

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Entwicklung einer Methode zur Modellierung von Industrie 4.0 Anwendungen, sowie zur Identifikation von Potentialen bei der Datennutzung in der Montage

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)

Proj.-Ass. Dipl.-Ing. Andreas Schumacher

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Christian Salvinetti

1025623

Brigittagasse 18/25

1200 Wien

Wien, im September 2016

Vorname Nachname



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.

Wien, im September 2016

Vorname Nachname

Danksagung

Ich bedanke mich herzlichst bei meinen Eltern Michael und Sylvia Salvinetti sowie meiner Freundin Lisa Kern, welche mich sowohl im Zuge dieser Arbeit als auch während des gesamten Studiums mit Ratschlägen, motivierenden Worten und anderen hilfreichen Gesten unterstützt haben.

EFS Unternehmensberatung GesmbH danke ich für die Chance, meine Diplomarbeit in einem spannenden praktischen Umfeld zu schreiben. Hervorzuheben sind Maximilian Mrstik, Alexander Rauscher und Jochen Schreiber, welche mich stets fachlich unterstützt haben.

Abschließend möchte ich mich noch bei all meinen Studienkollegen bedanken, welche mich in den Jahren meines Studiums begleitet haben.

Kurzfassung

Die vermehrte Integration des Kunden in den Produktionsprozess, in Form von Produktdesign-Homepages und vielen mehr, lässt die Variantenanzahl und Produktindividualisierung stetig ansteigen. Dadurch werden sowohl Produktentwicklung als auch Produktion komplexer. Die Montage, als Fertigstellungsort der Endprodukte, ist dabei besonders stark von der Produktindividualisierung betroffen. Ziel ist es betroffene Montagesysteme so zu gestalten, dass sie die Fähigkeit zur autonomen produktspezifischen Adaption besitzen. Dadurch wird die Herstellung individueller Produkte erleichtert. Ermöglicht wird dies durch die Industrie 4.0 und ihre neuen Informations- und Kommunikationstechnologien.

Momentan wird die Industrie 4.0 und ihre neuen Technologien, von der anwendenden Industrie mit kritischem Auge betrachtet. Die Gründe dafür sind sehr unterschiedlich. Hervorzuheben sind erstens die Unbekanntheit der Funktionsweise dieser Technologien sowie die Unwissenheit über den korrekten Einsatz besagter und zweitens ist dem Großteil der Unternehmen der tatsächliche Nutzen dieser neuen Technologien unbekannt. Allgemein lässt sich die Stärke der Industrie 4.0 durch die verbesserte Nutzung der uns umgebenden Daten zusammenfassen. Daraus ergeben sich in der Montage eine Vielzahl von Verbesserungspotentialen. Aktuell existiert jedoch keine standardisierte Methode zur Identifikation von neuen Potentialen bzw. zur Modellierung des Umgangs mit den Daten.

Hier setzt diese Arbeit auf. Es wird eine Methode entwickelt, welche eine Identifikation von Potentialen im Umgang mit Daten in der Montage ermöglicht. Weiters soll mit dieser Methode eine einfache Modellierung spezifischer Anwendungen ermöglicht werden. Kern dieser Methode ist ein Referenzmodell welches die grundlegende Funktionsweise von Industrie 4.0, also den Umgang mit Daten in der Montage darstellt. Das Referenzmodell stellt dabei den Zusammenhang bestehender Montagesysteme, in Form von eingesetzten Betriebsmitteln und Funktionen des Montierens, mit neuen Technologien der Industrie 4.0 her. Aufbauend auf diesem Modell wird in Anlehnung an bewährte Methoden des „Toyota Production Systems“ (TPS), der zweite Teil der Methode entwickelt. Das TPS wurde dabei als Vorbild gewählt, weil dessen Methoden leicht verständlich und gleichzeitig leicht umsetzbar sind. Konkret werden Fragetechniken wie die 5W- (5-mal fragen nach dem Warum) und die 6W- (Was, Wie, Warum, Wer, Wo, Wann) als Vorbild herangezogen um daraus die 4D Methode und zugehörigen Frageleitfaden zu entwickeln. Abschließend wird beides durch Nachbildung einer existierenden Anwendung erprobt.

Zur Validierung der Methode, ist im nächsten Schritt ein praktischer Einsatz sehr wichtig.

Abstract

Due to the increase of using product design-homepages and apps, the integration of customers in the production process is rising. Due to this the variance and individualization of the products is continuously growing. Because of this both the product development and the production are getting more complicated. The individualization of the products is especially effecting the Assembly, the place where the final products are completed. The target is that effected Assembly systems are able to adapt their selves autonomously on product specific requirements. This will simplify the manufacturing individual products. This will be enabled by new information- and communication-technologies of the Industry 4.0.

