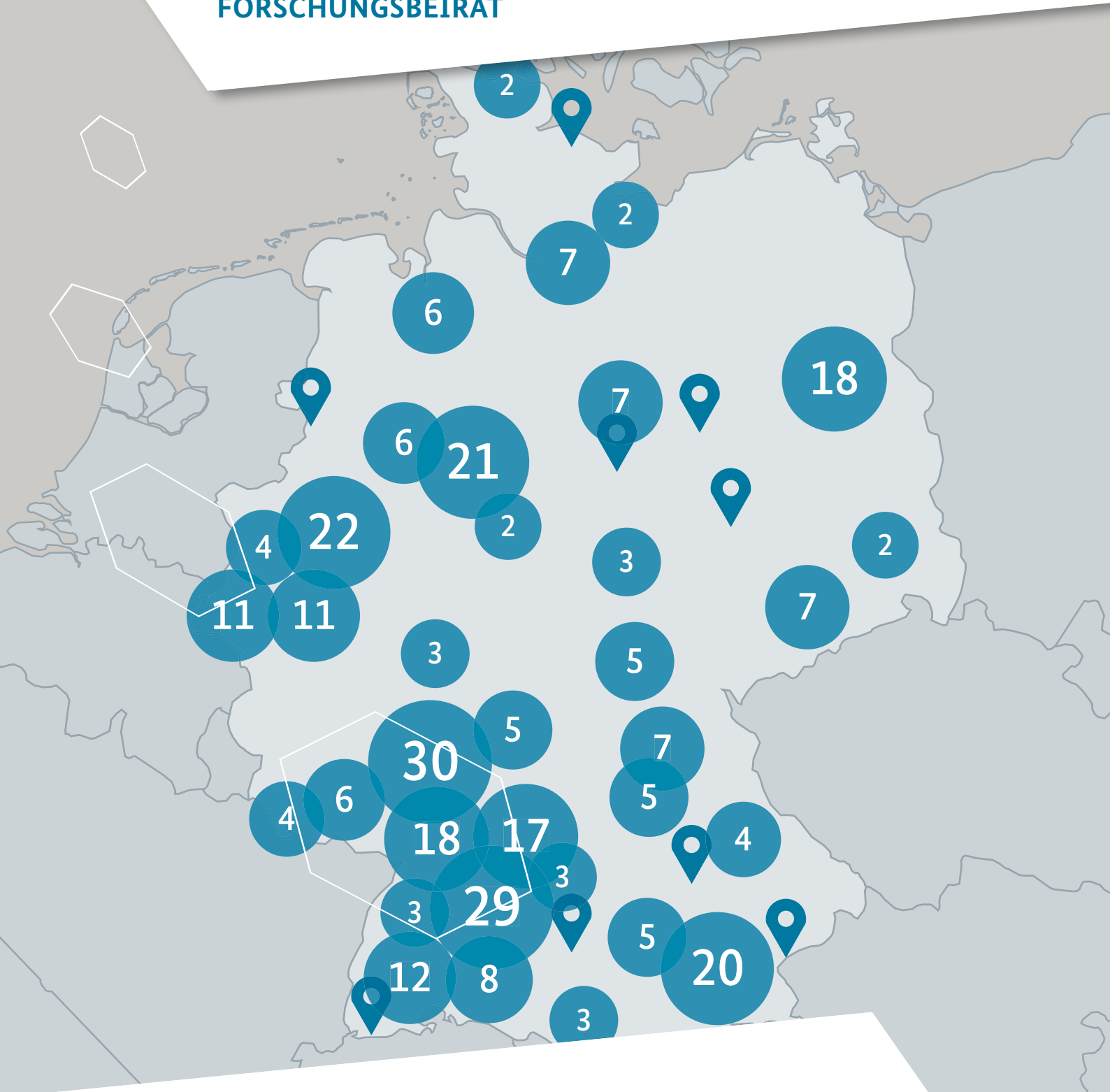


**FORSCHUNGSBEIRAT**



# Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0- Landkarte in die Anwendungsszenarien

*Alexander Fay, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel (Hrsg.)*

## Impressum

### Herausgeber

acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften  
Geschäftsstelle  
Karolinenplatz 4  
80333 München

**Gestaltung und Produktion**  
PRpetuum GmbH, München

**Bildnachweis**  
Plattform Industrie 4.0 (Titel)

**Stand**  
Januar 2018



Plattform Industrie 4.0



acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften

---

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

 **acatech**

DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

---

# Inhalt

<b>Management Summary</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Problemstellung .....	4
1.2 Zielsetzung .....	4
1.3 Vorgehensweise .....	4
<b>2 Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele</b> .....	<b>6</b>
2.1 Kurzbeschreibung der Anwendungsszenarien .....	6
2.2 Anwendungsbeispiele .....	7
2.3 Zusammenhang zwischen Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen .....	7
<b>3 Methodische Vorgehensweise</b> .....	<b>9</b>
<b>4 Identifikation und Auswahl charakteristischer Merkmale</b> .....	<b>10</b>
4.1 Theoretischer Hintergrund .....	10
4.2 Definition der charakteristischen Merkmale .....	12
<b>5 Bewertung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele</b> .....	<b>16</b>
<b>6 Darstellung in einer multidimensionalen Skalierung (MDS)</b> .....	<b>17</b>
6.1 MDS der Anwendungsszenarien .....	17
6.2 MDS der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele .....	22
6.3 Bewertung der entwickelten MDS .....	22
<b>7 Auswertung</b> .....	<b>26</b>
7.1 Statistische Auswertung der gesamten Anwendungsbeispiele .....	26
7.2 Auswertung der MDS und der erarbeiteten Cluster .....	27
7.3 Handlungsempfehlungen .....	28
7.4 Ordnungsschema und Methodik zur Klassifizierung neuer Anwendungsbeispiele .....	29
<b>Literatur</b> .....	<b>32</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele .....	3
Abbildung 2: Struktur des Abschlussberichts .....	5
Abbildung 3: Gegenüberstellung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen .....	8
Abbildung 4: Vorgehen zur Zusammenführung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen .....	9
Abbildung 5: Einflussmatrix der Merkmale zur Beschreibung von Anwendungsszenarien und -beispielen .....	10
Abbildung 6: Darstellung der Ergebnisse aus der Einflussmatrix in einem Systemgrid zur Identifikation der zentralen, charakteristischen Merkmale .....	11
Abbildung 7: Ausschnitt aus der Bewertung der Anwendungsszenarien mit Hilfe der charakteristischen Merkmale .....	16
Abbildung 8: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien .....	17
Abbildung 9: Clusterung der charakteristischen Merkmale zur Entwicklung der Hauptunterscheidungsmerkmale .....	18
Abbildung 10: Einbringen der Hauptunterscheidungsmerkmale in die multidimensionale Skalierung .....	19
Abbildung 11: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Kundenfokus .....	19
Abbildung 12: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Datenhoheit .....	20
Abbildung 13: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Systemeigenständigkeit .....	21
Abbildung 14: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Schnittstellen .....	21
Abbildung 15: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele .....	22
Abbildung 16: Kategorien von Anwendungs- (blau dargestellt) und Produktbeispielen (grün dargestellt) .....	26
Abbildung 17: Reifegrad der Anwendungsbeispiele .....	27
Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Anwendungsbeispiele .....	27
Abbildung 19: Anzahl der Anwendungsbeispiele in den Clustern .....	28
Abbildung 20: Übersicht über das Ordnungsschema .....	30
Abbildung 21: Einordnung des Anwendungsbeispiels in eines der 24 identifizierten Cluster .....	30

# Management Summary

Die Arbeitsgruppe zwei (AG2) der nationalen „Plattform Industrie 4.0“ (<http://www.plattform-i40.de>) hat mit ihren Anwendungsszenarien die Vision der deutschen Industrie von ihrer digitalen Zukunft beschrieben. Ein Anwendungsszenario stellt eine generische Beschreibung eines Problems bzw. einer Herausforderung eines Anwenders (Leitmarkt) dar. In der Regel sind bei einer Umsetzung auch Anbieter (Leitanbieter) involviert. Das Spektrum der insgesamt neun betrachteten Anwendungsszenarien reicht dabei von der auftragsgesteuerten Produktion über die innovative Produktentwicklung bis hin zur selbstorganisierenden adaptiven Logistik.

Parallel dazu haben Industrieunternehmen über 280 Anwendungsbeispiele auf der Industrie 4.0-Landkarte der Plattform veröffentlicht, die bereits heute realisiert und getestet werden. Ein Anwendungsbeispiel ist jeweils die Beschreibung einer möglichen Lösung oder einer konkreten Umsetzung für einen Anwender (Leitmarkt). Damit bietet die „Plattform Industrie 4.0“ die umfangreichste und bekannteste Sammlung in der Praxis realisierter Industrie 4.0-Anwendungen.

Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele existierten bisher isoliert voneinander. Mit dem Projekt „Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien (EiBILA)“ ist nun der Brückenschlag erfolgt, indem Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele in einer gemeinsamen Klassifizierung miteinander verbunden wurden.

Ziel des Projektes war die Herstellung von Beziehungen zwischen den 280 Beispielen und den Anwendungsszenarien. Ein weiteres Ziel war die Beantwortung der Fragestellung, inwiefern die Industrie 4.0-Landkarte ein konsistentes Bild der Anwendungsszenarien darstellt.

Zur Analyse der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele wurden 30 charakteristische Merkmale identifiziert. Diese wurden nach einer Prüfung auf gegenseitigen Einfluss und Relevanz auf 17 charakteristische Merkmale reduziert. Beispiele für diese charakteristischen Merkmale sind „datengetriebene Services“, „digitale Mensch-Mensch-Kommunikation“ oder „Einbindung des Kunden“. Im nächsten Schritt wurden die Anwendungsszenarien und -beispiele mit Hilfe der 17 charakteristischen Merkmale bewertet. Die Resultate wurden in einer multidimensionalen Skalierung visualisiert.

Die Bewertungen aller Anwendungsbeispiele wurden ebenfalls in einer multidimensionalen Skalierung dargestellt. Zur Aggregation der 280 relevanten Anwendungsbeispiele

wurden 24 Cluster gebildet. Beispielhafte Cluster sind „kognitive Unterstützung“, „Smart Factory“ oder „wandlungsfähige Arbeitssysteme“.

Weiterhin wurden die fünf Hauptunterscheidungsmerkmale „Entwicklungsnähe“, „Schnittstellen“, „Systemeigenständigkeit“, „Datenhoheit“ und „Kundenfokus“ herausgearbeitet. Diese stellen die Hauptunterschiede zwischen unterschiedlichen Positionen von Anwendungsszenarien und -beispielen auf der multidimensionalen Skalierung dar. Die multidimensionale Skalierung ist in Abbildung 1 dargestellt.

## Folgende Befunde ergeben sich aus der Analyse:

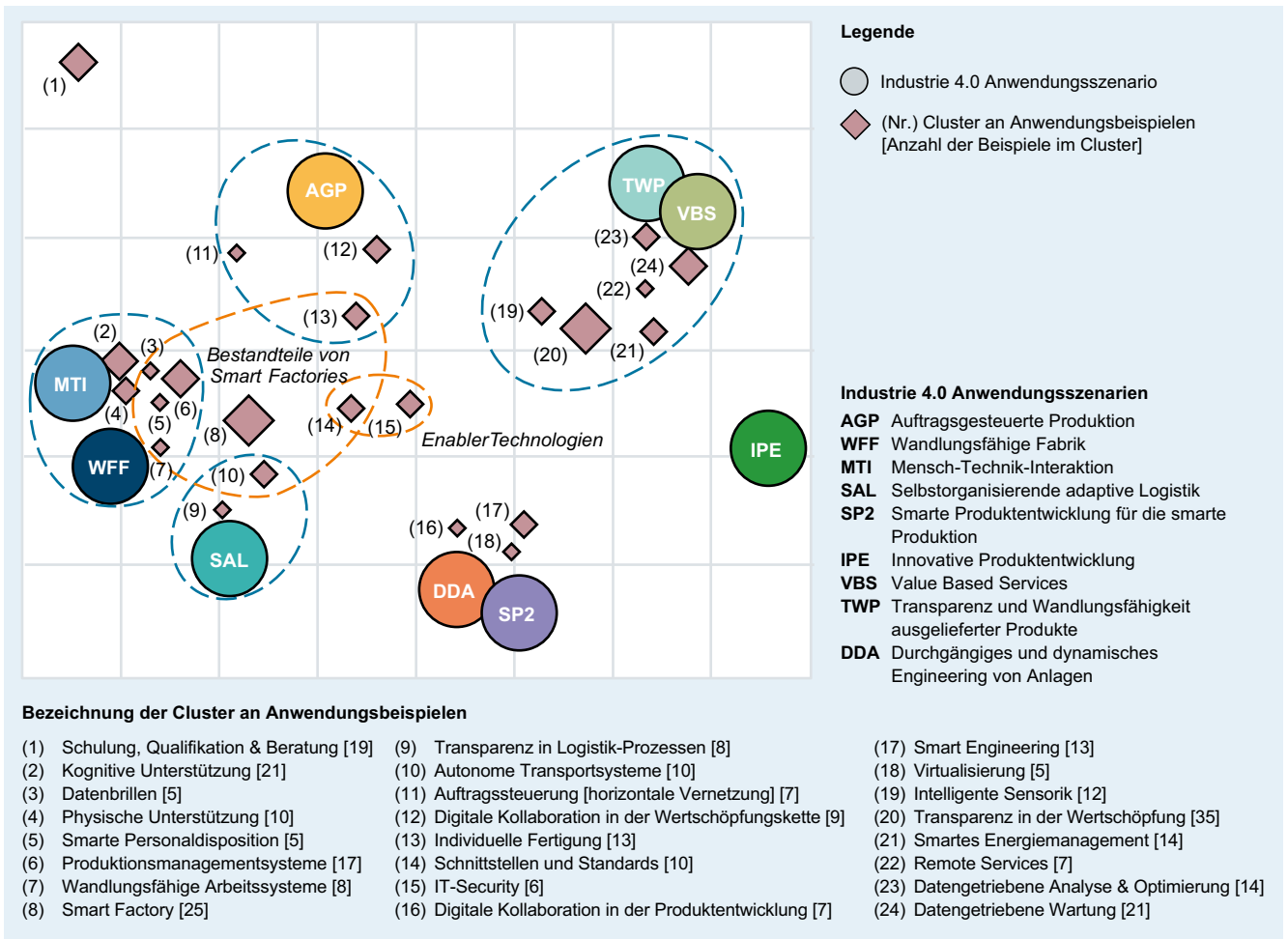
Auf der linken Seite der multidimensionalen Skalierung (MDS) sind produktionsnahe Szenarien und auf der rechten Seite sind produktnahe Szenarien. Nur die Szenarien „durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ (DDA) und „Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ (SP2) sowie die Szenarien „Transparenz & Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“ (TWP) und „Value Based Services“ (VBS) liegen sehr nahe beieinander.

Die Anwendungsbeispiele der Industrie 4.0-Landkarte lassen sich mit Hilfe von 24 Clustern sinnvoll zusammenfassen. Die Cluster an Anwendungsbeispielen liegen überwiegend in der Nähe von Szenarien und lassen sich so zuordnen. Ausschließlich das Cluster „Schulung, Qualifikation und Beratung“ lässt sich nicht sinnvoll zuordnen, da die Szenarien einen technologischen Fokus haben. Die Cluster „IT-Security“ und „Schnittstellen und Standards“ liegen in der Mitte aller Szenarien. Die darin enthaltenen Beispiele sind für alle Szenarien relevant. Sie sind Enabler- bzw. Querschnittstechnologien. Auf der linken Seite der MDS liegen Anwendungsbeispiele zwischen den Szenarien. Diese stellen Smart Factories an sich, oder Elemente von Smart Factories dar.

In Summe zeigt die MDS eine Anhäufung der Anwendungsbeispiele bei den Anwendungsszenarien. Eine Ausnahme stellte das Anwendungsszenario „Innovative Produktentwicklung“ (IPE) dar. Für dieses Szenario existiert kein Anwendungsbeispiel auf der Industrie 4.0-Landkarte.

Die abschließende statistische Auswertung ergab, dass der Großteil der Anwendungsbeispiele in kleinen und sehr großen Unternehmen realisiert wird. In mittleren Unternehmen ist die Anzahl der umgesetzten Anwendungsbeispiele deutlich geringer. Der Entwicklungsstand der Anwendungsbeispiele variiert sehr stark. Unabhängig davon lässt sich eine starke regionale Ungleichverteilung der Anwendungsfälle feststellen.

Abbildung 1: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele



**Folgende Handlungsempfehlungen ergeben sich aus der Analyse:**

- Aufnahme der im Rahmen dieser Arbeit identifizierten 24 Anwendungscluster als Kategorien in die Industrie 4.0-Landkarte. Eine ergänzende Filterfunktion soll die Suche nach den Kategorien mit entsprechenden Beispielen vereinfachen. Neue Anwendungsbeispiele sind in die Kategorien einzuordnen.
- Jedem Anwendungsbeispiel sind ein oder mehrere passende Anwendungsszenarien auf Basis der Ergebnisse der MDS in Abbildung 1 zuzuordnen. Dies dient dem Anwender als Orientierungshilfe.
- Jedem Anwendungsszenario sind die passenden Anwendungsbeispiele zuzuordnen.
- Implementierung eines mit der dargestellten Vorgehensweise konsistenten Ordnungsschemas zur Aufnahme und Kategorisierung neuer Anwendungsbeispiele in die Landkarte. Ein entsprechendes Ordnungsschema wird in Kapitel 4.2 vorgeschlagen.
- Etablieren eines redaktionellen Prozesses u. a. zur Einordnung von Testbeds bzw. Testzentren und Schulungen bzw. Informations- und Unterstützungsangeboten in die Landkarte.
- Schaffung einer klareren Untergliederung in Anwender und Anbieter bzw. Leitmarkt und Leitanbieter.
- Analyse von Anwendungsszenarien hinsichtlich weiteren Forschungsbedarfs. Dies gilt insbesondere für das Szenario „Innovative Produktentwicklung“ (IPE), bei dem keine Anwendungsbeispiele liegen. Weiterhin sind die Szenarien DDA und SP2 sowie die Szenarien TWP und VBS näher zu analysieren, da diese jeweils sehr nahe zusammenliegen.
- Definition von Enabler-Szenarien für Anwendungsbeispiele im Zentrum der MDS, welche als Grundlage für viele Szenarien fungieren.
- Weiterführende Analyse der definierten Cluster an Anwendungsbeispielen. Die Datengrundlage lassen Analysen z. B. hinsichtlich Reife der Technologien, der Branchen etc. zu.

