmodellansätze der Servicetransformation .....	58
Abbildung 21: Transformationsmodell für Produkthersteller unter dem Einfluss von Tertiarisierung und Digitalisierung .....	58
Abbildung 22: Nonownership Contracts als Bindeglied zwischen Asset Owner und Service Client .....	61
Abbildung 23: Das Komponentenmodell von Rent'n'Produce .....	67
Abbildung 24: Konzept des collaborative cloud manufacturing (CCM) .....	68
Abbildung 25: Reifegradmodell .....	71
Abbildung 26: Mehrwerte für Industrie 4.0-Lösungen.....	71
Abbildung 27: Pyramid model.....	77
Abbildung 28: Extended Pyramid Model (EPM) .....	77

Abbildung 29: IT Business Value Model .....	78
Abbildung 30: The Work System Framework .....	79
Abbildung 31: Manufacturing flexibility's conceptual framework .....	80
Abbildung 32: Retrofit Business Value Framework .....	81
Abbildung 33: Conceptual Framework nach Spanos und Lioukas (2001).....	94
Abbildung 34: Digital business layers .....	95
Abbildung 35: Integriertes Bewertungs-Framework für Industrie 4.0 Retrofit-Lösungen .....	97
Abbildung 36: Bewertung des Einsatzbereichs .....	99
Abbildung 37: Bewertung der Hardware - Teil 1 .....	100
Abbildung 38: Bewertung der Hardware - Teil 2.....	101
Abbildung 39: Bewertung der Software - Teil 1 .....	102
Abbildung 40: Bewertung der Software - Teil 2 .....	103
Abbildung 41: Bewertung der Software - Teil 3 .....	104
Abbildung 42: Bewertung von Sicherheit und Datenschutz.....	105
Abbildung 43: Bewertung der Integrierbarkeit .....	106
Abbildung 44: Bewertung von Training und Support .....	106
Abbildung 45: Bewertung der Geschäftsmodelle .....	107

## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Suchbegriffe in der Literaturrecherche .....	120
Tabelle 2: Suchbegriffe und Ergebnisse, Google Scholar .....	121
Tabelle 3: Suchbegriffe und Ergebnisse, ScienceDirect .....	122
Tabelle 4: Suchbegriffe und Ergebnisse, CatalogPlus .....	123

# 11 Abkürzungsverzeichnis

a.a.O.	am angegebenen Ort
API	Application Programming Interface
AWS	Amazon Web Services
B2B	Business to Business
B2B2C	Business to Business to Consumer
B2C	Business to Consumer
bez.	bezüglich
BOO	Build-Own-Operate
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CapEx	Capital Expenditures
CBS	cloud-based control services
CCIoT-CMfg	IoT-based cloud manufacturing (CMfg) service system
CCM	Collaborative Cloud Manufacturing
CMfg	Cloud Manufacturing
CPPS	cyber-physische Produktionssysteme
CPS	Cyber Physical Systems, bzw. cyber-physische Systeme
d.h.	das heißt
DIY	do it yourself
DMS	Distributed Manufacturing Systems
dt.	Deutsch(en)
ebd.	ebenda, ebendort
engl.	Englisch(en)
EPM	Extended Pyramid Model
ERP	Enterprise-Resource-Planning
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
evtl.	eventuell
GE	General Electric
ggfs.	gegebenenfalls
HMI	Human Machine Interface
Hrsg.	Herausgeber
IaaS	Infrastructure-as-a-Service
IEC	International Electrotechnical Commission



IIC	Industrial Internet Consortium
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IMaaS	Industrial Machine as a Service
inkl.	inklusive
IoT	Internet of Things
IPR	Intellectual Property Rights
IPS <sup>2</sup>	Industrial Product-Service Systems
ISPSS = ISPS <sup>2</sup>	Industrial Software Product-Service System
IT	Informationstechnologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI(s)	Key Performance Indicator(s)
kWh	Kilowattstunde
M2M	Machine to Machine
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MES	Manufacturing Execution System
MRO	Maintenance, Repair and Operations
OEE	Overall-Equipment-Effectiveness
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
OpEx	Operational Expenses
OT	Operation Technology
PaaS	Plattform-as-a-Service
PLC	Programmable Logic Controller
PLM	Product-Lifecycle-Management
PSS	Product-Service Systems
RAMI	Reference Architecture Model Industrie 4.0
RoI	Return on Investment; Rentabilität einer Investition
s.	siehe
S.	Seite
s. S.	siehe Seite(n)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCM	Supply-Chain-Management
SDK	Software Development Kit
SITAM	Stuttgart IT-Architecture for Manufacturing
SLA	Service-Level-Agreement
SME	Small and medium-sized enterprises
SMS	Short Message Service

sog.	sogenannt(en)
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
TCO	Total Cost of Ownership
techn.	Technische
u.a.	unter anderem
URL	Uniform Resource Locator
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung
vgl.	vergleiche
WAN	Wide Area Network
X-as-a-Service	Everything as a Service
z.B.	zum Beispiel
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.