Currently, the using industry is viewing the new technologies of Industry 4.0 with a critical attitude. The reasons for that behavior are very different. It is possible to highlight that most companies don't know the functionality of these technologies and therefore they also don't how to use them correctly. The second highlighted reason is that the major part of companies do not know the benefit of Industry 4.0 and its new technologies. The general strength of industry 4.0 is the stronger utilization of surrounding data. This fact delivers a lot of potential improvements for the Assembly. Currently there is existing not one standardized method to identify those potentials, or to model the needed data handling.

This is what this paper aims at. A method will be developed, which allows the identification of potentials in data handling in the assembly. This method also enables an easy modelling of specific applications so the functionality can be shown. In the center of this method, there is a reference model, which pictures the basic functionality of Industry 4.0, so the data handling in the assembly. The reference model connects existing assembly systems, in form of resources and assembly functions, with new Industry 4.0 technologies. Based on this model and Inspired by proven methods of the Toyota Production System (TPS), the second part of the method will be developed. The reason for choosing TPS as role model is that those methods are easy to understand and also easy to apply. In detail the 5W (asking 5 times why) and the 6W question technique are serving as role models, so the 4D method will be developed. For this some relevant questions will be provided which can be seen as a guide line through the potential identification and data handling modelling process. In the end, an existing application will be replicated. During that replication, both the reference model and the 4D method, will be tested.

For validating this method, in the next step a practical deployment is very important.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung	3
1.1 Ausgangssituation.....	3
1.2 Problemstellung	4
1.3 Zielsetzung.....	6
1.4 Methodische Vorgehensweise	7
2 Grundlagen von Referenzmodellen	9
2.1 Modelle und deren Modellierung	10
2.2 Informationsmodelle und deren Modellierung.....	13
2.3 Referenzmodelle und deren Modellierung.....	15
3 Montage.....	20
3.1 Funktionsweise und Begriffsdefinitionen	21
3.2 Montieren.....	23
3.3 Betriebsmittel in der Montage	27
3.4 Anforderungen an zukünftige Produktionen bzw. Montagen.....	36
4 Industrie 4.0	40
4.1 CPS und andere Begriffe.....	42
4.2 Neue Technologien als Wegbereiter für die Zukunft	46
4.2.1 Begriffsabgrenzungen und Einführung	46
4.2.2 Kommunikation.....	49
4.2.3 Sensorik.....	50
4.2.4 Aktorik	51
4.2.5 Eingebettete Systeme	52
4.2.6 Mensch-Maschine Schnittstelle.....	54
4.2.7 Software/Systemtechnik	56
4.2.8 Standards und Normen.....	58
4.3 Funktionsfelder	59
5 Entwicklung eines Industrie 4.0 Referenzmodells und Vorstellung des entwickelten Modells	61
5.1 Methodik zur Entwicklung eines Referenzmodells	61
5.2 Problemdefinition	62

5.3	Konstruktion des Ordnungsrahmens	65
5.4	Konstruktion einer Referenzmodellstruktur.....	70
5.5	Komplettierung	74
5.6	Struktur des Referenzmodells	78
6	Die 4D Methode zur Identifikation von Potentialen beim Umgang mit Daten und zur Modellierung dieses Umgangs.....	85
6.1	Datenaufnahme	86
6.2	Datenverarbeitung	88
6.3	Datenaufbereitung	89
6.4	Datenübertragung.....	90
7	Das Vorgehen bei der Identifikation und Modellierung von Industrie 4.0 Anwendungen.....	92
7.1	Prozessanalyse	93
8	Veranschaulichung der Vorgehensweise bei der Nachbildung einer Anwendung anhand eines Beispiels.....	97
8.1	Datenaufnahme	99
8.2	Datenverarbeitung	101
8.3	Datenaufbereitung	103
8.4	Datenübertragung	106
8.5	Kritische Betrachtung existierender Anwendungen mit Bezug zum beschriebenen Beispiel: Einsatz einer Datenbrille zur Montageunterstützung	108
9	Schlusswort.....	109
9.1	Hypothesenableitung	110
9.2	SWOT Analyse	111
9.3	Zukünftige offene Handlungsfelder	113
10	Abbildungsverzeichnis.....	114
11	Tabellenverzeichnis	116
12	Abkürzungsverzeichnis	117
13	Literaturverzeichnis	118

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Henry Ford sagte einst

„Jeder Kunde kann sein Auto in einer beliebigen Farbe lackiert bekommen, solange die Farbe, die er will schwarz ist.“