# 1 Einleitung

Auf der „Plattform Industrie 4.0“ der Bundesministerien für Wirtschaft und Energie sowie Bildung und Forschung sind deutschlandweit derzeit 280 Praxisbeispiele für bereits bestehende Industrie 4.0-Lösungen und -Anwendungen auf einer Landkarte gesammelt und vorgestellt. Damit stellt die „Plattform Industrie 4.0“ die umfangreichste und bekannteste Sammlung in der Praxis umgesetzter Industrie 4.0-Anwendungen dar. Grundlage der Plattform sind Unternehmen, die ihre erfolgreichen Industrie 4.0-Implementierungen beispielhaft einstellen und präsentieren.

Parallel wurden in den letzten Jahren in der Arbeitsgruppe zwei (AG2) der „Plattform Industrie 4.0“ Anwendungsszenarien entwickelt, welche beschreiben, wie in Zukunft Industrie 4.0-Lösungen in verschiedenen Wertschöpfungsketten und Nutzungskonzepten Anwendung finden können.

## 1.1 Problemstellung

Die formulierten Anwendungsszenarien der AG2 sind bewusst abstrakter und generischer Natur und inhaltlich breit ausgearbeitet. Dieser Umstand erschwert konkrete Rückschlüsse auf die betriebliche Praxis. Des Weiteren sind die Anwendungsszenarien thematisch hinsichtlich zukünftiger Industrie 4.0-Themen ausgerichtet. Sie bieten daher kein 1:1-Abbild des Status quo der Industrie 4.0-Umsetzungen bei den Anwendern.

Die online verfügbare Industrie 4.0-Plattform (<http://www.plattform-i40.de>) mit Landkarten-Darstellung bietet Nutzern aktuell eine deutschlandweit regional aufgeteilte Ansicht der Industrie 4.0-Anwendungen. Die Problematik liegt hierbei in den unzureichenden Filteroptionen, die eine gezielte Suche nach speziellen Themen für den Nutzer aufwändig gestalten. Darüber hinaus liegen bisher keine Erkenntnisse vor, ob die Praxisbeispiele auf bestimmte Anwendungsfelder konzentriert sind, oder ob sie ein konsistentes Bild der durch die Anwendungsszenarien aufgestellten Anwendungsmöglichkeiten darstellen und bedienen.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieses Projektes war die „Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien (EiBILA)“ der AG2. Durch diese Verbindung zwischen Anwendungsszenarien und Praxisbeispielen sollten folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Wie nah liegen die beschriebenen Szenarien zum aktuellen Stand der Industrie 4.0-Umsetzungen in den Unternehmen?
- Liefert die Landkarte ein konsistentes Bild über alle Anwendungsszenarien?
- Gibt es Anwendungsszenarien, zu denen besonders viele oder besonders wenige Praxisbeispiele in der Industrie existieren? Lassen sich hieraus konkrete Handlungsempfehlungen ableiten?
- Gibt es Praxisbeispiele, die keinem der Anwendungsszenarien eindeutig zugeordnet werden können?
- Wie müsste ein Ordnungsschema für die „Plattform Industrie 4.0“ aussehen, mit dem (neue) Projekte auf der Landkarte besser klassifiziert werden können und Nutzer gezielter für sie relevante Praxisbeispiele finden?

## 1.3 Vorgehensweise

Abbildung 2 verdeutlicht die gewählte Vorgehensweise von der Definition der Herausforderung bis zur Umsetzung des skizzierten Vorhabens. Dieser Vorgehensweise folgt auch die Struktur dieses Berichts.

In der Einleitung werden Problemstellung und Zielsetzung des Forschungsprojekts „Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien“ erläutert. Das Kapitel „Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele“ beschreibt die unabhängig voneinander erstellten Anwendungsszenarien, die durch die

Abbildung 2: Struktur des Abschlussberichts

<b>1. Einleitung</b>	Beschreibung der Problemstellung und Zielsetzung
<b>2. Anwendungsszenarien und -beispiele</b>	Beschreibung der Anwendungsszenarien und -beispiele
<b>3. Methodik</b>	Beschreibung der methodischen Vorgehensweise der Arbeit
<b>4. Charakteristische Merkmale</b>	Identifikation und Auswahl von charakteristischen Merkmalen
<b>5. Bewertung</b>	Bewertung der Anwendungsszenarien und -beispiele mit Hilfe der charakteristischen Merkmale
<b>6. Multidimensionale Skalierung</b>	Darstellung der Anwendungsszenarien und -beispiele in einer multidimensionalen Skalierung
<b>7. Auswertung</b>	Beschreibung der Resultate und Handlungsempfehlungen aus der multidimensionalen Skalierung

AG2 der „Plattform Industrie 4.0“ entwickelt wurden und die Anwendungsbeispiele der Industrie 4.0-Landkarte. Das Kapitel „Methodische Vorgehensweise“ erläutert die methodische Vorgehensweise zur Abgrenzung, Beurteilung und Einordnung bzw. Darstellung der aggregierten Ergebnisse. Im darauffolgenden Kapitel „Bewertung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele“ werden die charakteristischen Merkmale identifiziert und qualitativ ausgewählt. Im Anschluss daran erfolgt die Bewertung der Anwendungsbeispiele. Im Kapitel „Darstellung in einer multidimensionalen Skalierung“ werden die Anwendungsszenarien und -beispiele in einer multidimensionalen Ska-

lierung dargestellt und somit der Zusammenhang grafisch abgebildet.

Abschließend werden die Auswertung und abgeleitete Handlungsempfehlungen dokumentiert. Das Kapitel „Auswertung“ gliedert sich in „Statistische Auswertung der gesamten Anwendungsbeispiele“ und „Auswertung der MDS und der erarbeiteten Cluster“. Die darauffolgenden Abschnitte „Handlungsempfehlungen“ und „Ordnungsschema und Methodik zur Klassifizierung neuer Anwendungsbeispiele“ erläutern die Interpretation und Analyse der Ergebnisse des Forschungsprojekts.



## 2 Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele

Im Folgenden werden die Anwendungsszenarien von Industrie 4.0 sowie die Anwendungsbeispiele der Industrie 4.0-Landkarte vorgestellt. Sie stellen die Grundlage für diese Arbeit dar.

### 2.1 Kurzbeschreibung der Anwendungsszenarien

Industrie 4.0 ist ein hochkomplexes Thema, das viele unterschiedliche Interessengruppen betrifft, die sich jeweils aus unterschiedlichen Perspektiven mit diesem Thema beschäftigen. Im Kern bezeichnet Industrie 4.0 eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten und postuliert, dass diese neue Stufe mit den Mitteln der Digitalisierung erreicht werden kann.<sup>1</sup> Um den verschiedenen Interessengruppen und insbesondere den Anwendern und Nutzern das Thema Industrie 4.0 zu veranschaulichen, hat die AG2 „Forschung und Innovation“ der Plattform Industrie 4.0 verschiedene Anwendungsszenarien entwickelt, die mögliche praktische Umsetzungen im Rahmen von Industrie 4.0 darstellen.

„Anwendungsszenarien sind eine generische allgemeine Beschreibung eines Problems bzw. eines Anwenders (Leitmarkt). Es umreißt den geschäftlichen Rahmen, insbesondere in Form des Wertschöpfungsnetzes und der Business pain points.“<sup>2</sup>

Durch diesen Use-Case-basierten Ansatz (Anwendungsszenarien) stellt die Plattform Industrie 4.0 den Anwendern und Nutzern von Industrie 4.0 eine Auswahl verschiedener Use-Cases zur Verfügung, aus denen sich die Anwender und Nutzer die jeweils passenden und relevanten Use-Cases oder auch Aspekte selektieren können. Diese Anwendungsszenarien besitzen einen hohen Abstraktionsgrad, sodass sie für verschiedenste Branchen adaptierbar und somit für einen Großteil der Interessensgruppen relevant sind.

Aktuell verfolgt die AG2 neun Anwendungsszenarien, die letztmalig im November 2016 durch das Ergebnispapier „Fortentwicklung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0“<sup>1</sup> aktualisiert wurden. Diese werden im Folgenden gemäß dem Ergebnispapier skizziert:

- **Auftragsgesteuerte Produktion (AGP):** Dieses Anwendungsszenario stellt den Auftrag in den Mittelpunkt und beschreibt, wie die notwendigen Produktionsressourcen dynamisch für einen Auftrag zusammengestellt werden.
- **Wandlungsfähige Fabrik (WFF):** Dieses Anwendungsszenario stellt eine Produktionsressource – in Abgrenzung zum Anwendungsszenario AGP, wo der Auftrag im Fokus steht – in den Mittelpunkt und beschreibt, wie diese im Hinblick auf Wandlungsfähigkeit gestaltet werden kann und welche Konsequenzen dies für den Lieferanten der Produktionsressource sowie den Systemintegrator hat.
- **Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL):** Dieses Anwendungsszenario ist eng verknüpft mit dem Anwendungsszenario AGP, fokussiert dabei aber auf die gesamte Inter- und Intra-logistik.
- **Value Based Services (VBS):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt, wie sich das Wertschöpfungsnetz im Service gestalten lässt, wenn entsprechende Produkt- und/oder Prozess-Informationen über eine IT-Plattform zur Verfügung gestellt werden.
- **Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte (TWP):** Dieses Anwendungsszenario stellt ein Produkt – in Abgrenzung zum Anwendungsszenario VBS, wo das Wertschöpfungsnetz im Fokus steht – in den Mittelpunkt und beschreibt, wie Transparenz und Wandlungsfähigkeit von ausgelieferten Produkten über eine IT-Plattform gestaltet werden können.
- **Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion (MTI):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt, wie zukünftig ein Operator in der Produktion durch neue Technologien unterstützt werden kann.
- **Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion (SP2):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt kollaboratives Produkt-Engineering, um ausgehend von den Produkthanforderungen den Engineering-Prozess durchgängig zu gestalten und die notwendigen Informationen der Produktion und dem Service zur Verfügung zu stellen.

1 vgl. AG Forschung und Innovation 2016 (b) – Die jeweils aktuellen Langfassungen der Anwendungsszenarien können per E-Mail an [geschaeftsstelle@plattform-i40.de](mailto:geschaeftsstelle@plattform-i40.de) bei der Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0 angefordert werden.

2 vgl. AG Forschung und Innovation 2016 (b), S. 4.



- **Innovative Produktentwicklung (IPE):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt neue Methoden und Prozesse bei der Produktentwicklung und fokussiert dabei auf die frühen Phasen der Produktentwicklung.
- **Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen (DDA):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt, dass in einem initialen Engineering-Prozess zur Errichtung einer Anlage ein integrierendes Anlagenmodell entsteht, das dann über den Lebensweg der realisierten Anlage in permanent ineinandergreifenden Vorgängen zwischen Engineering, Betrieb und Service der Anlage gepflegt und konsistent gehalten wird.

In diesem Zusammenhang wurden ebenfalls zwei weitere Anwendungsszenarien, Kreislaufwirtschaft (KRW) und Additive Manufacturing (ADM), entwickelt. Beide Szenarien wurden nicht in die vorliegende Untersuchung mit eingebunden – das Szenario Kreislaufwirtschaft wird von der AG2 zukünftig nicht weiterverfolgt, zum Additive Manufacturing lagen zum Start des Forschungsprojektes noch keine weiteren Informationen vor.

Für eine detaillierte Beschreibung der Anwendungsszenarien sei an dieser Stelle auf das Ergebnispapier „Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0“ verwiesen sowie auf die entsprechenden Langfassungen der Anwendungsszenarien.<sup>3</sup>

## 2.2 Anwendungsbeispiele

Anwendungsbeispiele sind die Beschreibung möglicher Lösungen eines aufgespannten Problemraumes. Sie beinhalten konkrete Umsetzungen für einen Anwender, bei der in der Regel auch Anbieter zur Realisierung dieses konkreten Beispiels involviert sind.<sup>3</sup>

Die Plattform Industrie 4.0 bietet über ihre Homepage auf einer Landkarte<sup>4</sup> über 280 Beispiele aus der Praxis für in Deutschland bestehende Industrie 4.0-Lösungen und -Anwendungen und ist damit die umfangreichste und bekannteste veröffentlichte Sammlung in der Praxis umgesetzter Industrie 4.0-Anwendungen. Grundlage dieser Landkarte sind Unternehmen, die ihre erfolgreichen

Industrie 4.0-Implementierungen beispielhaft einstellen und somit der Öffentlichkeit präsentieren.

Prinzipiell lassen sich die eingetragenen Projekte in Anwendungsbeispiele und Produktbeispiele unterscheiden. Anwendungsbeispiele zeichnen sich dadurch aus, dass unterschiedliche Aspekte von Industrie 4.0 umgesetzt wurden. Produktbeispiele sind hingegen konkrete Technologien oder Methoden, die eingesetzt werden können, um Aspekte von Industrie 4.0 zu realisieren.

## 2.3 Zusammenhang zwischen Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen

Grundlage der vorliegenden Arbeit waren die Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele von Industrie 4.0. Im Rahmen der Studie „Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien“ wurden 9 Anwendungsszenarien erarbeitet. Diese stellen den Problembereich von Industrie 4.0 dar. Parallel dazu wurden 280 Anwendungsbeispiele (Stand: 1. Mai 2017) auf der Industrie 4.0-Landkarte gesammelt. Diese stellen den Lösungsbereich von Industrie 4.0 dar. Die Ergebnisse wurden separat erarbeitet und strukturiert. Es wurde davon ausgegangen, dass die Anwendungsbeispiele den Anwendungsszenarien zugeordnet werden können. Dargestellt ist dies in Abbildung 3.

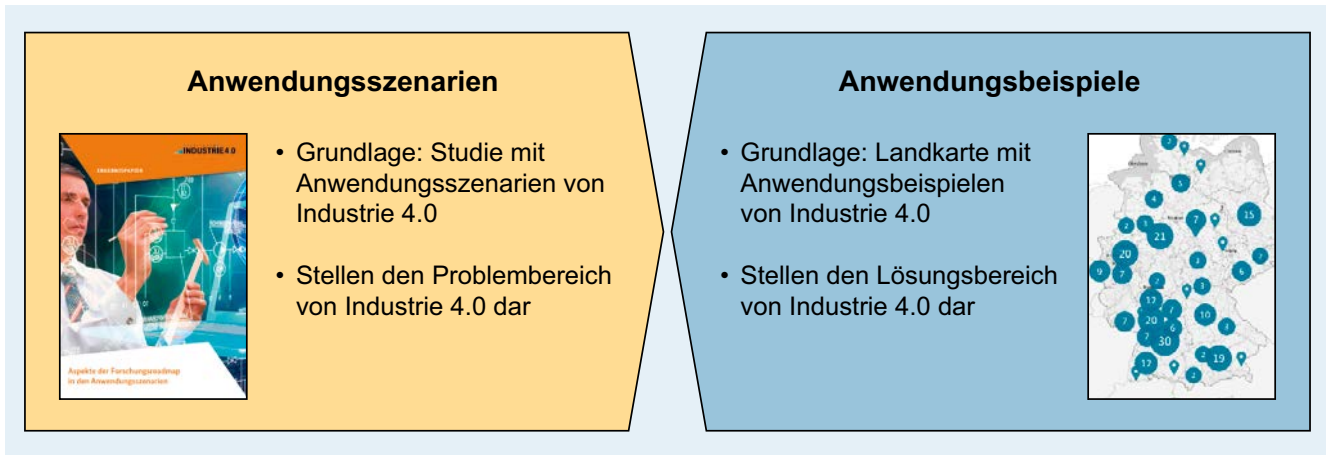
Zu Beginn dieses Forschungsprojektes existierten dieser Problem- und Lösungsbereich unabhängig voneinander. Es wurden bisher keine Untersuchungen durchgeführt, in welchem Zusammenhang die Anwendungsbeispiele der Industrie 4.0-Landkarte mit den entwickelten Anwendungsszenarien stehen. Eine Kenntnis über bestehende Zusammenhänge ist aber aus verschiedenen Gründen sinnvoll:

- Nutzer der Industrie 4.0-Landkarte könnten für sie relevante Anwendungsszenarien direkt mit passenden Beispielen in Verbindung bringen.

<sup>3</sup> vgl. AG Forschung und Innovation 2016 (b).

<sup>4</sup> Abrufbar unter: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/Karte/SiteGlobals/Forms/Formulare/karte-anwendungsbeispiele-formular.html>.

Abbildung 3: Gegenüberstellung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen



- Gremien und Organe der Plattform Industrie 4.0 könnten erkennen, zu welchen Anwendungsszenarien bislang noch keine oder eher wenig Beispiele auf der Landkarte zu finden sind. Daraus kann zum einen konkreter Handlungs- bzw. Forschungsbedarf abgeleitet werden. Zum anderen können gezielt geeignete Beispiele akquiriert bzw. erarbeitet werden, um der Öffentlichkeit ein konsistentes Bild zu liefern.
- Lücken in den bestehenden Anwendungsszenarien können identifiziert werden.