Diese Zeiten gehören der Vergangenheit an. Von Jahr zu Jahr haben Unternehmen mit steigendem Wettbewerb zu kämpfen. Um möglichst effizient zu produzieren, arbeiten international tätige Unternehmen mit globalen Versorgungs- und Produktionsnetzwerken. Die haben den Vorteil, dass die Kosten niedrig gehalten werden, gleichzeitig aber den Nachteil, dass die Koordination und Planung deutlich komplexer wird. Ein weiterer Faktor für Komplexität stellt der Kunde selbst dar. Durch den frühen Einbezug des Kunden in den Produktentstehungsprozess, müssen Hersteller eine gestiegene Anzahl an Varianten anbieten und in weiterer Folge auch produzieren. Erschwerend kommt hinzu, dass der steigende Technologiedruck, Automobilhersteller oder aber auch Hersteller anderer technologisch hochwertiger Produkte, zu kurzen Produktlebenszeiten zwingt. Damit diese kurzen Produktlebenszeiten ermöglicht werden können, bedarf es verkürzter Produktentwicklungszeiten und einer raschen Anpassung und Neuorganisation der Produktionssysteme. Man spricht von erhöhter Flexibilität oder auch Wandlungsfähigkeit, wodurch die Komplexität der Entwicklung, Planung und Herstellung der Produkte zunimmt. ^{1,2}

Die Herstellung bzw. Produktion erhält ihre Funktionsweise durch eine aneinander Kettung von Logistik-, Fertigungs- und Montageprozessen.³ Die Montagesysteme stehen dabei am Ende der Wertschöpfungsketten, wodurch die entstehende Marktnähe solche Systeme am stärksten beeinflusst.^{4,5} In der Montage werden Einzelteile und Halbfertigteile zu Baugruppen zusammengesetzt. Um die steigende Variantenvielfalt zu beherrschen, werden flexible menschliche Arbeitskräfte eingesetzt, welche sich rasch an neue Bedingungen anpassen können. Leider ist der Mensch auch jener Baustein in der Fabrik welcher die meiste Fehleranfälligkeit besitzt. Diese nimmt mit steigender Fertigungsvarianz und -geschwindigkeit weiter zu. Bisher wurden Werkzeuge aus dem Toyota Production System (TPS) zur Optimierung bestehender Prozesse eingesetzt. Seit einigen Jahren existiert nun ein weiterer

¹ Vgl. Wiendahl et al. 2014

² Vgl. Abele und Reinhart 2011

³ Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 170

⁴ Auerbach Thomas et al. 2011, S. 917

⁵ Vgl. Spath 2013, S. 12–14

Begriff, welcher die Optimierung von Geschäftsprozessen verspricht und den Umgang mit der hohen Variantenzahl erheblich vereinfacht. Man spricht von Industrie 4.0.

Industrie 4.0 stellt die Abkürzung für die vierte industrielle Revolution dar. Bei dieser handelt es sich um den industriellen Einsatz von Cyberphysischen Systemen (CPS). Ermöglicht wird dies durch die Implementierung von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien in Fabrikhallen. Unter Cyberphysischen Systemen versteht man „...offene sozitechnische Systeme, die durch die hochgradige Vernetzung der physikalischen, sozialen und virtuellen Welt, sowie durch die intelligente Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien entstehen.“⁶ Von sozitechnischen Systemen spricht man, wenn eine Vernetzung von menschlichen Handlungssystemen mit technischen Systemen auftritt.⁷

Werden CPS in der Produktion eingesetzt spricht man von Cyberphysischen Produktionssystemen (CPPS). Von diesen verspricht man sich neben der Optimierung der Kosten, Durchlaufzeiten, Bestände und des Ressourcenverbrauchs auch eine Verbesserung der Montagegestaltung in Bezug auf Altersgerechtigkeit und Ergonomie.⁸ Der Mensch wird dabei durch technische und digitale Assistenzsysteme unterstützt. CPPS brillieren durch ihre Fähigkeit zur flexiblen Umgestaltung und Erweiterbarkeit und werden zunehmend selbstregulierend und -steuernd agieren.⁹

Die Ausgangssituation bei Industrie 4.0 Anwendungen hängt stark vom Industriezweig und von der Größe des Unternehmens ab. Die Automobilindustrie, in welcher Innovation von zentraler Bedeutung ist, befindet sich bereits am Sprung in das neue Zeitalter.¹⁰ Getrieben wird diese Innovationsfreude durch, wie oben schon erwähnt, starken Konkurrenzdruck, steigender Variantenvielfalt und dadurch steigender Komplexität. Klein- und Mittelunternehmen hingegen, sind von einem Aufstieg in das Industrie 4.0 Zeitalter noch weiter entfernt.

1.2 Problemstellung

Umstellung der Unternehmensstruktur auf die Prinzipien der Industrie 4.0 kann nicht von heute auf morgen erfolgen. Da Industrie 4.0 Anwendungen durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht werden, bedarf es oftmals einer Kombination von mehreren Technologien mit unterschiedlichen Funktionen und Aufgaben. Da Unternehmen selten neue Fabriken planen und schließlich auch bauen,

⁶ Geisberger und Broy 2012, S. 17

⁷ Vgl. Eßer 2015

⁸ Siehe URL:

http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20141211_OTS0028/produktivitaetssteigerungen-durch-ergonomische-arbeitssystem-gestaltung-und-cyber-physikalische-montagesysteme, abgerufen am 17.08.16

⁹ Vgl. Spath 2013, S. 18

¹⁰ Vgl. Dipl.-Ing. Dr. MBA Kurt Hofstädter 2016

werden in den meisten Fällen bestehende Produktionssysteme laufend optimiert. Im Falle der Anpassung nach Industrie 4.0 Gesichtspunkten werden neuartige Technologien in bestehende Produktionssysteme eingegliedert. Die Einführung von „Industrie 4.0 Systemen“ wird durch eine Anfahrphase geprägt sein, in welcher vorwiegend Insellösungen realisiert werden. Diese Implementierung ist oftmals mit langwierigen und aufwendigen Abstimmungsprozessen zwischen neuen Systemen und bestehenden Betriebsmitteln verbunden.¹¹

Für technologieanwendende Unternehmen ergibt sich daraus die Schwierigkeit, in bestehenden Produktionssystemen Industrie 4.0 Potentiale und individuelle Industrie 4.0 Lösungen zu identifizieren und anschließend diese Produktionssysteme dahingehend zu adaptieren.¹² Herkömmliche standardisierte Methoden und Werkzeuge zur Identifikation von Optimierungspotentialen nach den „Lean“-Gesichtspunkten stoßen dabei an ihre Grenzen.

Damit anwendende Unternehmen im Stande sind Industrie 4.0 Potentiale selbstständig zu identifizieren, ist es notwendig dass diese die grundlegende Funktionsweise von Industrie 4.0 Anwendung und einhergehenden Technologien kennen und verstehen. Die benötigte Kombination einer Vielzahl von komplexen Technologien und Techniken erschwert dies zunehmend. Zwischen Technologieanbietern und -anwendern entsteht dabei eine Wissenskluff, wodurch Technologieanbieter erschwerte Bedingungen vorfinden, ihre Ware an den Mann zu bringen und Anwender nicht in der Lage sind, ihre Vorteile zu erkennen.

Der Begriff Technologie ist eine Umschreibung aller befähigenden Kenntnisse und physikalischer Hilfsmittel zur Lösung praktischer Probleme.¹³ Technik kann als die Art der Anwendung von Technologien verstanden werden, wie beispielsweise „Smart glasses“ welche eine bestimmte Mensch-Maschine Interaktion ermöglichen.¹⁴

Als Beispiel können hier Assistenzsysteme angeführt werden, welche vom Mittelstand bisher nur sehr selten eingesetzt werden, da ihrerseits ein Wissensdefizit bezüglich der technischen Möglichkeiten vorliegt.¹⁵

Gespräche mit unterschiedlichen Entscheidungsträgern der Automobilindustrie haben gezeigt, dass auch hier das Thema Industrie 4.0 bei weitem noch nicht flächendeckend mit einheitlichem Inhalt verstanden wird. Da die Automobilindustrie stark technologiegetrieben ist, wird die Forschung von Industrie 4.0 an vielen Ecken gefördert. Um die Forschungsergebnisse zu validieren, werden oftmals Prototypen in

¹¹ Vgl. Hirsch-Kreinsen 2015

¹² Vgl. Schenk et al. 2014, S. 90

¹³ Vgl. Schumacher et al. 2016, S. 14

¹⁴ Vgl. Ebenda, S. 14

¹⁵ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 143

abgegrenzten Bereichen eingesetzt. Die Ableitung des konkreten Nutzens von verschiedenen Anwendungen fällt ihnen dennoch schwer. In diesem Zusammenhang suchen Automobilhersteller auch vermehrt Rat bei Unternehmensberatungen.

Bei Diskussionen haben sich nun mehrere Problemstellungen herauskristallisiert:

- Die Funktionsweise von Industrie 4.0 ist wegen der Vielzahl an benötigten Technologien nur sehr schwer zu kommunizieren.
- Der tatsächliche Einfluss der Anwendungen auf bestehende Prozesse und Techniken bzw. Betriebsmittel ist entweder gar nicht, oder nur in bedingter Form bekannt.
- Zur Erhebung von neuen (Industrie 4.0) Potentialen, und in weiterer Folge Identifizierung neuer Anwendungen, existieren keine standardisierten Methoden und Werkzeuge.
- Zur überblicksmäßigen Darstellung der Funktionsweise der Anwendung, sowie der eingesetzten Technologien, Techniken und deren Zusammenspiel, gibt es keine einheitliche standardisierte Methode und Werkzeuge.