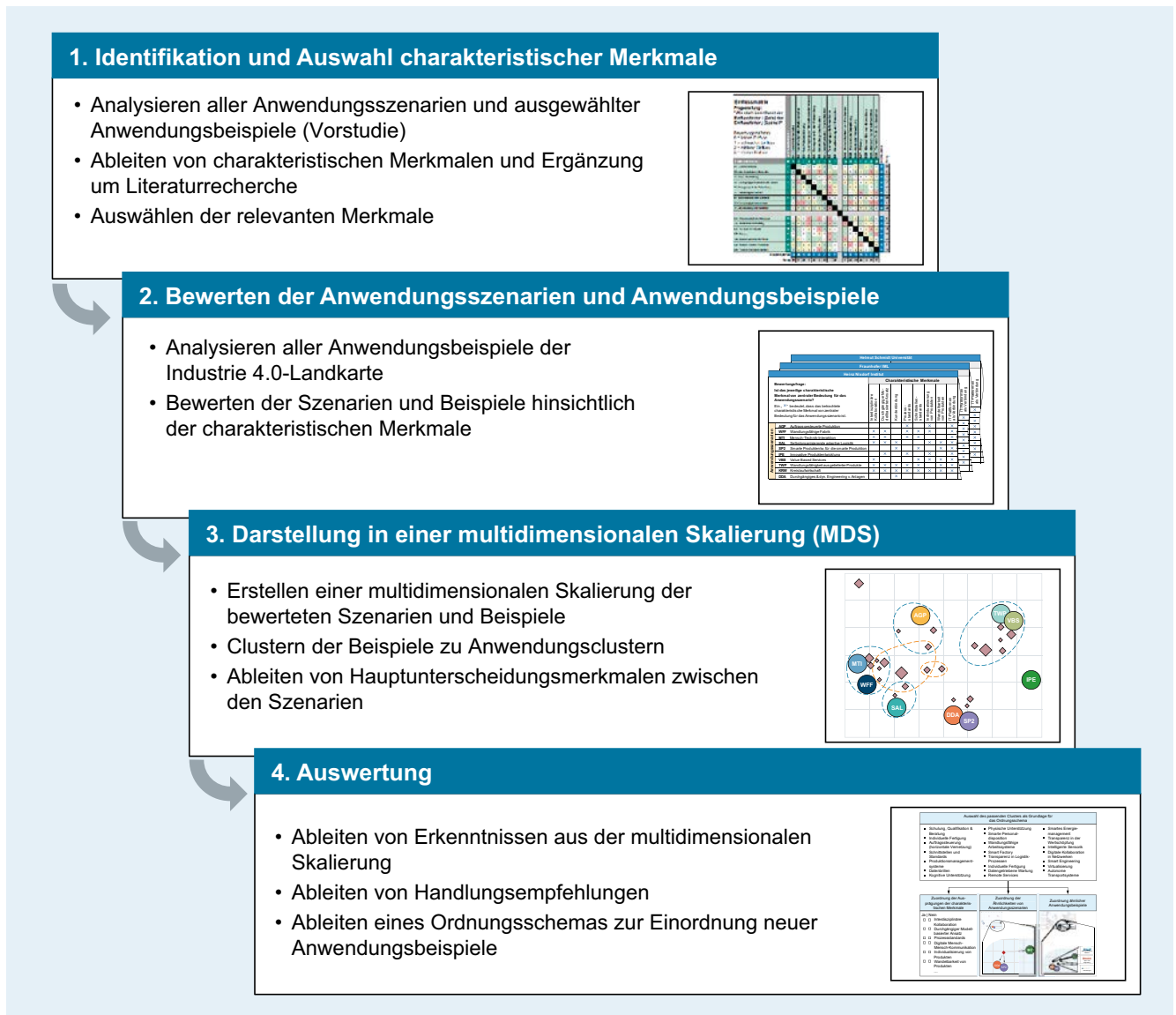
Auf Basis der Ergebnisse kann herausgearbeitet werden, welche aktuellen Beiträge im Hinblick auf die Innovations- und Umsetzungsstrategie bereits vorliegen und wie weit der aktuelle Stand der Technik noch von den beschriebenen Anwendungsszenarien entfernt ist. Daraus könnten geeignete Maßnahmen im Rahmen der Umsetzungsstrategie abgeleitet werden und zukünftiger Forschungsbedarf ermittelt werden.

# 3 Methodische Vorgehensweise

Zur Klassifikation der Anwendungsszenarien und -beispiele wurde methodisch innerhalb von vier Phasen eine multidimensionale Skalierung erstellt und bewertet. Ziel dieser multidimensionalen Skalierung ist es, die mehrdimensional beschriebenen Anwendungsszenarien und -beispiele räumlich derart anzuordnen, dass ähnliche Anwendungsbeispiele und Anwendungsszenarien nahe beieinanderliegen und verschiedenartige Anwendungsbeispiele und Anwendungsszenarien mit größerem Abstand voneinander entfernt angeordnet werden. Dies ermöglicht eine objektive Beurteilung der Ähnlichkeit von Anwendungsbeispielen zu den Anwendungsszenarien.

Die vier Phasen der Methode sind wie folgt gegliedert: Die erste Phase dient der Identifikation und Auswahl charakteristischer Merkmale zur Beschreibung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele. Diese Merkmale werden in Phase zwei genutzt, um die Anwendungsszenarien und -beispiele zu bewerten und somit voneinander abzugrenzen. In Phase drei werden diese Ergebnisse verarbeitet und in einer multidimensionalen Skalierung dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse in Phase vier analysiert und interpretiert. Das Vorgehen der Methode wird in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Vorgehen zur Zusammenführung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen



# 4 Identifikation und Auswahl charakteristischer Merkmale

Zur Unterscheidung der Anwendungsszenarien und der Anwendungsbeispiele wurden im Rahmen einer Vorstudie 17 charakteristische Merkmale ausgewählt und definiert. Diese bilden die Grundlage zur Beurteilung der Ähnlichkeit der entwickelten Anwendungsszenarien zu den jeweiligen Anwendungsbeispielen.

## 4.1 Theoretischer Hintergrund

Zur objektiven Unterscheidung und inhaltlichen Abgrenzung der Anwendungsszenarien voneinander werden im Rahmen einer multidimensionalen Skalierung charakteristische Merkmale benötigt, anhand derer die Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit der zu untersuchenden Objekte beurteilt werden kann.

Abbildung 5: Einflussmatrix der Merkmale zur Beschreibung von Anwendungsszenarien und -beispielen

Einflussmatrix Fragestellung: "Wie stark beeinflusst der Einflussfaktor i (Zeile) den Einflussfaktor j (Spalte)?"		Einflussfaktoren																							Aktivsumme	Rang
		Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
<b>Einflussfaktoren</b>	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
<b>B1 - Geschäftsmodelle</b>	1	1	0	0	0	2	1	1	0	1	0	2	1	3	2	0	0	0	2	1	0	1	2	20	23	
<b>B2 - Interdisziplinäre Entwicklung</b>	2	1	2	3	1	3	2	2	1	2	3	2	3	0	1	2	2	0	1	0	0	3	2	36	5	
<b>B3 - Tool-Unterstützung</b>	3	0	2	1	3	3	0	3	3	2	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	22	22	
<b>B4 - Modellbasierter Entwurf</b>	4	1	3	3	1	3	1	0	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	14	
<b>B5 - Transparenz in der Entwicklung</b>	5	1	3	2	1	3	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	26	20	
<b>B6 - Einbindung des Kunden</b>	6	3	3	0	1	3	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	37	4	
<b>B7 - Beeinflussung Time to Market</b>	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27	19	
<b>B8 - Durchgängige Informationen</b>	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	43	1	
<b>B9 - Visualisierung und Simulation</b>	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	20	
<b>B10 - Prozessstandards</b>	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30	15	
<b>B11 - Schnittstellenstandards</b>	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35	7	
<b>B12 - Individualisierung der Produkte</b>	12	3	3	1	2	1	3	2	3	2	1	0	1	1	1	3	1	0	3	0	0	0	2	32	9	
<b>B13 - IT-Plattform als Verbindung</b>	13	2	3	2	1	3	2	3	3	1	0	0	2	3	1	0	1	0	0	0	0	3	2	32	9	
<b>B14 - Verlagerung der Wertschöpfung</b>	14	3	2	1	0	0	2	2	3	0	1	0	1	3	3	0	0	2	2	1	0	1	3	30	15	
<b>B15 - Ökosystem</b>	15	3	1	0	0	2	0	3	2	0	3	3	0	2	3	3	0	2	1	0	0	2	0	30	15	
<b>B16 - Adaptive Anpassung</b>	16	0	3	2	3	2	1	0	3	2	3	3	1	0	1	2	1	3	2	1	2	2	3	39	3	
<b>B17 - Intelligenz von Systemen</b>	17	0	2	1	3	1	3	0	3	0	3	3	1	1	3	0	3	1	2	1	2	3	0	36	5	
<b>B18 - Ressourcenselbstbeschreibung</b>	18	1	2	1	3	3	0	3	3	1	1	3	2	0	0	0	3	3	1	0	0	2	3	34	8	
<b>B19 - Modularität in Maschinen</b>	19	2	3	0	0	2	3	0	2	3	1	3	2	0	0	0	3	1	0	0	2	3	2	32	9	
<b>B20 - Condition Monitoring</b>	20	0	2	0	0	2	2	0	3	2	1	3	2	1	3	0	2	1	0	0	1	2	3	32	9	
<b>B21 - Mensch-Maschine-Assistenz</b>	21	3	2	0	0	1	2	0	3	3	1	3	2	0	0	0	2	3	0	2	0	2	0	29	18	
<b>B22 - Dezentralisierung</b>	22	3	2	3	3	1	2	3	1	0	2	0	0	3	3	3	2	2	3	0	2	1	2	40	2	
<b>B23 - Dienstleistung im Fokus</b>	23	3	3	2	2	0	3	1	2	0	0	3	3	1	3	0	2	1	0	2	0	0	1	32	9	
<b>Passivsumme</b>		32	52	31	36	37	37	29	53	30	31	34	36	27	26	22	39	28	22	29	15	17	41	27		
<b>Rang</b>		10	2	11	7	5	5	14	1	13	11	9	7	17	19	20	4	16	20	14	23	22	3	17		

Umgekehrt hat die „Interdisziplinäre Entwicklung“ einen schwachen Einfluss auf die „Transparenz in der Entwicklung“

„Transparenz in der Entwicklung“ hat einen starken Einfluss auf „Interdisziplinäre Entwicklung“

Im Rahmen einer Vorstudie wurden in Summe 30 charakteristische Merkmale identifiziert, anhand derer sich die Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele voneinander abgrenzen lassen. Basis für die Identifikation der charakteristischen Merkmale bildete eine Analyse der entwickelten Anwendungsszenarien, erweitert durch eine Analyse einschlägiger Literatur sowie ausgewählter Anwendungsbeispiele. Da alle Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele anhand dieser charakteristischen Merkmale bewertet werden müssen, wurde im nächsten Schritt analysiert, ob eine Reduktion der charakteristischen Merkmale möglich ist, ohne dabei wesentliche Unterscheidungsmerkmale zu verlieren. Dies erfolgte anhand einer Einflussmatrix entsprechend Abbildung 5.

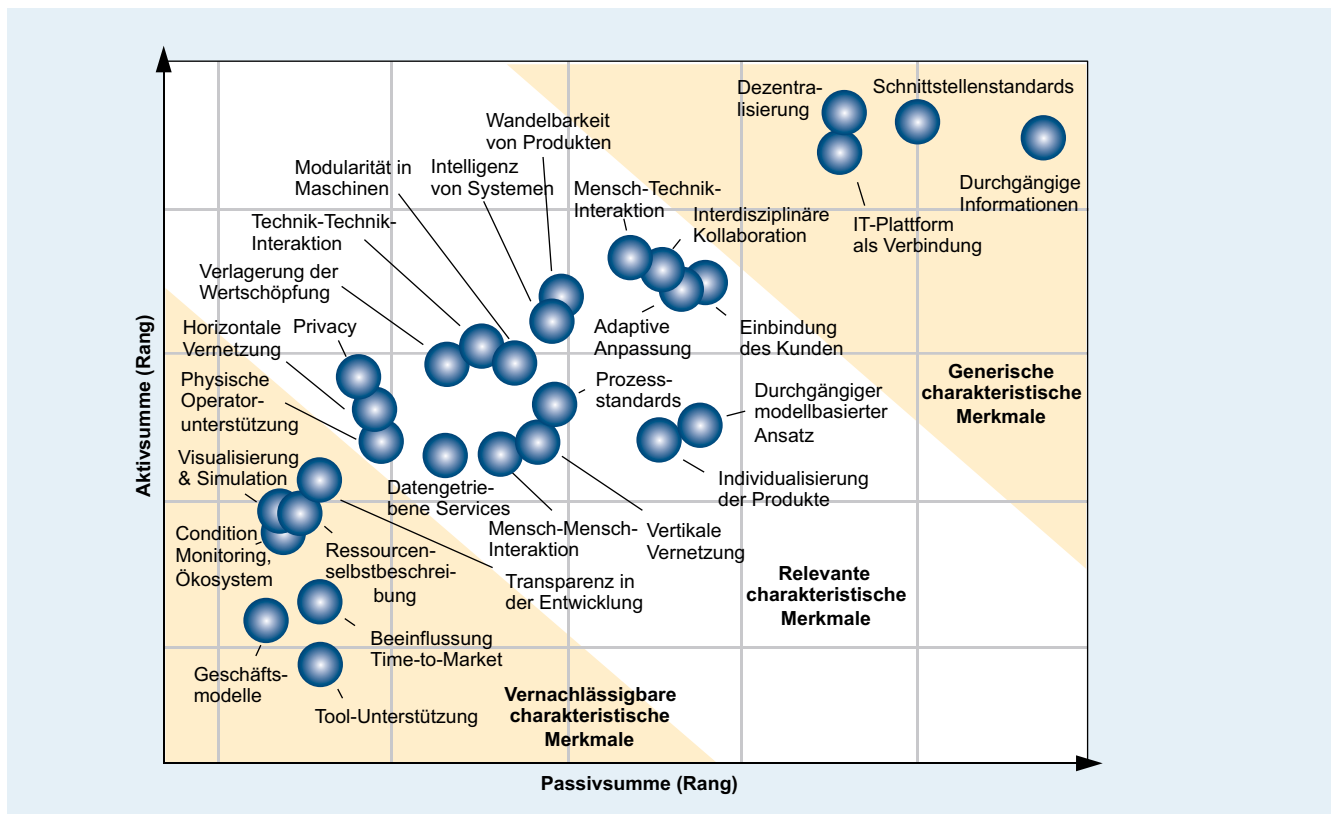
In dieser wurden alle 30 charakteristischen Merkmale sowohl in den Zeilen als auch den Spalten abgetragen und deren gegenseitiger Einfluss bewertet. Dabei reicht die Skala von „0“ für „keinen Einfluss“ bis „3“ für „starken Einfluss“. In einer Zelle der Matrix steht demnach, wie stark das charakteristische Merkmal der Zeile das charakteristische Merkmal der Spalte beeinflusst. Im aufgeführten Beispiel wird der Einfluss des charakteristischen Merkmals „Interdisziplinäre Kollaboration“ auf das charakteristische Merk-

mal „Durchgängiger Modellbasierter Ansatz“ bewertet. Dieser wurde im Rahmen des Projekts als stark bewertet. Nach dieser Logik wird der Einfluss aller Merkmale gegeneinander bewertet.

Anschließend werden die Zeilen- und Spaltensummen gebildet und der Rang der Merkmale bestimmt. Die Zeilensummen stellen dar, wie stark ein charakteristisches Merkmal alle anderen beeinflusst. Die Spaltensumme stellt dar, wie stark das betrachtete charakteristische Merkmal von allen anderen charakteristischen Merkmalen beeinflusst wird. Der Rang der charakteristischen Merkmale entspricht der Normierung nach Aktiv- und Passivsumme auf einer durchgängigen Skala. Auf Basis dieser Beurteilung wurden die charakteristischen Merkmale in einem Systemgrid in Abbildung 6 rechts visualisiert. Darin stellen die Aktiv- und Passivsummen der charakteristischen Merkmale die Koordinaten dar.

Die Analyse des erstellten Systemgrids ergab, dass eine Elimination von bestimmten charakteristischen Merkmalen ohne wesentlichen Verlust von Unterscheidungsmerkmalen möglich ist. So konnten charakteristische Merkmale mit sehr hohen Aktiv- als auch sehr hohen Passivsummen

**Abbildung 6: Darstellung der Ergebnisse aus der Einflussmatrix in einem Systemgrid zur Identifikation der zentralen, charakteristischen Merkmale**



sowie charakteristische Merkmale mit sehr niedrigen Aktiv- als auch sehr niedrigen Passivsummen eliminiert werden. Die zuerst genannten charakteristischen Merkmale konnten eliminiert werden, da diese in anderen Merkmalen mitberücksichtigt sind. Die Merkmale mit den geringen Aktiv- und Passivsummen konnten eliminiert werden, da diese aufgrund ihres geringen Einflusses nicht für eine Unterscheidung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele geeignet sind. Aus dieser Reduktion ergaben sich schließlich 17 charakteristische Merkmale, die sich zur Unterscheidung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen eignen.

## 4.2 Definition der charakteristischen Merkmale

Im Folgenden werden die 17 identifizierten charakteristischen Merkmale zur Unterscheidung der Anwendungsszenarien und der Anwendungsbeispiele definiert und ihre jeweilige Zielsetzung dargestellt.