1.3 Zielsetzung

Die verstärkte Integration des Kunden in den Produktentstehungsprozess, bewirkt in der Montage und ihren Montagesystemen eine noch nie dagewesene Kundennähe. Diese Tatsache lässt den Bedarf an Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit steigen. Weiters ist die Montage der kostenintensivste innerbetriebliche Bereich, in welchem rund 70% der Gesamtkosten verursacht werden. Die Verantwortung für die verursachten Kosten liegt allerdings zum Großteil in der vorgelagerten Planung bzw. Konstruktion.¹⁶ Daraus lässt sich ableiten, dass die Umstellung auf Industrie 4.0, für Montagesysteme von besonders hoher Bedeutung ist.¹⁷ Montagesysteme können eine Vielzahl unterschiedlicher Eigenschaften besitzen, wobei sich diese aus den einzelnen Systemelementen und deren Verknüpfung ergeben.¹⁸ Die Systemelemente können im Wesentlichen als Betriebsmittel und Menschen zusammengefasst werden, wobei Betriebsmittel die „Gesamtheit der Einrichtungen, Geräte und Anlagen zur Erfüllung einer Produktionsaufgabe“¹⁹, sind. Die einzelnen Systemelemente werden verknüpft durch Organisation und dem Material-, Energie-, Informations- und Kommunikationsfluss.²⁰

Diese Arbeit beschäftigt sich zunächst mit der Frage, wie Industrie 4.0 Anwendungen in ihren Grundzügen funktionieren und welchen Einfluss sie nach ihrer

¹⁶ Bruno Lotter 2012a, S. 6

¹⁷ Vgl. Pachow-Frauenhofer 2012

¹⁸ Vgl. Wiendahl et al. 2014

¹⁹ Wiendahl et al. 2014, S. 178

²⁰ Vgl. Wiendahl et al. 2014

Implementierung in Montagesysteme, auf bestehende Systeme und Prozesse haben. Darauf aufbauend soll eine Methode entwickelt werden, welche es ermöglicht bestehende Prozesse auf Industrie 4.0 Potentiale zu untersuchen und auf Basis dessen dann neue Anwendungen abzuleiten und zu modellieren. Kern dieser Methode stellt ein Referenzmodell dar, welches einerseits als Vorbild zur Modellierung spezifischer Anwendungen herangezogen werden kann und andererseits als Leitfaden für die Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen und Anwendungen dienen soll. Mit besagtem Referenzmodell und einer dazu passenden Methode, sollen die ersten Werkzeuge für eine aufwandsarme und zugleich erfolgreiche Identifikation und Analyse von Industrie 4.0 Anwendungen bereitgestellt werden.

1.4 Methodische Vorgehensweise

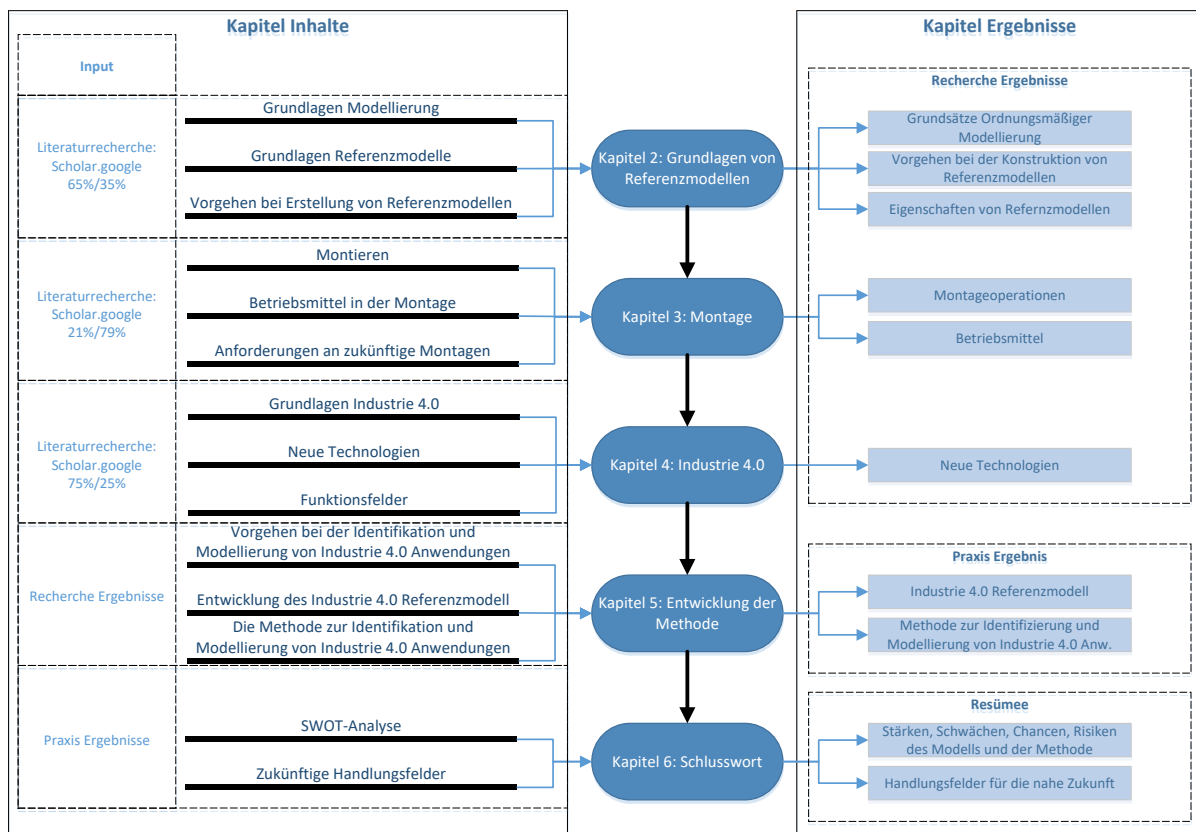


Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise - Links Kapitel Inhalte und der jeweilige Input zur Erarbeitung und rechts die jeweiligen Ergebnisse aus den einzelnen Kapiteln

In Abbildung 1 ist die methodische Vorgehensweise dieser Arbeit schematisch dargestellt. In der Mitte finden sich die einzelnen Kapitel dieser Arbeit. Links davon werden die zusammengefassten Inhalte und die jeweiligen Inputs angeführt, während rechts die Ergebnisse aus den einzelnen Abschnitten dargestellt sind. In den ersten 3 Kapiteln erkennt man, dass für die Erarbeitung der Inhalte eine Literaturrecherche durchgeführt wurde. Welche Art von Literatur in den einzelnen Kapiteln behandelt wird, wird in Abbildung 1 auf der linken Seite mit Prozentzahlen ausgedrückt. Jene Zahl links des Schrägstrichs gibt den Anteil an verwendeten Vorträgen, Normen, oder Studien

an, während die Zahl rechts davon, den Anteil an verwendeten Fachbüchern darstellt. Für die Erarbeitung des fünften Kapitels werden dann die Rechercheergebnisse als Input eingesetzt und für das Schlusswort die Praxisergebnisse aus Kapitel 6.

Kapitel 2 beschäftigt sich mit den Grundlagen von Referenzmodellen und der Modellierung an sich. Mittels Literaturrecherche werden sukzessive die theoretischen Grundlagen zur Modellierung an sich und zur Erstellung von Referenzmodellen erarbeitet. Hervorzuheben sind in diesem Kapitel die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung, sowie das Vorgehen bei der Erstellung von Referenzmodellen. In Kapitel 3 sind die theoretischen Grundlagen der Montage festgehalten. Das Wissen aus Kapitel 3 wird im Zuge umfassender Literaturrecherchen erlangt. Im Zuge der Literaturrecherchen werden wegen der Bekanntheit des Themengebiets und der weit fortgeschrittenen Forschung auf verschiedenste Fachbücher, Normen und Richtlinien zurückgegriffen. Hauptaugenmerk dieses Kapitels liegt bei der Aufbereitung der in der Montage durchgeführten Prozesse und der dafür eingesetzten Betriebsmittel. Kapitel 4 beschäftigt sich im ersten Teil allgemein mit den Grundlagen der Thematik Industrie 4.0 und im zweiten Teil mit der detaillierten Betrachtung der industrierelevanten Technologien. Da Industrie 4.0 Anwendungen durch eine Kombination verschiedenster Technologiefelder ermöglicht werden, ist es zwingend notwendig diese genau zu untersuchen. Die Inhalte aus Kapitel 4 werden ebenfalls mittels Literaturrecherche erfasst. Hierfür wird die Suchmaschine „scholar.google.at“ eingesetzt. Da in den letzten Jahren ein regelrechter Hype um Industrie 4.0 entstanden ist, werden momentan nahezu täglich neue wissenschaftliche Studien zum Thema Industrie 4.0 publiziert. Auf diese wird in Kapitel 4 vorwiegend zurückgegriffen. In Kapitel 5 wird die Methode zur Identifizierung und Modellierung von Industrie 4.0 Anwendungen erarbeitet. Hierfür werden alle drei vorangegangenen Kapitel herangezogen. Im ersten Schritt wird die grundlegende Methode zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen sowie der Ableitung von Anwendungen erklärt. Hauptaugenmerk des Kapitels liegt allerdings auf der Entwicklung eines Referenzmodells. Dafür werden die in Kapitel 2 beschriebenen Grundsätze der ordnungsmäßigen Modellierung, sowie das Vorgehen zur Konstruktion von Referenzmodellen eingesetzt. Das Referenzmodell wird Schritt für Schritt mit den Inhalten aus Kapitel 3 und 4 angereichert. Im Anschluss wird eine Methode vorgestellt, die in Kombination mit dem Referenzmodell zur Identifikation von neuen und zur Analyse von existierenden Anwendungen eingesetzt werden kann. Abschließend wird der kombinierte Einsatz an Hand der Modellierung einer spezifischen Anwendung erprobt. In Kapitel 6 wird die Arbeit abschließend zusammengefasst und das Referenzmodell mittels SWOT-Analyse untersucht. Daraus werden die nächsten Handlungsfelder abgeleitet.