### Datengetriebene Services

Datengetriebene Services beschreiben, in ihrer Kernkompetenz und ihrer Grundlage von Wertschöpfung in allen Industriezweigen, das Sammeln und analytische Auswerten von Daten zur Generierung neuer Services.<sup>5</sup> Das Ziel datengetriebener Services ist die Komplementierung klassischer physischer Produkte mit Hilfe von datenbasierten, serviceorientierten Geschäftsmodellen der Smart Service Welt.<sup>6</sup>

### Digitale Mensch-Mensch-Kommunikation

Digitale Mensch-Mensch-Kommunikation beschreibt den Austausch von Nachrichten und Informationen über einen digitalen Informationskanal. Dabei werden die zuerst analog vorliegenden Informationen digitalisiert, kodiert, übermittelt und beim Empfänger anschließend dekodiert und subjektiv interpretiert. Das Ziel digitaler Mensch-Mensch-Kommunikation ist es, eine entfernungs- und zeitunabhängige (virtuelle) sowie protokollierte Kommunikation von Menschen als Kommunikationspartnern zu realisieren.<sup>7</sup>

### Digitale Mensch-Technik-Kommunikation

Digitale Mensch-Technik-Kommunikation beschreibt das Zusammenwirken der Bereiche „Bedienkonzept“ (Software-technik, Ergonomie und intelligente Systeme) und „Schnittstellentechnologie“ (Mustererkennung, Signal-, Sprach- und Bildverarbeitung) in interaktiven Systemen. Ein Beispiel für die Mensch-Technik-Kommunikation ist im privaten Bereich z. B. die Nutzung von Hörimplantaten oder am Körper getragener Sensorik. Hierbei bedarf es i. d. R. individueller Konfiguration und des kontinuierlichen Austausches zwischen Mensch und Technik. Im industriellen Bereich dienen kollaborative Roboter zur digitalen Mensch-Technik-Kommunikation. Diese erfordern eine individuelle Gestaltung und Anpassung an verschiedene Nutzergruppen bei Design und Entwicklung, um optimale Rahmenbedingungen zu erreichen. Das Ziel digitaler Mensch-Technik-Kommunikation ist die effiziente Interaktion zwischen Mensch und Techniksystem.<sup>8</sup>

### Digitale Technik-Technik-Kommunikation

Digitale Technik-Technik-Kommunikation beschreibt den Prozess ein- oder wechselseitiger Abgabe, Übermittlung und Aufnahme von Informationen technischer Systeme. Das Ziel digitaler Technik-Technik-Kommunikation ist der standardisierte Austausch von Informationen.<sup>9</sup>

### Durchgängiger modellbasierter Ansatz

Durchgängiger modellbasierter Ansatz beschreibt alle technischen, administrativen und/oder kommerziellen Daten rund um eine Ressource oder ein Objekt, die durchgängig in einem einheitlichen Modell konsistent gehalten und jederzeit zugreifbar sind.<sup>10</sup>

Dieses Modell kann Daten über den gesamten Wertschöpfungsprozess und Lebenszyklus des Objektes oder nur zu Teilaspekten beinhalten und sowohl Typen als auch konkrete Instanzen des Objektes betreffen.

Ziel ist eine hohe Datentransparenz und effiziente Datennutzung während der Modellphasen. Somit wird eine Basis

5 vgl. Kagermann, Riemensperger, Hoke 2016, S. 7.

6 vgl. Kagermann, Riemensperger, Hoke 2016, S. 7.

7 vgl. Meinel, Sack 2009, S. 11.

8 vgl. Schenk, Rigoll 2010, S. 4.

9 vgl. Meinel, Sack 2009, S. 11.

10 vgl. Adolphs, Bedenbender, Dirzus 2015 S. 5.



geschaffen für eine effektive Zusammenarbeit und eine erhöhte Prozesssicherheit.

### Einbindung des Kunden

Einbindung des Kunden beschreibt die Integration des Kunden in den Leistungserstellungsprozess. Der Kunde kann in folgenden Rollen auftreten:

1. Leistungsträger
2. aktive Ressource
3. Innovator
4. Konkurrent
5. Kommunikator
6. Ertrags- und Kostenfaktor

Ziel der Einbindung des Kunden ist, dass der Kunde in allen Rollen an der Entwicklung und der Leistungserstellung teilhaben kann und vor allem als aktive Ressource und Innovator agiert.<sup>11 12</sup>

### Horizontale Vernetzung

Horizontale Vernetzung beschreibt die inner- wie überbetriebliche Verbindung von Prozessen, Ressourcen und IT-Systemen unterschiedlicher Elemente (z. B. Unternehmensabteilungen, Unternehmen) zur Unterstützung bzw. Durchführung von Wertschöpfungsprozessen (z. B. Fertigung, Logistik, Vermarktung, Engineering, Service).<sup>13 14 15</sup>

Durch die Einbindung von verschiedenen, geografisch fern angesiedelten Akteuren (Kunden, Lieferanten, externen

Dienstleistern und Produzenten) geht die Vernetzung über einzelne Fabrikstandorte hinaus und ermöglicht eine durchgängige und dynamische Bildung von zum Teil echtzeitfähigen Wertschöpfungsnetzwerken.<sup>16 17 18</sup> Das Ziel der horizontalen Vernetzung ist die Optimierung der Material-, Energie- und Informationsflüsse innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette.<sup>19</sup>

### Individuelle Produkte

Individuelle Produkte bezeichnen auf den einzelnen Kunden abgestimmte Marktleistungen bis hin zur Losgröße 1. Das Ziel individueller Produkte ist die Konzeption individualisierungsgerechter Produktstrukturen sowie die Gestaltung auftragsbezogener Entwicklungsprozesse, in denen die kundenspezifische Leistungsdefinition erfolgt. Enger Kundenkontakt ist hier von großer Bedeutung.<sup>20</sup>

### Intelligente Systeme

Intelligente Systeme lassen sich durch vier zentrale Eigenschaften charakterisieren:

1. Adaptiv, sie agieren mit ihrem Umfeld und passen sich diesem an.
2. Robust, sie bewältigen unerwartete und vom Entwickler nicht berücksichtigte Situationen.
3. Vorausschauend, sie antizipieren die künftigen Wirkungen von Einflüssen auf der Basis von Erfahrungswissen.
4. Benutzungsfreundlich, sie passen sich dem Benutzerverhalten an.

Das Ziel intelligenter Systeme ist, dass sich die Systeme zukünftig in der Lage befinden, sich ihrer Umgebung und den Wünschen ihrer Anwender im Betrieb anzupassen.<sup>21 22</sup>

11 vgl. Bruhn, Stauss 2009, S. 11 – 18.

12 vgl. Wecht 2004, S. 140 – 160.

13 vgl. Bischoff, Taphorn, Braun 2015.

14 vgl. BITKOM; VDMA; ZVEI 2015.

15 vgl. Bauernhansl, ten Hompel, Vogel-Heuser 2014.

16 vgl. Adolphs, Bedenbender, Dirzus 2015.

17 vgl. Roth 2016.

18 vgl. Schilling, Kempermann, Lichtblau 2014.

19 vgl. Lichtblau, Stich, Bertenrath 2015.

20 vgl. Baumberger 2007.

21 vgl. Gausemeier, Anacker, Czaja 2014, S. 4 – 7.

22 vgl. Dumitrescu 2010.



### Interdisziplinäre Kollaboration

Interdisziplinäre Kollaboration beschreibt die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch verschiedener Disziplinen. Der erhöhte Einfluss einer zunehmenden Integration von Informations- und Kommunikationstechnologie in komplexe Systeme macht die interdisziplinäre Kollaboration u. a. im Entwicklungsprozess erforderlich. Das Ziel interdisziplinärer Kollaboration ist eine erhöhte Prozesssicherheit, bei der von Anfang an alle Anforderungen zweifelsfrei geklärt sind.<sup>23</sup> <sup>24</sup> Die Verwendung interdisziplinärer Entwicklungsmethoden erleichtert die Realisierung.<sup>25</sup>

### Modulare Systeme

Modulare Systeme beschreiben die Kapselung von Funktionen und/oder Komponenten in einem Modul, das eine eigenständige Funktionseinheit bildet und im Verbund mit anderen Modulen Teil eines größeren Systems ist. Dies können sowohl Produktionsmaschinen in einem Anlagenverbund sein, aber auch Komponenten, die zusammen eine Funktion erfüllen. Das Ziel modularer Systeme ist u. a. durch Wandelbarkeit, Flexibilität und Wiederverwendbarkeit von Systemen zu ermöglichen.<sup>26</sup>

### Physische Operator-Unterstützung

Physische Operator-Unterstützung beschreibt die Vereinigung der Vorteile von Mensch und Technik: Bestimmte Arbeitsschritte laufen schneller, Ressourcen werden geschont und Fehler frühzeitig erkannt. Ziel physischer Operator-Unterstützung ist die Erleichterung der physischen Arbeit durch unterstützende Assistenzsysteme.<sup>27</sup>

### Privacy

Privacy beschreibt den Anspruch bzw. die Forderung eines Individuums nach Selbstbestimmung darüber, welche Informationen über sich selbst anderen bekannt sein sollen.<sup>28</sup>

Ziel ist die informationelle Selbstbestimmung in vernetzten Systemen sowie die Integrität und Vertraulichkeit von Daten.<sup>29</sup>

### Prozessstandards

„Prozessstandards beschreiben die Definition für ein gemeinsames Verständnis und sind Schablonen für häufig wiederkehrende Vorgänge und Abläufe.“<sup>30</sup>

Das Ziel von Prozessstandards ist die Festlegung von Sequenzen von Nachrichten und Beziehungen komplexer Abläufe sowie die Abbildung einzelner Nachrichten oder Dokumente. Prozessstandards sind dazu vorgesehen, Geschäftsprozesse zu strukturieren und zu automatisieren.<sup>31</sup>

### Verlagerung der Wertschöpfung

Verlagerung der Wertschöpfung beschreibt eine Veränderung der Rollenverteilung von beteiligten Akteuren, die durch neue Technologien der Informations- und Kommunikationstechnik hervorgerufen werden kann.

Das Ziel der Verlagerung der Wertschöpfung ist, neben der Integration verschiedener Akteure an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfung, die Übernahme und Besetzung margenträchtiger Schnittstellen.<sup>32</sup>

23 vgl. Anderl, Eigner, Sender 2012.

24 vgl. Friedenthal, Moore, Steiner 2012.

25 vgl. Bellalouna 2008.

26 vgl. VDI 2004.

27 vgl. Berndt 2014, S. 24.

28 vgl. Westin 2003, S. 431.

29 vgl. Schlapka 2010, S. 2.

30 vgl. Herfurth 2014, S. 140f.

31 vgl. Herfurth 2014, S. 140f.

32 vgl. AG Forschung und Innovation 2016.

### Vertikale Vernetzung

Vertikale Vernetzung beschreibt die Verknüpfung unterschiedlicher, unternehmensinterner Elemente und Systeme der Produktions-, Logistik- und Automatisierungstechnik sowie der IT (z. B. Produktionsmittel, Dienste) auf verschiedenen Hierarchieebenen (z. B. Akteur- und Sensorebene, Steuerungsebene oder Produktionsleitebene) zu einer durchgängigen Lösung.<sup>33 34 35</sup> Daten und Informationen können „direkt aus der Feldebene erhoben über die Steuerungs-, Leit-, Betriebs- und Unternehmensebene verarbeitet“ werden.<sup>36</sup> Die Ergebnisse werden anschließend an die technischen Systeme zurückgeliefert. Das Ziel der vertikalen Vernetzung ist die vertikale Verknüpfung der realen und der virtuellen Welt.<sup>37</sup>

### Wandelbare Produkte

Wandelbare Produkte beschreiben die Veränderungsfähigkeit von Produkten nach Auslieferung, also in der Nutzungsphase. Das Ziel „wandelbarer Produkte“ ist die rasche und gezielte Veränderungsfähigkeit von Produkten. Beispiele hierfür sind Funktionen, die über einen Zeitraum freigeschaltet werden können, oder Softwareupdates, die mehr Funktionen ermöglichen, als es sie im Auslieferungszustand gab.<sup>38</sup>

33 vgl. Kagermann, Wahlster, Helbig 2013.

34 vgl. Adolphs, Bedenbender, Dirzus 2015.

35 vgl. BITKOM; VDMA; ZVEI 2015.

36 vgl. Roth 2016.

37 vgl. Bischoff, Taphorn, Braun 2015.

38 vgl. Nyhuis, Reinhart, Abele 2008.



## 6 Darstellung in einer multidimensionalen Skalierung (MDS)

Die multidimensionale Skalierung visualisiert die Bewertung der Anwendungsszenarien und der Anwendungsbeispiele durch die charakteristischen Merkmale. Die Visualisierung verdeutlicht die inhaltliche Nähe der Anwendungsszenarien und -beispiele. Im Folgenden wird zunächst die Darstellung der Szenarien auf der MDS dargestellt. Anschließend wird hergeleitet, wie die Hauptunterscheidungsmerkmale in der MDS ermittelt wurden. Abschließend werden die Anwendungsszenarien und -beispiele gemeinsam auf der MDS dargestellt.

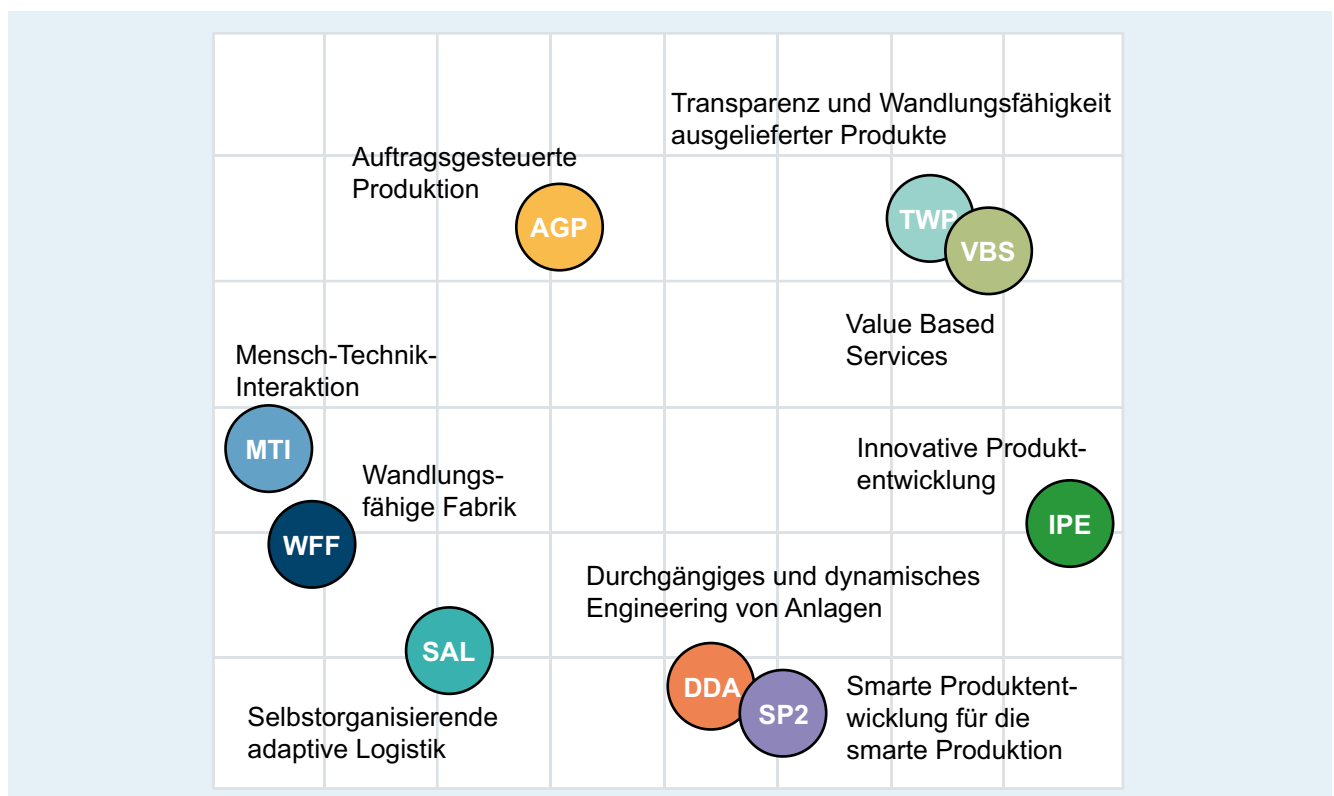
### 6.1 MDS der Anwendungsszenarien

Auf Basis der in der ersten Phase identifizierten charakteristischen Merkmale und der in Phase zwei erfolgten Bewertung der Anwendungsszenarien und der Anwendungsbeispiele konnte eine multidimensionale Skalierung erstellt werden, die die Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit der Anwendungsszenarien und der Anwendungsbeispiele anhand von räumlichen Distanzen visualisiert. Dies erfolgte zunächst für die Anwendungsszenarien.

Durch die Bewertung der Anwendungsszenarien mit den 17 charakteristischen Merkmalen sind diese als 17-dimensionaler Vektor zu interpretieren. In der multidimensionalen Skalierung wurden diese 17-dimensionalen Vektoren entsprechend ihrer relativen Abstände zueinander auf eine zweidimensionale Darstellung abgebildet. In Abbildung 8 sind die Anwendungsszenarien in einer multidimensionalen Skalierung dargestellt.

Die relativen Positionen der Anwendungsszenarien auf der multidimensionalen Skalierung zueinander zeigen ihre inhaltlichen Ähnlichkeiten. So liegen bspw. die Anwendungsszenarien „Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ (DDA) sowie „Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ (SP2) nahe zusammen, da viele charakteristische Merkmale der beiden Szenarien gleich bewertet wurden. Dementgegen liegen Anwendungsszenarien wie „Mensch-Technik-Interaktion“ (MTI) oder „Auftragsgesteuerte Produktion“ (AGP) relativ weit von den zwei genannten Anwendungsszenarien DDA und SP2 entfernt, da diese sich inhaltlich stark abgrenzen. Die inhaltliche Abgrenzung der Anwendungsszenarien zueinander

Abbildung 8: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien



kann jeweils sehr unterschiedlich sein. Dies erfordert die Ermittlung von Hauptunterscheidungsmerkmalen zwischen den Szenarien.

Zur Ermittlung der Hauptunterscheidungsmerkmale wurden die 17 charakteristischen Merkmale ebenfalls auf einer separaten multidimensionalen Skalierung abgebildet, die in Abbildung 9 dargestellt ist. Grundlage dieser Darstellung ist die Bewertung der Anwendungsszenarien. Aus der Darstellung lassen sich fünf Cluster ableiten, die in der Abbildung grau hinterlegt wurden. Diese Cluster der charakteristischen Merkmale stellen die Hauptunterscheidungsmerkmale der Anwendungsszenarien dar und begründen die räumliche Anordnung der Anwendungsszenarien.

Diese Hauptunterscheidungsmerkmale können als Achsen in die multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien (vgl. Abbildung 8) eingefügt werden. Zur Bestimmung der Lage der Achsen wurde für jedes Anwendungsszenario die Ausprägung hinsichtlich des Hauptunterscheidungsmerkmals berechnet. Im linken Teil von Abbildung 10 ist dies exemplarisch für die Berechnung des Hauptunter-

scheidungsmerkmals „Entwicklungsnähe“ aufgezeigt. Das Merkmal setzt sich aus den vier charakteristischen Merkmalen „Einbindung des Kunden“, „Individualisierung von Produkten“, „Wandelbarkeit von Produkten“ und „Horizontale Vernetzung“ zusammen. Trifft ein Merkmal zu, gilt dies als „1“, ansonsten als „0“. Über diese Werte wird der Mittelwert berechnet. Gleichmaßen werden die Werte für die anderen Anwendungsszenarien berechnet. Anschließend wurde die Achse, welche das Hauptunterscheidungsmerkmal darstellt, so in die multidimensionale Skalierung gelegt, dass die hohen Ausprägungen auf einer Seite der Achse liegen, während die geringen Ausprägungen auf der anderen Seite liegen. In Summe ergaben sich die folgenden fünf Achsen bzw. Hauptunterscheidungsmerkmale zur Unterscheidung der Szenarien: „Entwicklungsnähe“, „Kundenfokus“, „Datenhoheit“, „Systemeigenständigkeit“ und „Schnittstellen“. Für die Achse Entwicklungsnähe ist dies auf der rechten Seite von Abbildung 10 dargestellt. Die weiteren vier sind in Abbildung 11 bis Abbildung 14 dargestellt.

In Abbildung 11 wird das Hauptunterscheidungsmerkmal „Kundenfokus“ dargestellt. Die Ausprägungen im unteren

**Abbildung 9: Clusterung der charakteristischen Merkmale zur Entwicklung der Hauptunterscheidungsmerkmale**

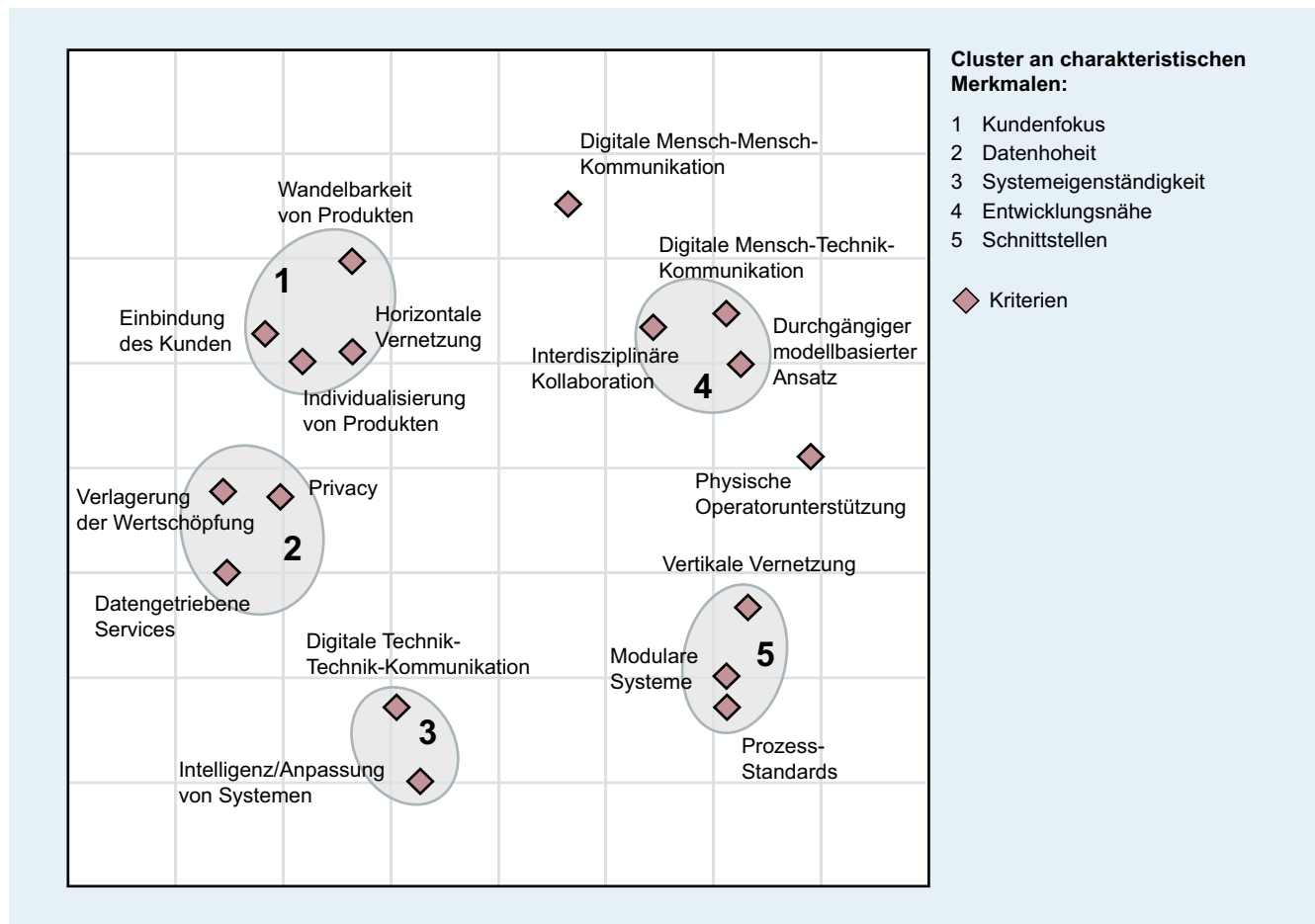


Abbildung 10: Einbringen der Hauptunterscheidungsmerkmale in die multidimensionale Skalierung

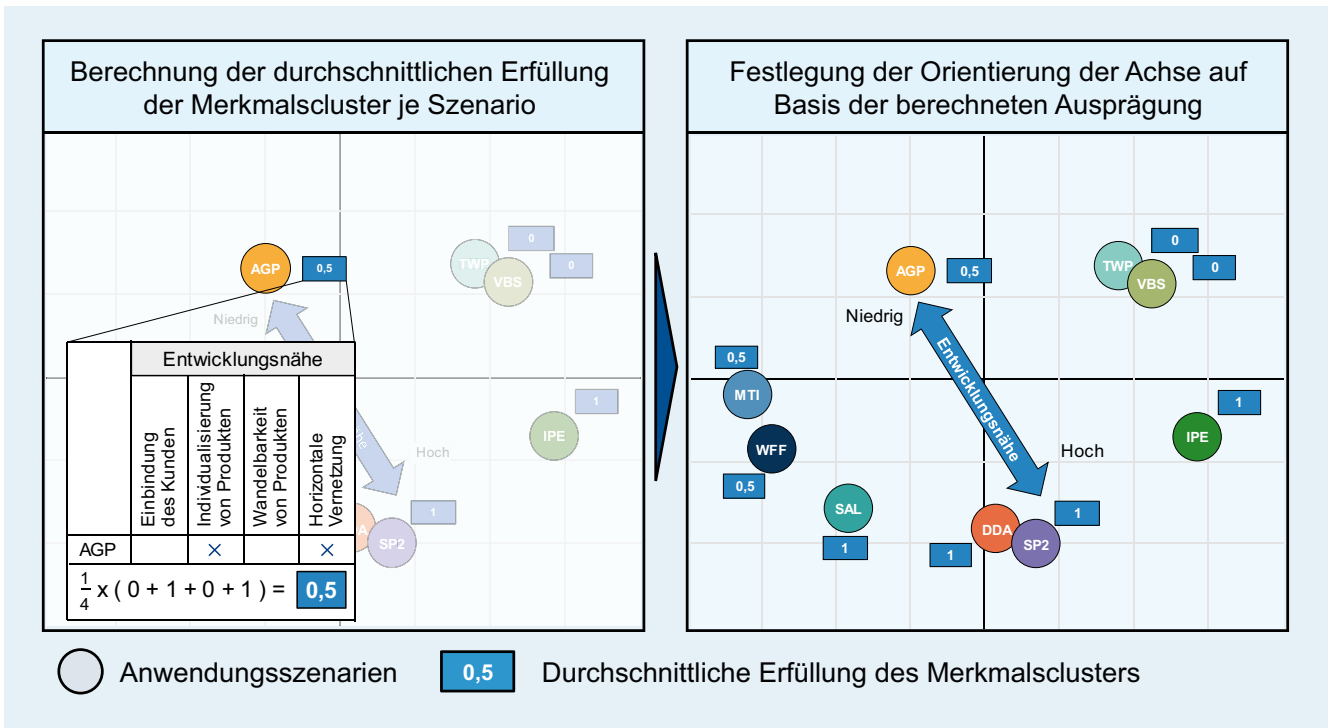
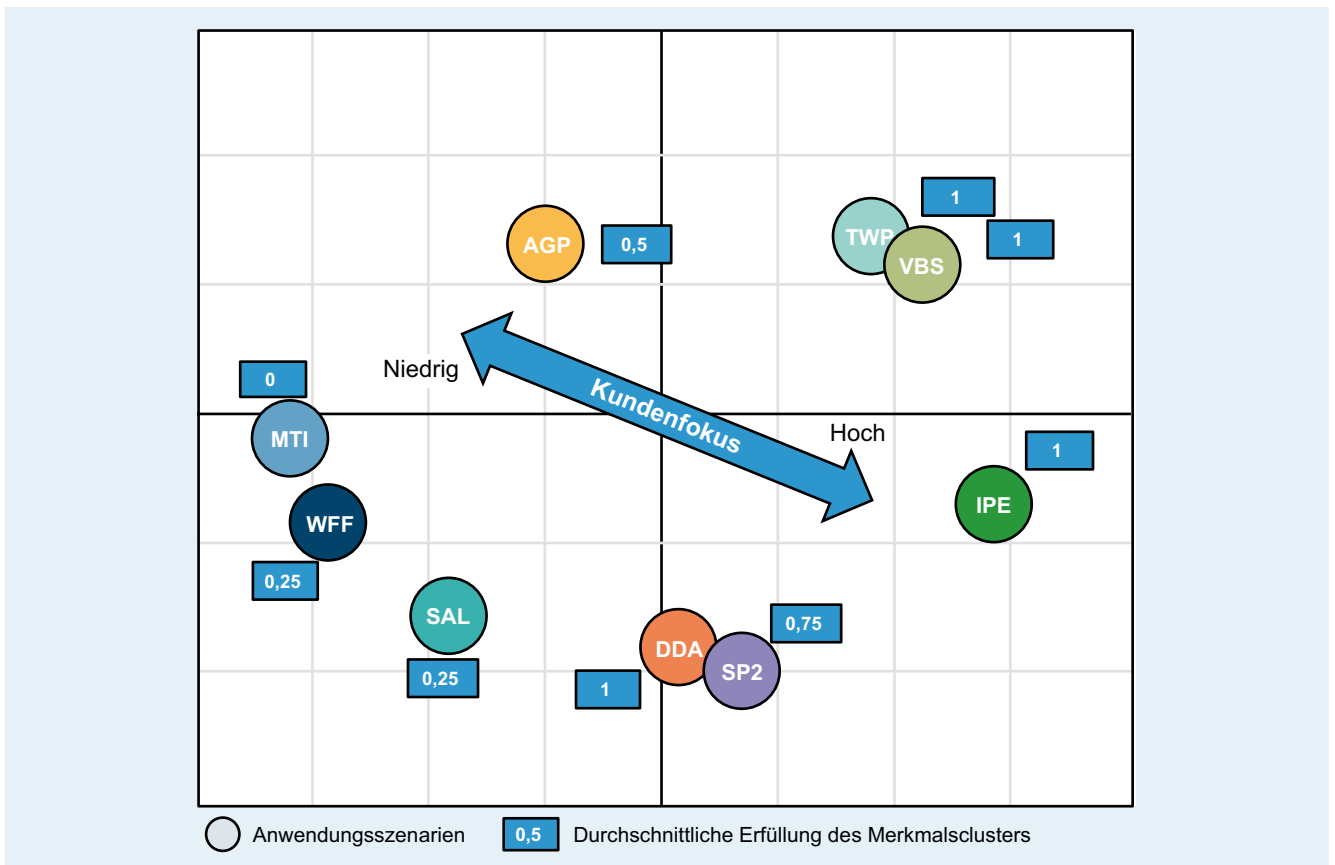


Abbildung 11: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Kundenfokus



rechten Bereich waren bei diesem Hauptunterscheidungsmerkmal hoch, während die Ausprägungen im oberen linken Bereich gering waren. Das bedeutet beispielsweise, dass die charakteristischen Merkmale „Wandelbarkeit von Produkten“, „Einbringung des Kunden“ oder „Individualisierung von Produkten“ (siehe Abbildung 9) als sehr relevant für das Szenario IPE bewertet wurden.

Abbildung 12 zeigt das Hauptunterscheidungsmerkmal „Datenhoheit“. Dabei waren die charakteristischen Merkmale für dieses Hauptunterscheidungsmerkmal bei den Szenarien oben rechts in der MDS hoch ausgeprägt.

So wurden etwa die charakteristischen Merkmale wie „Verlagerung der Wertschöpfung“ oder „Datengetriebene Services“ als sehr relevant eingestuft. Unten links in der MDS waren diese tendenziell gering ausgeprägt.

In Abbildung 13 wird das Hauptunterscheidungsmerkmal „Systemeigenständigkeit“ dargestellt. Für die Szenarien oben links in der MDS wie WFF, AGP und TWP waren die charakteristischen Merkmale hoch ausgeprägt. Hier waren die Digitale Technik-Technik-Kommunikation und die Anpassung von Systemen als sehr relevant eingestuft worden. Bei den Szenarien unten links, wie z. B. IPE, SP2 oder DDA, waren die charakteristischen Merkmale gering ausgeprägt.

Abbildung 14 zeigt das Hauptunterscheidungsmerkmal „Schnittstellen“. Hier waren die charakteristischen Merkmale für die Szenarien unten links in der MDS wie beispielsweise WFF oder SAL hoch ausgeprägt. So waren etwa „vertikale Vernetzung“ oder „Prozessstandards“ in diesem Fall als sehr relevant eingestuft worden. Die charakteristischen Merkmale für die Szenarien oben rechts wie TWP oder VBS waren gering ausgeprägt.