2 Grundlagen von Referenzmodellen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit Modellen und ihrer Erstellung. Im Detail werden hier Referenzmodelle und die zugehörige Modellierung betrachtet. Referenzmodelle sind eine Empfehlung für die Entwicklung spezifischer Modelle, welche den Modellersteller bei der Modellbildung unterstützen sollen. Referenzmodelle stellen allgemeingültige Lösungsvorschläge für eine abstrakte Klasse von Problemen bereit und unterstützen damit die Problemlösung von konkreten Aufgabenstellungen.²¹ Referenzmodelle stellen ein Modellmuster für eine Gruppe zu modellierender Sachverhalte bereit.^{22,23} Basierend auf dieser Tatsache kann die Referenzmodellierung in zwei Prozesse gegliedert werden²⁴:

- Die Konstruktion eines Referenzmodells, welches als Mustermodell und allgemeingültige Lösung für verwandte Probleme eingesetzt werden soll.
- Der Einsatz eines Referenzmodells, zur Entwicklung spezifischer Modelle oder Problemlösungen auf Grundlage dieses Musters für einen konkreten Anwendungsfall.

Referenzmodelle können auf Grund ihrer Allgemeingültigkeit sowie des präskriptiven und normativen Charakters, weder bewiesen noch widerlegt werden.²⁵ An Stelle der Beweisbarkeit bzw. Falsifizierbarkeit rücken die Kriterien der Nützlichkeit bzw. Anwendbarkeit.²⁶ Um eine hohe Qualität zu gewährleisten, ist das richtige Vorgehen bei der Erstellung von Referenzmodellen besonders wichtig.²⁷

In diesem Kontext gilt es bestimmte formale und inhaltliche Aspekte zu beachten. Unter formalen Aspekten versteht man bei der (Referenz-)Modellierung die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. Im Detail werden diese in späteren Abschnitten beschrieben. Neben den formalen Aspekten beeinflussen die zu modellierenden Inhalte die Erstellung. Als Inhalte werden Abläufe, Objekte oder Entscheidungssituationen zusammengefasst. Sie dienen damit als vorgefertigtes Lösungsschema oder als generelles Normativ für eine bestimmte Klasse von Entscheidungsproblemen.²⁸ Das bedeutet, dass die Inhalte eines Referenzmodells problemspezifisch und je nach Aufgabenstellung festzulegen sind.²⁹

²¹ Vgl. Andreas Pescholl 2010, S. 43

²² Vgl. Scheer 1997, S. 3

²³ Vgl. Fetke und Loos 2002, S. 9

²⁴ Ebenda, S. 10

²⁵ Vgl. Schütte 1998, S. 70

²⁶ Vgl. Andreas Pescholl 2010, S. 43

²⁷ Vgl. Ebenda

²⁸ Vgl. Ebenda, S. 44

²⁹ Vgl. Ebenda, S. 44

2.1 Modelle und deren Modellierung

Modelle spielen in der Ingenieur- und Betriebswissenschaft häufig eine wichtige Rolle. Oftmals treten komplexe Probleme auf, welche mit Hilfe von einfachen Modellen beschrieben und analysiert werden können. Modelle sind demnach „eine vereinfachte Nachbildung eines existierenden oder gedachten Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System, welches sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild unterscheidet“³⁰, oder einfacher ausgedrückt, die Replikation eines Realitätsausschnitts.³¹

Modelle dienen als Hilfsmittel, um den Umgang mit der äußerst komplexen Realität, dem realen System, zu erleichtern.³²

Die Erstellung von Modellen wird Modellbildung genannt und beschäftigt sich mit der Abbildung von Elementen eines Realitätsausschnitts und der Relation zwischen den Elementen.³³ In der „VDI Richtlinie 2249“ wird das Entwickeln eines neuen Modells oder die Veränderung eines bestehenden, als Modellieren bezeichnet.³⁴

Modelle sind ihren Originalen nicht zwingend zugeordnet. Damit sie eingesetzt werden können, muss die Modellbildung und die Modelloperationen bestimmten Zwecken und Zielen unterliegen. Daraus lassen sich fünf Elemente des Beziehungssystems von Modellen zu ihrer Umwelt ableiten³⁵:

- Das Modell
- Das Modellobjekt (reales System)
- Das Modellsubjekt (Modellersteller/-nutzer)
- Die Zeitspanne, für die das Modell das Original repräsentiert und
- Der Modellzweck.