**Abbildung 12: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Datenhoheit**

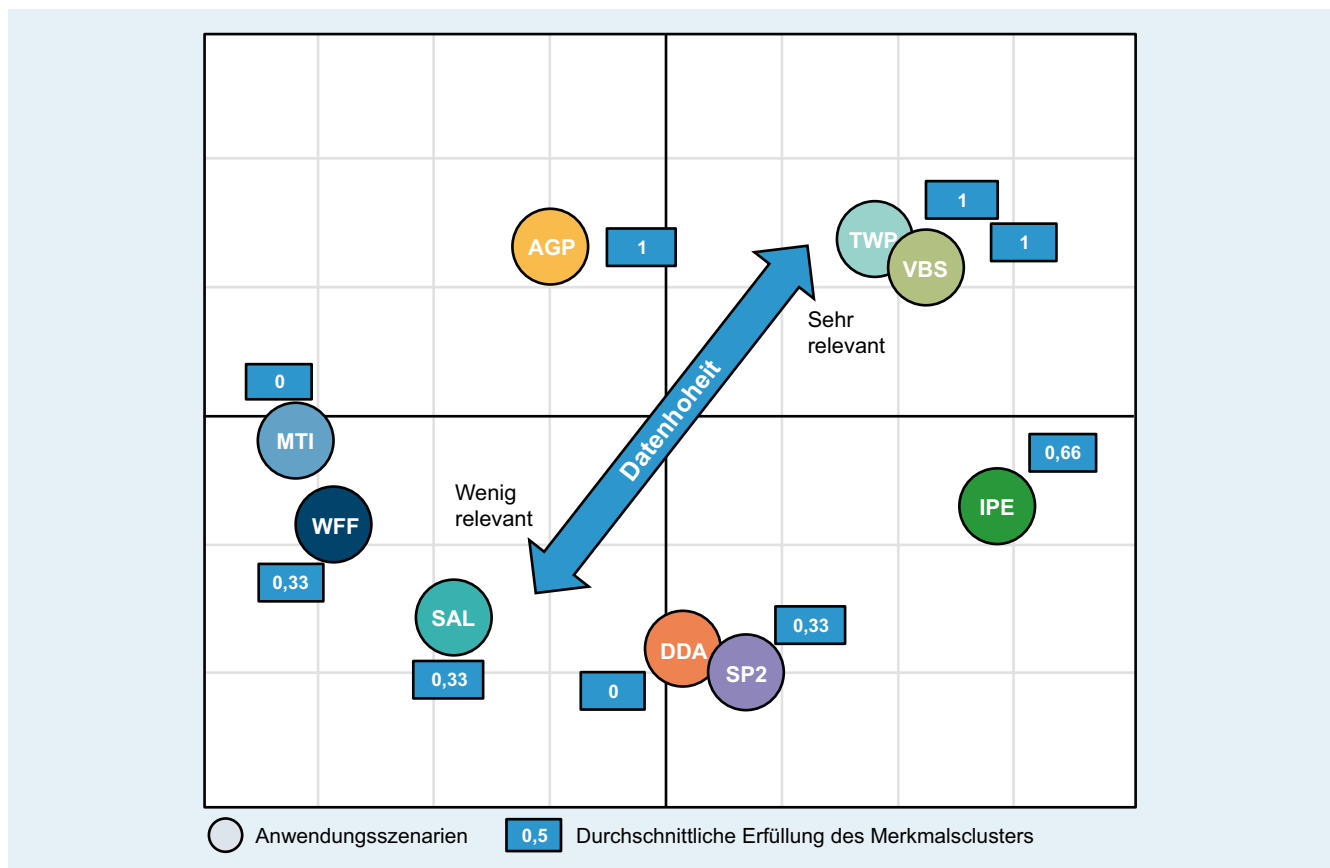
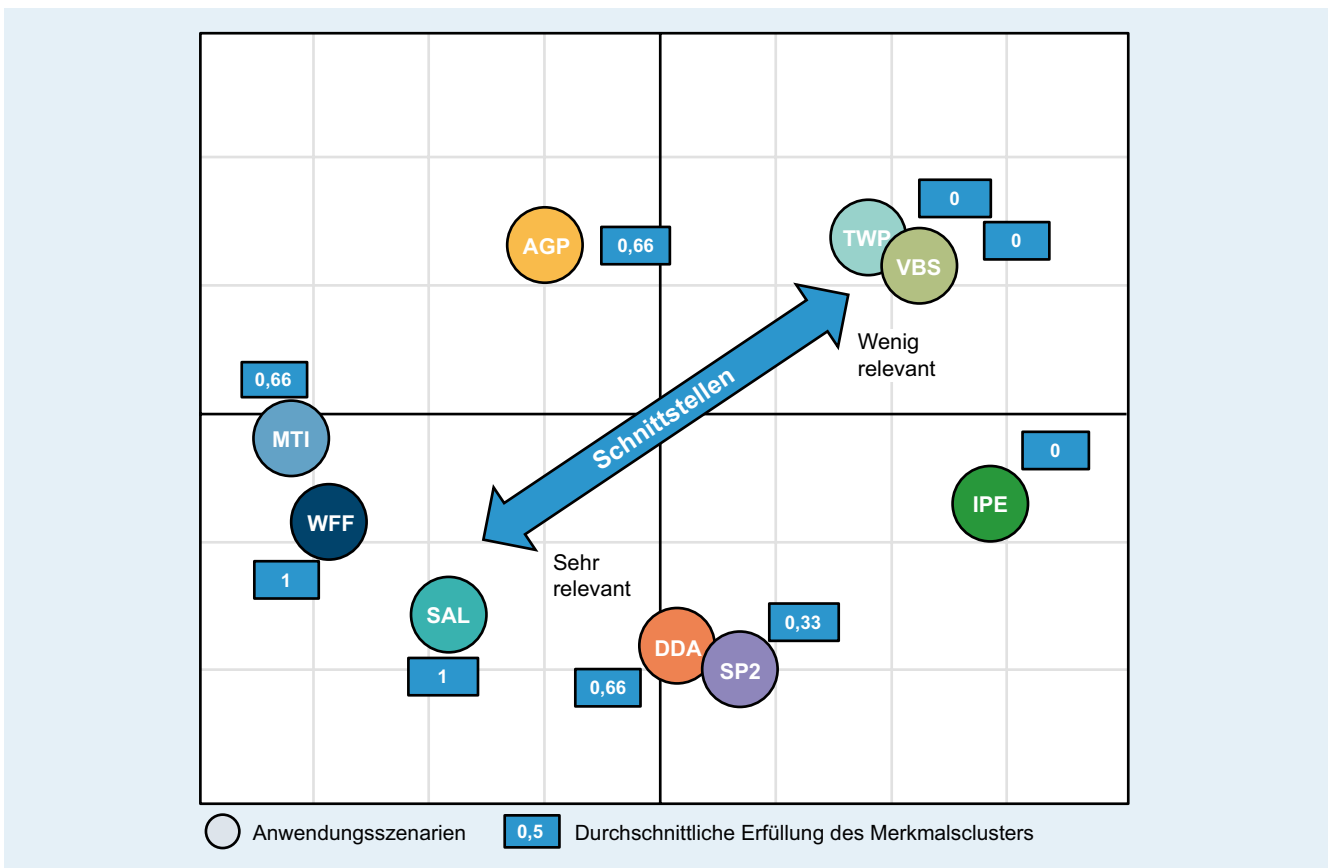




Abbildung 13: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Systemeigenständigkeit



Abbildung 14: Multidimensionale Skalierung mit dem Hauptunterscheidungsmerkmal Schnittstellen



### 6.2 MDS der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele

Abschließend wurden die Anwendungsbeispiele in die multidimensionale Skalierung (MDS) eingebracht. Da eine Darstellung aller 280 untersuchten Anwendungsbeispiele in einer MDS zu unübersichtlich wäre, wurden die Beispiele zu 24, inhaltlich ähnlichen, Clustern zusammengefasst. Auf der MDS sind die Cluster entsprechend dem Schwerpunkt der einbezogenen Anwendungsbeispiele platziert. Dies ist in Abbildung 15 dargestellt.

### 6.3 Bewertung der entwickelten MDS

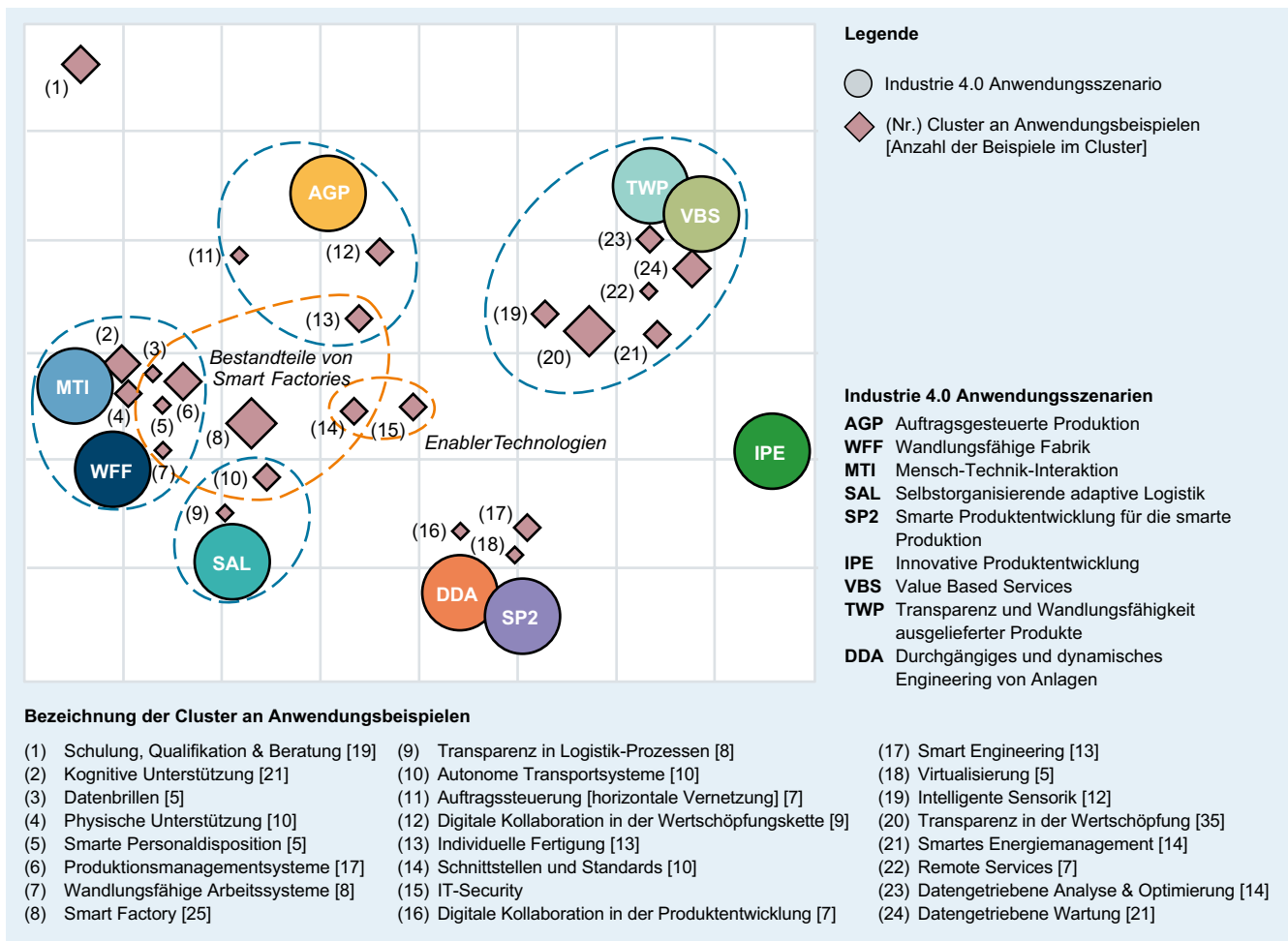
Die multidimensionale Skalierung veranschaulicht, inwiefern sich die Anwendungsszenarien voneinander abgrenzen und in welchen Bereichen es bereits viele Anwendungsbeispiele gibt bzw. Nachsteuerungsbedarf besteht.

Neben einer impliziten Zuordnung der Beispiele zu den Szenarien zeigt sich ein Cluster inmitten der multidimensionalen Skalierung. Dies sind Beispiele für Schnittstellen und Standards, welche in allen Szenarien relevant sind. Weiterhin lassen sich im linken Bereich Anwendungsbeispiele aufzeigen, welche typischerweise einer Smart Factory zuzuordnen sind. Diese sind durch die grüne, gestrichelte Linie eingrahmt. Weiterhin fällt auf, dass kein Beispiel in der Nähe des Szenarios „Innovative Produktentwicklung“ (IPE) liegt. Dies weist auf einen Handlungsbedarf hin.

Im oberen linken Bereich findet sich das Cluster „Schulung, Qualifikation & Beratung“, welches keinem der Szenarien zuzuordnen ist. Dieses könnte dem Bereich „Informations- und Unterstützungsangebote“ auf der Homepage der Plattform zugeordnet werden.

Zur Steigerung der Transparenz und Einführung eines Aggregationslevels wurden anhand der Verteilung der charakteristischen Merkmale einzelne Cluster gebildet, mittels

Abbildung 15: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele



derer eine Kategorisierung der Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“ möglich ist. Die gebildeten Cluster sind im Folgenden erläutert und beschrieben. Neben der Definition wird zu jedem Cluster ein konkretes, auf der „Plattform Industrie 4.0“ veröffentlichtes Praxisbeispiel genannt.

### Wandlungsfähige Arbeitssysteme

Wandlungsfähige Arbeitssysteme umfassen alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die flexibel und in Echtzeit auf Veränderungen reagieren können. Beinhaltet sind sowohl einzelne Technologien als auch komplette Arbeitsanlagen. Fokussiert wird in diesem Cluster auf die einfache Integration der Arbeitssysteme nach dem Plug&Play-Prinzip sowie die Möglichkeit, Produkte mit der Losgröße 1 flexibel zu produzieren.

Ein Beispiel für wandlungsfähige Arbeitssysteme ist eine vollautomatisierte Maschinenlinie für individuelle/personalisierte Produkte und Verpackungen mit Erweiterungsmöglichkeiten wie zukünftigem automatisierten Transport. Die Firma Optima Consumer GmbH hat dies im Projekt „Module“ umgesetzt.

### Schulung, Qualifikation und Beratung

Dieses Cluster wird in der Multidimensionalen Skalierung nicht dargestellt, da eine Bewertung durch die charakteristischen Merkmale nicht realisierbar ist.

Schulung, Qualifikation und Beratung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die externe Weiterbildungs- und Beratungsdienstleistungen mit dem Themenschwerpunkt Industrie 4.0 anbieten.

Ein Beispiel für das Cluster „Schulung, Qualifikation und Beratung“ ist das Workshop-Angebot eines externen Dienstleisters für eine firmenindividuelle Aufarbeitung der möglichen und vorhandenen Industrie 4.0-Potenziale im Unternehmen. Dieses Angebot realisierte das Unternehmen Janz Tec im Rahmen von Industrie 4.0-Workshops, die entsprechend dem VDMA-Leitfaden für Industrie 4.0 entwickelt wurden.

### Schnittstellen und Standards

Schnittstellen und Standards umfassen alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, welche Schaffung von Standardisierung im Themenfeld der Industrie 4.0 anstreben.

Dies betrifft insbesondere die Konzeptionierung und Beschreibung offener Schnittstellen. Ziel ist eine umfassende Vernetzung aller Betriebskomponenten mittels einer einheitlichen „Sprache“.

Ein Beispiel für das Cluster „Schnittstellen und Standards“ ist die Implementierung einer flexiblen Vernetzungs- und Dienste-Plattform. Die Firma Bosch hat ihre Lösungsansätze im Projekt „CoCoS – Plug&Play-Vernetzung“ in der Produktion aufgezeigt.

### Datengetriebene Wartung

Datengetriebene Wartung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die darauf abzielen, für die Instandhaltung relevante Daten (in Echtzeit) zu erfassen, zu analysieren und (automatisch) Wartungsaufträge zu generieren.

Ein Beispiel für das Cluster „Datengetriebene Wartung“ ist die sich selbst instand haltende Anlage. Das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU hat sich dazu im EU-Forschungsprojekt „iMain“ mit der Konzeptionierung intelligenter prädiktiver Instandhaltung befasst.

### Produktionsmanagementsysteme

Produktionsmanagementsysteme umfassen alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die alle Produktionsaufträge selbstständig überwachen, steuern und flexibel an aufkommende Gegebenheiten in Echtzeit anpassen können. Der Produktionsprozess ist vollständig vernetzt, Anlagen- und Maschinenanbindungen sind modular und flexibel.

Ein Beispiel für das Cluster „Produktionsmanagementsysteme“ ist eine hochgradig modulare Webtechnologie (MES), die es ermöglicht, die Einbindung neuer Funktionen in den Herstellungsprozess sowie die flexible Maschinen- und Anlagenanbindung zu realisieren. Die FORCAM GmbH bietet mit ihrer Lösung „DaTeProMES“ ein MES Energy Dashboard für energieoptimierte Produktionssteuerung an.

### Transparenz in der Wertschöpfung

Transparenz in der Wertschöpfung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, bei denen die Datenerfassung (ohne Analyseschwerpunkt) im Fokus steht. Ziel ist das Monitoring und Reporting aller an der Wertschöpfung beteiligter Komponenten in Echtzeit.

Ein Beispiel für das Cluster „Transparenz in der Wertschöpfung“ ist das Sammeln, Filtern und Visualisieren von Daten, um Verbesserungen zu definieren und neue Standards festzulegen. Das Unternehmen Bosch Rexroth GmbH setzte dieses Konzept in seinem Projekt „ActiveCockpit“ um und nutzt dies als interaktive Kommunikationsplattform für die Fertigungsindustrie.

### Smartes Energiemanagement

Smartes Energiemanagement umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die sich auf den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien auf dem Feld der Energie- und Netzwirtschaft konzentrieren.

Ein Beispiel für das Cluster „Smartes Energiemanagement“ ist die dezentrale Energieerzeugung am bestehenden Netz und gleichmäßige Verteilung auf die Bedarfsorte. Dieses Konzept beschrieb RWE im Projekt „Smart Country“.

### Autonome Transportsysteme

Autonome Transportsysteme umfassen alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die inner- und/oder außerbetriebliche Transporte von Gütern, Waren oder Rohstoffen autonom bewerkstelligen. Essentiell ist dabei die geregelte automatische Kommunikation mit Prozesspartnern im Sinne des Internets der Dinge. Autonome Transportsysteme können sowohl zentral als auch dezentral gesteuert werden.

Ein Beispiel für das Cluster „Autonome Transportsysteme“ ist das Projekt „Zellulare Transportsysteme vom Fraunhofer IML. Dieses Projekt befasst sich mit der dezentralen Steuerung für den innerbetrieblichen Transport von Behältern im Regal und auf dem Flur.

### Individuelle Fertigung

Individuelle Fertigung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, bei denen horizontal vernetzte cyber-physikalische Systeme zur bedarfsgerechten und kundenspezifischen Produktion im Fokus stehen. Diese Systeme bedienen alle Schritte vom virtuellen Entwurf bis zur Endproduktfertigung.

Ein Beispiel für das Cluster „Individuelle Fertigung“ ist die Verbindung der virtuellen Simulation mit der Produktion durch eine vollständig digitale Prozesskette. Im Rahmen des

Projekts „Simulate, Print and Go!“ hat das Deutsche Institut für Textil- und Faserforschung Denkendorf, im Zentrum für Management Research, dieses Lösungskonzept erarbeitet.

### Physische Unterstützung

Physische Unterstützung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die die physische Arbeit von Menschen erleichternd unterstützt und Prozesse vereinfacht und ggf. teilautomatisiert.

Ein Beispiel für das Cluster „Physische Unterstützung“ ist der Anwendungsfall der physischen Unterstützung der Mitarbeiter durch unterschiedliche technische Funktionen an der Montagelinie. Die Alfred Kärcher GmbH & Co. KG hat im Projekt „Floor Care Zukunft“ die Produktion für seine Mitarbeiter optimiert.

### Remote Services

Remote Services umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die eine Fernwartung ermöglichen.

Ein Beispiel für das Cluster „Remote Services“ ist der Anwendungsfall des sicheren Remote-Zugriffs auf installierten Sicherheitssystemen. Die Firma Bosch hat sich im Rahmen des Projekts „EffiLink“ mit dieser Dienstleistung auseinandergesetzt.

### Virtualisierung

Virtualisierung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die zur Nachbildung eines Objekts (Hard- oder Software), komplexer Prozesse oder Produkte durch ein ähnliches digitales Objekt dienen. Die gebildeten Objekte können u. a. in der Planung, Simulation und im Engineering von Produktionsprozessen genutzt werden.

Ein Beispiel für das Cluster „Virtualisierung“ ist der Anwendungsfall „Virtual Engine“. Die Firma Rolls-Royce nutzt die Ergebnisse dieses Projekts, um das Verständnis für Triebwerkskonstruktionen zu steigern und Wartungen und Trainings effizienter zu gestalten.

### Smart Factory

Smart Factory umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die wesentliche Elemente von Industrie 4.0

in einer Gesamtanwendung kombinieren. Die Smart Factory ist ein zentraler Bestandteil zukünftiger Infrastrukturen, Wertschöpfungsketten und neuer Geschäftsmodelle.

Ein Beispiel für das Cluster „Smart Factory“ ist das Forschungsprojekt „SMART FACE“. Das Forschungskonsortium, welches u. a. durch den institutionellen Verbundpartner Fraunhofer IML unterstützt wird, setzt sich mit einer Smart Micro Factory für Elektrofahrzeuge mit schlanker Produktionsplanung auseinander.

### Kognitive Unterstützung

Kognitive Unterstützung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, in denen Informationen nicht nur kontextabhängig, sondern auch adaptiv an die Situation und den Menschen angepasst werden. Kognitive Unterstützung besitzt dabei die Fähigkeit, komplexe Prozesse zu erfassen und situativ passende Informationen zur Verfügung zu stellen.

Ein Beispiel für das Cluster „Kognitive Unterstützung“ ist die Plattform „SmARt Assistance for Humans in Production Systems“ des Fraunhofer IWU. Die Umsetzung dieser Plattform wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „SmARPro“ umgesetzt und schafft in der Anwendung eine Mensch-, Maschinen- und Prozessintegration für eine dezentrale Fertigungssteuerung.

### Datenbrillen

Datenbrillen umfassen alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die Datenbrillen oder Head-Mounted Displays als Standardtechnologie für Assistenzsysteme und Servicebereiche verwenden. Durch die geringe Beeinträchtigung des Nutzers und der situativen Informationsbereitstellung, z. B. mittels Augmented Reality, befähigen Datenbrillen den Träger dazu, effizienter und qualitativ besser zu arbeiten. Äquivalent zur Ausgabe von Informationen verhalten sich die Technologien zur Eingabe. Datenbrillen schaffen für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter besonders dann Vorteile gegenüber klassischen Scanner- oder Handheldlösungen, wenn beide Hände zur Verrichtung ihrer eigentlichen Aufgabe genutzt werden können. Kommissionier- oder Wartungsprozesse sind hierbei typische Anwendungsbereiche für Datenbrillen.

Ein Beispiel für das Cluster „Datenbrillen“ ist der vollumfänglich webbasierte Remote per Datenbrillentechnologie der Firma Essert – Augmented Automation. Durch den Ein-

satz von Datenbrillen können Anwender vor Ort mit einem Experten audiovisuell kommunizieren und sich während Service- und Wartungstätigkeiten vom Experten aus der Ferne anleiten lassen.

### IT-Security

IT-Security umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die zum Schutz gegen Bedrohungen eingesetzt werden und die Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit in Anlagen und Systemen sicherstellen. Inhaltlich umfasst dies klassische Office-IT (IT-Security) ebenso wie IT in technischen Systemen (Automation Security).

Ein Beispiel für das Cluster „IT-Security“ ist die Steuerungssoftware „CodeMeter“ der Firma WIBU Systems. Dabei schützt die Software durch Signaturen und Verschlüsselungen die Produktionsdaten des Herstellungsbetriebes.

### Digitale Kollaboration in der Wertschöpfungskette

Digitale Kollaboration in der Wertschöpfungskette umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, bei denen sich Unternehmen auf die Bereitstellung und Aggregation von Informationen für die Kommunikation in Wertschöpfungsketten fokussieren.

Ein Beispiel für das Cluster „Digitale Kollaboration in der Wertschöpfung“ ist die „Business Analytics Foundation“ der Firma ATOS. Der kundenindividuelle Ansatz wird dabei in der Umsetzung, Integration, Analyse und Wissensgewinnung aus Daten aller Art berücksichtigt.

### Digitale Kollaboration in der Produktentwicklung

Digitale Kollaboration in der Produktentwicklung umfasst alle Praxisbeispiele der „Plattform Industrie 4.0“, die Methoden und Technologien zur Digitalisierung und zum unternehmensübergreifenden Informationsaustausch verwenden.

Ein Beispiel für das Cluster „Digitale Kollaboration in der Produktentwicklung“ ist das Projekt „Farming 4.0“ der Deutschen Telekom. Dabei wird die landwirtschaftliche Logistikkette ganzheitlich und in Echtzeit durch eine Connected-Industry-Plattform optimal koordiniert.

# 7 Auswertung

Neben der Zusammenführung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen mit Hilfe der multidimensionalen Skalierung wurden weiterführende statistische Auswertungen der Anwendungsbeispiele durchgeführt. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

## 7.1 Statistische Auswertung der gesamten Anwendungsbeispiele

### Die produzierende Industrie ist Haupttreiber und Hauptnutzer von Industrie 4.0

Fast die Hälfte der Anwendungsbeispiele ist im Bereich der produzierenden Industrie (42%) angesiedelt. Zusammen mit den Beispielen aus dem Bereich der Logistik (23%) werden ca. zwei Drittel der Anwendungsbeispiele abgebildet. Am geringsten ist die Landwirtschaft (2%) vertreten. Bei den Produkten liegt der Schwerpunkt in der produzierenden Industrie (35%) und in Softwarelösungen (22%). Die hohe Präsenz an Beispielen in der produzierenden Industrie spiegelt sich auch im Wertschöpfungsbereich mit dem Gebiet Produktion & Lieferkette (41%), gefolgt vom Servicebereich (20%), wider. Die Verteilung der Kategorien von Anwendungs- und Produktbeispielen ist in Abbildung 16 dargestellt.

### Anwendungsbeispiele kommen vor allem aus kleinen und sehr großen Unternehmen

Bei der Anwendung von Industrie 4.0 sind kleinere Unternehmen mit bis zu 250 (39%) und sehr große Unternehmen

mit mehr als 15.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (24%) stark engagiert. Hierauf folgen Unternehmen mit 5000 bis 15.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (20%) und schließlich Unternehmen mit 250 bis 5000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (18%).

### Das Verhältnis von Produkt- und Anwendungsbeispielen sowie der Marktreife ist ausgeglichen

Insgesamt werden mehr Produktbeispiele (55%) als Anwendungsbeispiele (45%) auf der Landkarte präsentiert. Somit sind Anbieter und Nutzer von Technologien und Lösungen ähnlich häufig vertreten. Fast die Hälfte der Anwendungsbeispiele befinden sich laut Angaben derjenigen, die sie auf der Landkarte eingestellt haben, im produktiven Einsatz bzw. sind marktreif (47%). Die Reife der Anwendungsbeispiele ist in Abbildung 17 dargestellt.

### Starke regionale Ungleichverteilung der Anwendungsfälle

Der überwiegende Teil der Beispiele kommt aus den südwestlichen Gebieten Deutschlands. Das am häufigsten vertretene Bundesland ist Baden-Württemberg (27%), gefolgt von Nordrhein-Westfalen (20%) und Bayern (14%). Die östlichen Regionen sind bis auf den Freistaat Sachsen (9%) unterrepräsentiert. Abbildung 18 zeigt die prozentuale Verteilung der Anwendungsbeispiele bezogen auf die Bundesländer.

Abbildung 16: Kategorien von Anwendungs- (blau dargestellt) und Produktbeispielen (grün dargestellt)

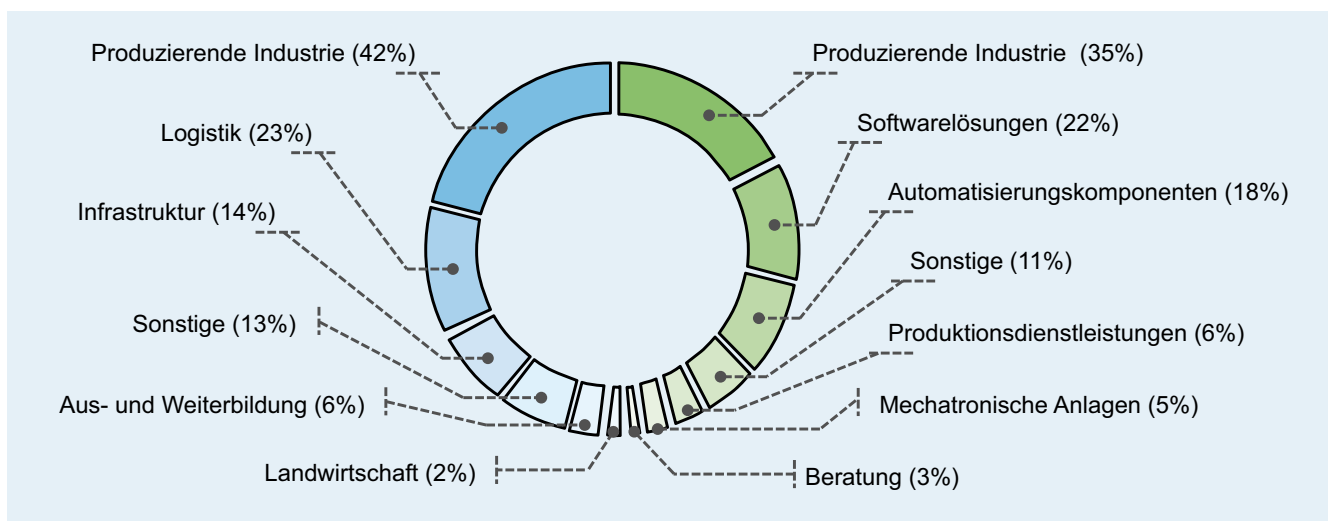




Abbildung 17: Reifegrad der Anwendungsbeispiele

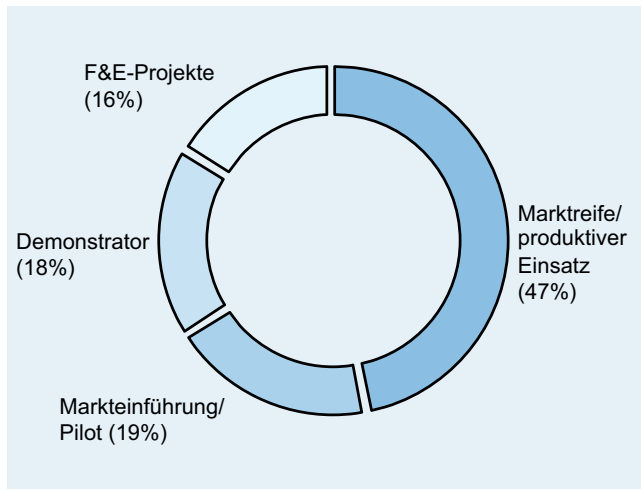
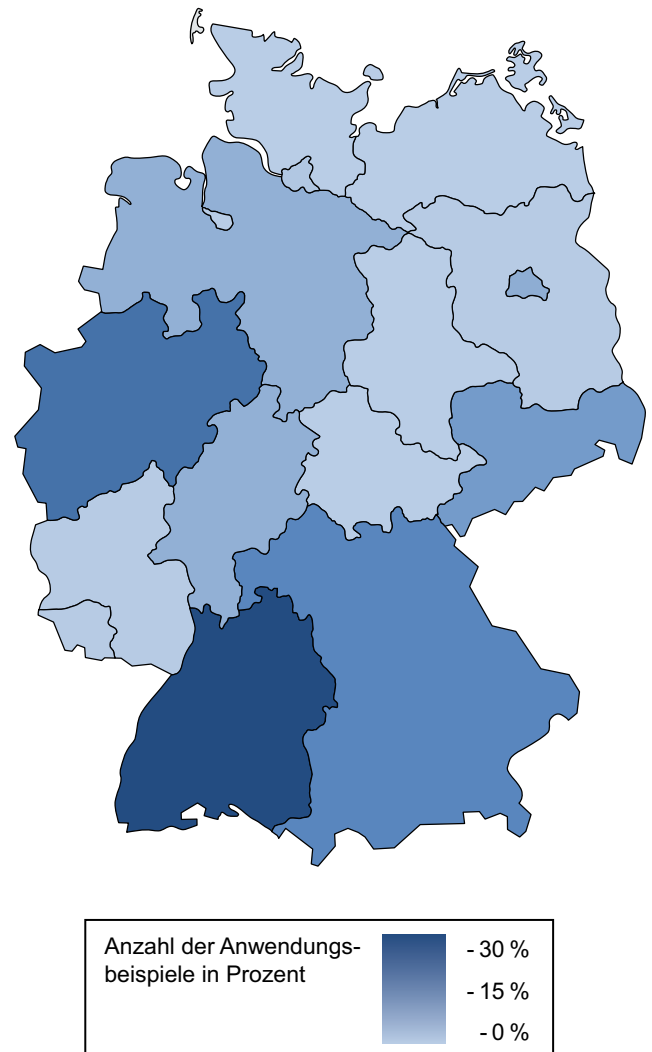


Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Anwendungsbeispiele



## 7.2 Auswertung der MDS und der erarbeiteten Cluster

### Anwendungsszenarien sind sinnvoll angeordnet

Die Darstellung der Anwendungsszenarien durch die MDS ist schlüssig. Ähnliche Szenarien sind nah beieinander verortet. Unterschiedliche Szenarien sind angemessen entfernt. Innerhalb der MDS ist eine klare Trennung von Produktion (linke Hälfte) und Produkten und Dienstleistungen (rechte Hälfte) zu erkennen. Die beiden datengetriebenen Szenarien VBS und TWP sind nah zusammen. Ebenso sind die Szenarien DDA und SP2 sehr ähnlich.

### 24 Cluster bilden die Anwendungsbeispiele gut ab

Alle betrachteten 280 Anwendungsszenarien lassen sich durch die 24 ermittelten Cluster sinnvoll eingliedern. Weiterhin konnten die Cluster überwiegend zu einzelnen Szenarien zugeordnet werden. Aufgrund des technologischen Fokus der Szenarien bilden Schulungs-, Qualifikations- und Beratungsangebote mit dem Schwerpunkt auf Dienstleistungen eine Ausnahme. Die Cluster IT-Security sowie Schnittstellen und Standards sind notwendige Enabler bzw. Querschnittstechnologien für alle Szenarien. Dies spiegelt sich in der zentralen Position auf der MDS wider. Die Verortung der Anwendungsszenarien und der Anwendungsbeispiele ist in Abbildung 15 dargestellt.

### Smart Factory als Kombination von Clustern und Szenarien

Als Kombination von unterschiedlichen Systemen, Technologien und Prozessen steht die Smart Factory zwischen den

Szenarien SAL, AGP, WFF und MIT. Elemente der umliegenden Cluster werden innerhalb der Smart Factory kombiniert und zu einer Gesamtlösung integriert, wobei diese Gesamtlösung häufig im produktiven Einsatz genutzt oder als Demonstrator bzw. Schaufensterfabrik eingesetzt wird.

### Unterstützungssysteme für den Menschen und datengetriebene Angebote sind am weitesten verbreitet

Zum Szenario MTI können fünf Cluster (Datenbrillen, Smarte Personaldisposition sowie physische und kognitive Unterstützungssysteme) mit insgesamt 36 Anwendungsbeispielen zugeordnet werden. Bei den Szenarien VBS und TPS sind sechs Cluster mit 97 Anwendungsbeispielen zugeordnet. Somit sind in diesen beiden Bereichen fast die Hälfte der betrachteten Anwendungsbeispiele verortet. Eine



Gesamtübersicht der Anzahl von Anwendungsbeispielen pro Cluster zeigt Abbildung 19.

Das Szenario IPE ist noch am wenigsten verbreitet. Dies spiegelt sich in den wenigen Anwendungsbeispielen wider, welche in der Nähe von Szenario IPE angesiedelt sind.

### 7.3 Handlungsempfehlungen

Basierend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen dieses Forschungsprojektes werden folgende formale Handlungsempfehlungen gegeben:

#### Aufnahme der 24 Clusterbegriffe als Kategorien in die Industrie 4.0-Landkarte

Die Anwendungsbeispiele der Industrie 4.0-Landkarte wurden im Rahmen dieser Arbeit in 24 Cluster gegliedert. Diese Anwendungscluster sind als Orientierung in die Industrie 4.0-Landkarte aufzunehmen. So fungieren die Cluster unter anderem als Ordnungsschema. Mit Hilfe einer Filterfunktion können die Cluster als Orientierungshilfe genutzt werden.

#### Ergänzung von passenden Anwendungsszenarien zu den Anwendungsbeispielen

Mit Hilfe der multidimensionalen Skalierung wurde eine implizite Zuordnung von Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispielen hergestellt. Als weitere Orientierungshilfe sollten den Anwendungsbeispielen auf der Industrie 4.0-Landkarte jeweils passende Anwendungsszenarien zugeordnet werden.

#### Implementierung eines Rahmenwerks zur Aufnahme neuer Anwendungsbeispiele in die Landkarte

Die Ergebnisse dieser Arbeiten haben gezeigt, dass die Industrie 4.0-Landkarte zahlreiche wertvolle Informationen enthält. Mit Hilfe einer ergänzenden Kategorisierung lässt sich eine weitere Auswertung vereinfachen. Weiterhin werden neu eingetragene Beispiele konsistent zu den hier aufgezeigten Ergebnissen eingeordnet. Somit ist eine Kategorisierung zur Aufnahme neuer Anwendungsbeispiele in die Landkarte empfehlenswert. Ein entsprechendes Ordnungsschema wird in Kapitel 4.2 vorgeschlagen.

#### Auslösen eines redaktionellen Prozesses

Insbesondere bei den Beispielen von Testbeds (Testzentren) und Schulungen (Informations- und Unter-

Abbildung 19: Anzahl der Anwendungsbeispiele in den Clustern



stützungsangebote) gibt es viele Falscheinordnungen. Häufig sind die Anwendungsbeispiele unzureichend oder missverständlich erklärt. Dies erfordert einen redaktionellen Prozess zur Aufnahme neuer Beispiele von Testbeds (Testzentren) und Schulungen (Informations- und Unterstützungsangebote) in die Landkarte.

### **Schaffung einer klareren Untergliederung in Anwender und Anbieter**

Um den Anwender bei der Suche nach geeigneten Lösungen zu unterstützen, ist es empfehlenswert, die Beispiele eindeutig nach Anwender und Anbieter bzw. Leitmarkt und Leitanbieter zu unterscheiden.

Ergänzend hierzu wird folgender Forschungsbedarf definiert:

#### **Analyse von Anwendungsdefiziten**

Die erarbeitete multidimensionale Skalierung zeigt auf, inwiefern die Anwendungsszenarien durch Anwendungsbeispiele bedient werden. Insbesondere bei dem Szenario Innovative Produktentwicklung (IPE) sind keine Anwendungsbeispiele. Dies zeigt Forschungsbedarf auf. Auch die weiteren Szenarien sind hinsichtlich des weiteren Forschungsbedarfs zu analysieren.

#### **Spezifikation von Enabler-Szenarien**

Im Zentrum der multidimensionalen Skalierung liegen die zwei Cluster von Anwendungsbeispielen „Schnittstellen und Standards“ sowie „IT-Security“. Diese Cluster sind nicht eindeutig zuzuordnen, da sie für alle Szenarien als Grundlage dienen. Hier sind Enabler-Szenarien einzuführen.

#### **Detaillierte Analyse der definierten Cluster**

Die Cluster an Anwendungsbeispielen sind näher zu analysieren. Die Datengrundlage lassen Analysieren bspw. hinsichtlich Reife der Technologien, der Branchen etc. zu.

## **7.4 Ordnungsschema und Methodik zur Klassifizierung neuer Anwendungsbeispiele**

Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung wird im Folgenden ein Ordnungsschema beschrieben, welches geeignet ist, künftige Vorschläge für die Landkarte, also weitere Anwendungsbeispiele für Industrie 4.0, einfach zu klassifizieren, und eine Methodik für diese Klassifizierung darstellt. Gleichzeitig soll das Ordnungsschema offen für neue Elemente in der Klassifizierung sein, um eine geeignete Darstellung von (Weiter-) Entwicklungen von Anwendungsbeispielen zu ermöglichen.

Das Ordnungsschema setzt die Charakteristika der Anwendungsszenarien in Beziehung zu den Einordnungskriterien der Landkarte. Die Methodik beschreibt, wie derzeitige und vor allem auch künftig genannte Beispiele für Innovationen mit Bezug zu Industrie 4.0 im Hinblick auf die Charakteristika der Anwendungsszenarien und die Einordnungskriterien der Landkarte zu klassifizieren sind.

Hierdurch sind die folgenden Anforderungen an das Ordnungsschema und die Methodik zur Klassifizierung neuer Anwendungsbeispiele zu berücksichtigen:

- Einfache Handhabung durch den Nutzer
- Integrierbarkeit in die bestehende Plattform
- Berücksichtigung der definierten charakteristischen Merkmale
- Berücksichtigung der ermittelten Cluster
- Erweiterbarkeit auf neue Aspekte von Industrie 4.0 (Anwendungsszenarien, Anwendungsbeispiele, Cluster)

Um eine einfache Handhabung und ausreichende Vergleichbarkeit der Inhalte des Ordnungsschemas zu erreichen, werden die 24 Cluster von Anwendungsbeispielen als Grundlage genommen. Für jedes Cluster sind die Ausprägungen der 17 charakteristischen Merkmale bekannt und können somit übernommen werden. Ebenfalls sind durch diese Zuordnung automatisch die Abstände bzw. die Ähnlichkeiten zu einzelnen Anwendungsszenarien definiert. Zusätzlich wird ein Bezug zu weiteren, ähnlichen Anwendungsbeispielen hergestellt. Das Ordnungsschema schafft somit einen strukturierten Rahmen zur Gliederung und zum Vergleich von Anwendungsbeispielen. Gleichzeitig wird durch das Ordnungsschema eine sinnvolle Grundlage zu Verknüpfung von Anwendungsbeispielen und Anwendungsszenarien sowie für die Erstellung einer Methode zur Klassifizierung neuer Anwendungsbeispiele geschaffen (Abbildung 20).

Zur einfachen Aufnahme und Klassifizierung von neuen Anwendungsbeispielen soll das etablierte Vorgehen beibehalten und auf Basis der Nutzung des beschriebenen Ordnungsschemas erweitert werden. Zur Berücksichtigung neuer Aspekte von Industrie 4.0 wird das erweiterte Vorgehen in zwei alternative Schritte unterteilt. Diese umfassen zum einen die direkte Einordnung neuer Einträge auf der Landkarte in die Cluster des Ordnungsschemas. Durch diese Zuordnung werden automatisch die charakteristischen Merkmale bestimmt und die Nähe zu einzelnen

Abbildung 20: Übersicht über das Ordnungsschema

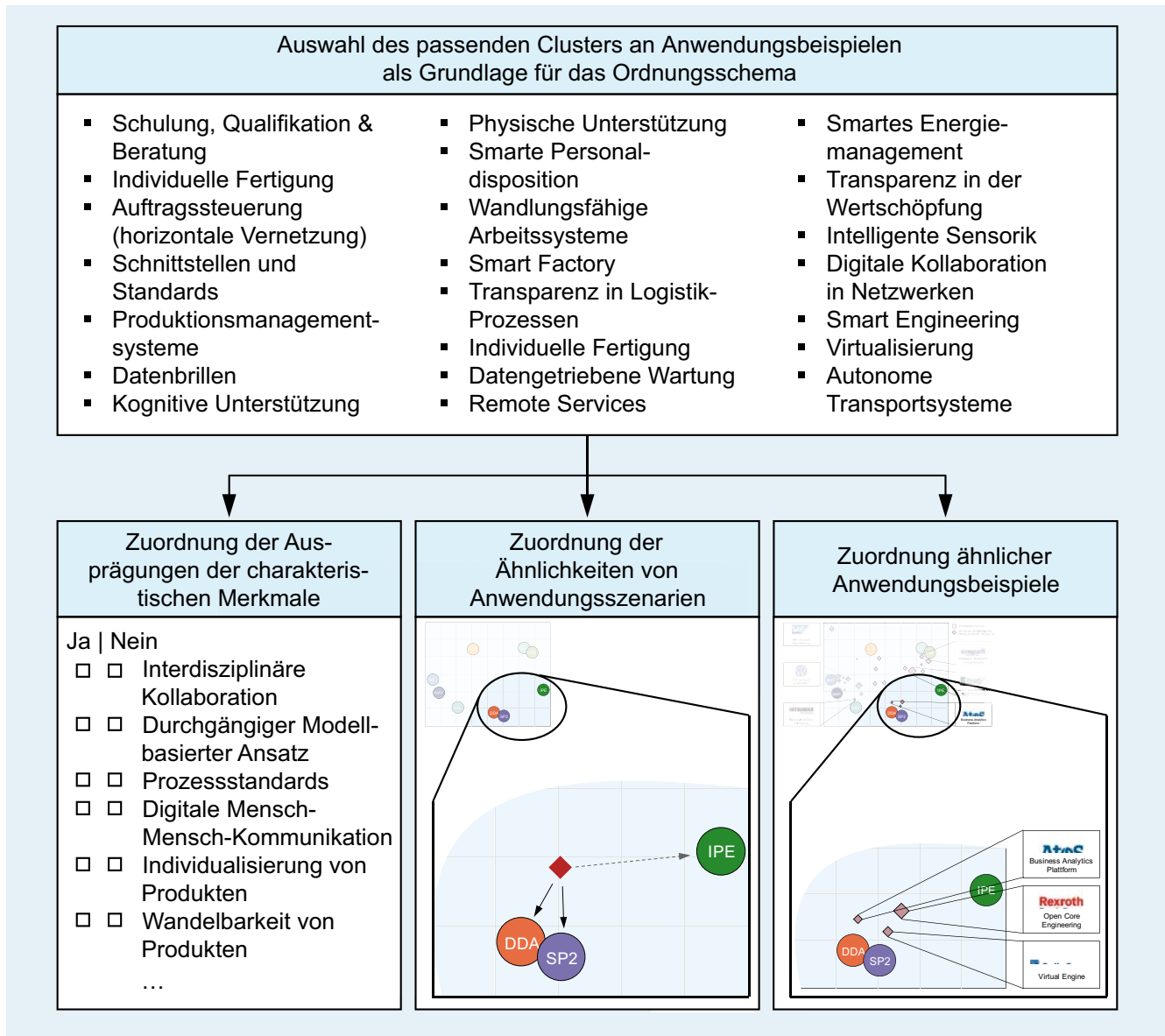
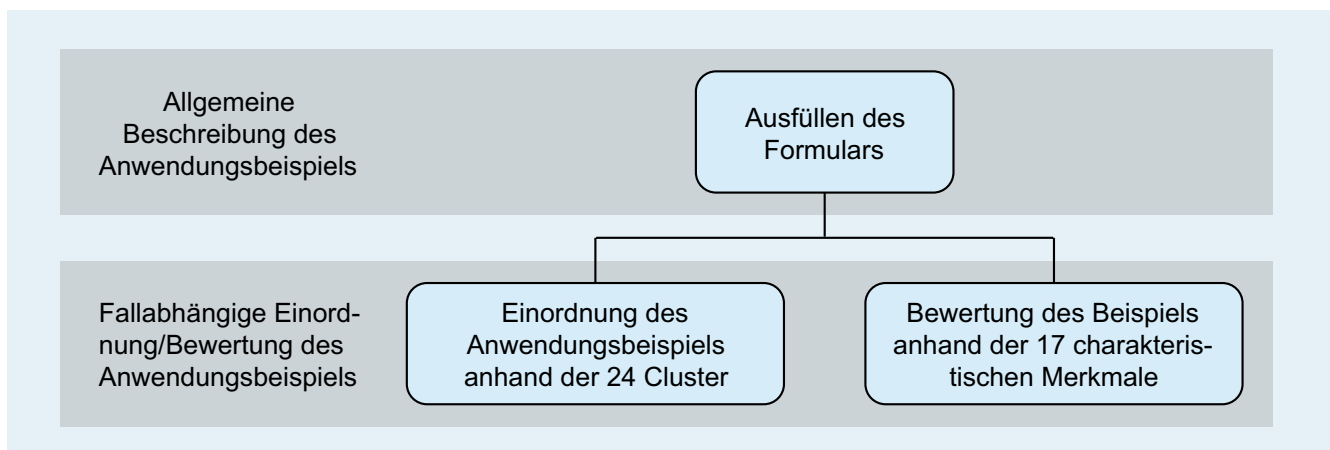


Abbildung 21: Einordnung des Anwendungsbeispiels in eines der 24 identifizierten Cluster



Anwendungsszenarien definiert. Ebenfalls wird ein Bezug zu weiteren, ähnlichen Anwendungsbeispielen hergestellt. Das Vorgehen zur Erstellung neuer Anwendungsbeispiele wird durch diese erweiterte Abfrage unwesentlich komplexer. Zum anderen ist, im Fall von neuen und nicht den Clustern zuordenbaren Anwendungsbeispielen, ein erweitertes Verfahren unter Nutzung der charakteristischen Merkmale durchzuführen. Hierbei könnten, um eine bessere Vergleichbarkeit und ein einheitliches Verständnis zu

erreichen, durch Experten alle charakteristischen Merkmale aufgrund der Beschreibung des neuen Eintrages bewertet werden. Anschließend wird der neue Eintrag durch Ausführung der MDS gemessen und verortet. Dies führt zu einem neuen Punkt innerhalb der MDS und kann bei Häufung ähnlicher Anwendungsbeispiele zu einem neuen Cluster führen. Abbildung 21 zeigt zusammenfassend das beschriebene Vorgehen zur Aufnahme und Klassifizierung neuer Anwendungsbeispiele.

# Literatur

## **Adolphs et al. 2015**

Adolphs, P./Bedenbender, H./Dirzus, D./Ehlich, M./Epple, U./Hankel, M./Heidel, R./Hoffmeister, M./Huhle, H./Kärcher, B./Koziolek, H./Pichler, R./Pollmeier, S./Schwew, F./Walter, A./Waser, B./Wollschlaeger, M.: Statusreport Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), Düsseldorf 2015.

## **Anderl et al. 2012**

Anderl, R./Eigner, M./Sendler, U.: Smart Engineering – Interdisziplinäre Produktentstehung, Springer, Heidelberg 2012.

## **Bauernhansl et al. 2014**

Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologien, Migration, Springer, Wiesbaden 2014.

## **Baumberger 2007**

Baumberger, G. C.: Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten. Dissertation, Fakultät Maschinenwesen, TU München, München 2007.

## **Bellalouna 2008**

Bellalouna, F.: Integrationsplattform für eine interdisziplinäre Entwicklung mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Ruhr-Universität Bochum, Bochum 2008.

## **Berndt 2014**

Berndt, D.: „Assistenzsysteme federn demographischen Wandel ab“. In: IFFOCUS 1/2014, Magdeburg: Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, S. 22–25, Magdeburg 2014.

## **Bischoff et al. 2015**

Bischoff, J./Taphorn, C./Braun, N.: Erschließen der Potentiale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin 2015.

## **BITKOM 2015**

BITKOM/VDMA/ZVEI: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 – Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, Berlin 2015.

## **Bruhn et al. 2009**

Bruhn, M./Stauss, B.: Kundenintegration – Forum Dienstleistungsmanagement, Gabler, Wiesbaden 2009.

## **Dumitrescu 2010**

Dumitrescu, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme, Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn 2010.

## **Friedenthal et al. 2012**

Friedenthal, S./Moore, A./Steiner, R.: A practical guide to SysML – The systems modeling language. Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, 2012.

## **Gausemeier et al. 2014**

Gausemeier, J./Anacker, H./Czaja, A. M./Wassmann, H./Dumitrescu, R.: „Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen“. In: 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, Band 310, Paderborn: Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, 2014.

## **Herfurth 2014**

Herfurth, M.: Entwicklung von prozessorientierten Informationssystemen für die industrielle Dienstleistungsbeschaffung, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2014.

## **Jütte 2002**

Jütte, W.: Soziales Netzwerk Weiterbildung, Analyse lokaler Institutionenlandschaften, Bertelsmann, Bielefeld 2002.

## **Kagermann et al. 2016**

Kagermann, H./Riemensperger, F./Hoke, D.: Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin 2016.

## **Kagermann et al. 2013**

Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt am Main 2013.

## **Lichtblau et al. 2015**

Lichtblau, K./Stich, V./Bertenrath, R.: Industrie 4.0-Readiness, Studie der IMPULS Stiftung des VDMA, Aachen 2015.

## **Meinel et al. 2009**

Meinel, C./Sack, H.: Digitale Kommunikation. Vernetzen, Multimedia, Sicherheit, Springer, Berlin 2009.

## **Nyhuis et al. 2008**

Nyhuis, P./Reinhart, G./Abele E.: Wandlungsfähige Produktionssysteme, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Berlin 2008.

## **Plattform Industrie 4.0 (a)**

Plattform Industrie 4.0 – AG Forschung und Innovation: Ergebnispapier – Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsprozessen, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin 2016.

**Plattform Industrie 4.0 (b)**

Plattform Industrie 4.0 – AG Forschung und Innovation: Ergebnispapier – Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin 2016.

**Roth 2016**

Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis, Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, 2016.

**Schenk et al. 2010**

Schenk, J./Rigoll, G.: Mensch-Maschine-Kommunikation. Grundlagen von sprach- und bildbasierten Benutzerschnittstellen, Springer, Heidelberg 2010.

**Schilling et al. 2014**

Schilling, V./Kempermann, H./Lichtblau, K.: Dienstleistungspotentiale im Rahmen von Industrie 4.0. München: VBW Verein der bayerischen Wirtschaft, München 2014.

**Schlapka 2010**

Schlapka, R.: „Privatsphäre mit System – Datenschutz in einer vernetzten Welt“. In: Symposium des LDI NRW, Düsseldorf 2010.

**Wecht 2004**

Wecht, C. H.: Das Management aktiver Kundenintegration in der Frühphase des Innovationsprozesses, Dissertation, Fakultät der Wirtschaftswissenschaften, Universität St. Gallen, St. Gallen 2004.

**Westin 2003**

Alan F. Westin: „Social and Political Dimensions of Privacy“. In: Journal of Social Issues, Vol. 59, No 2, pp. 431- 453, Hoboken 2003.

**VDI 2004**

VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik: VDI Richtlinie 2206 – Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme, Beuth, Berlin 2004.

**Projekt**

Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien (EiBILA)

**Projektleitung**

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn  
Prof. Dr. h. c. Michael ten Hompel, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

**Projektteam**

M.Sc. Timo Busert, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg  
M.Sc. Marcus Lewin, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg  
M.Sc. Robert Joppen, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn  
M.Sc. Tobias Mittag, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn  
Dipl.-Logist. Christoph Pott, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML  
M.Sc. Moritz Wernecke, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

**Projektkoordination**

Dr. Martina Kohlhuber, acatech Geschäftsstelle

**Projektlaufzeit**

01/2017 bis 10/2017