Die Beziehung zwischen dem Modellsubjekt, dem Modell und dem Modellobjekt, lässt sich in einem Beziehungsdreieck darstellen. In diesem erstellt, bzw. setzt das Modellsubjekt ein Modell ein, welches ein Modellobjekt, repräsentiert. Das Modellsubjekt verfolgt dabei das Ziel, ein bestimmtes Modellobjekt zu erklären, abzubilden oder zu verbessern, Abbildung 2.

³⁰ VDI 3633

³¹ Vgl. Dörner 1984, S. 337

³² Vgl. Lilien et al. 2003

³³ Vgl. Manhart 2007, S. 7

³⁴ VDI 2249

³⁵ Vgl. Stachowiak 1980

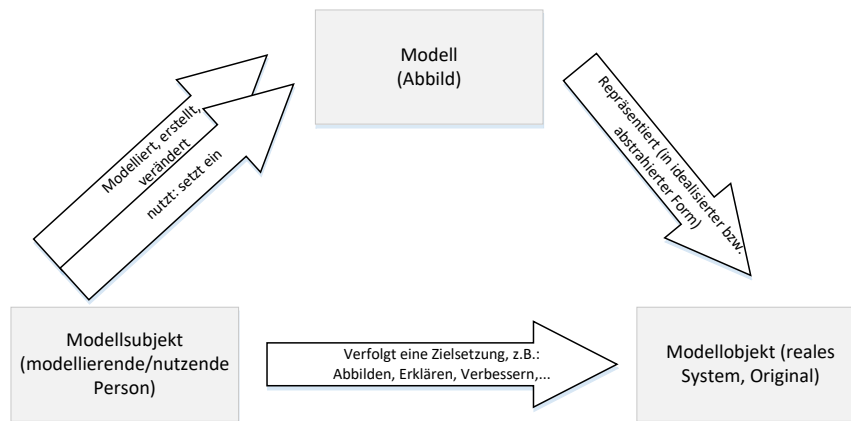


Abbildung 2: Beziehungsdreieck³⁶

Für die erfolgreiche Erstellung und anschließende Nutzung eines Modells, bedarf es im Vorfeld einer möglichst exakten Abgrenzung des zu modellierenden Teilsystems, dem Modellobjekt. Die Abgrenzung des Modellobjekts erfolgt durch Festlegung des Modellzwecks. Der Modellzweck lässt sich von der Zielsetzung des Modellsubjekts ableiten. "Der Zweck, den der Modellnutzer mit dem Modell verfolgt, liegt in der Bewältigung eines Problems, wobei ein Problem als eine subjektiv wahrgenommene Abweichung zwischen Erreichtem und Erwünschtem, verbunden mit einem Mangel an Wissen über Möglichkeiten, diese Lücke zu schließen, verstanden wird."³⁷ Die Konsequenz daraus ist, dass die Richtigkeit der Darstellung des Sachverhalts im Modell, niemals gerechtfertigt werden kann.³⁸ Die Konstruktion des Abbilds stellt lediglich den Begründungs- und Rechtfertigungszusammenhang zur realen Welt dar und kann als sprachliche Handlung, dem Spezifizieren, verstanden werden.³⁹

Unter anderem stellt sich hier auch die Frage nach dem Umfang des Modells. Soll es mehrere Aufgaben, oder nur ein paar wenige, erfüllen. Bossel befindet Modelle mit mehreren Aufgaben als nicht zweckmäßig, da sie fehleranfällig und weniger effektiv als angepasste spezifische Modell sind.⁴⁰

Modellobjekte oder betrachtete Systeme lassen sich grundsätzlich in drei Systemarten unterscheiden:

- soziale,
- sozio-technische und
- technische Systeme.

Bei sozialen Systemen wird die psychische Komponente einer einzelnen Person oder die Interaktion mehrerer Personen modelliert. Bei der Modellierung von Sozio-

³⁶ Bandow und Holzmüller 2010, S. 10

³⁷ Roland Holten 2001, S. 2

³⁸ Ebenda, S. 2

³⁹ Wedekind H. 1981, S. 50

⁴⁰ Vgl. Bossel 1994

technischen Systemen wird die Interaktion von Mensch und Maschine modelliert. Bei technischen Systemen handelt es sich ausschließlich um technische Elemente bzw. physikalische Komponenten. Menschen werden in diesen Systemen höchstens als physische Elemente berücksichtigt, jedoch nicht in die funktionale Struktur einbezogen. Hier werden nur technische Elemente und ihre Interaktion untersucht.⁴¹

Modelle können für gewöhnlich in zwei Arten, je nach dem Modellzweck, unterteilt werden⁴²:

- Modelle zur Nachahmung eines Verhaltens, also der Wiedergabe von beobachteten Verhalten
- Modelle zur Erklärung von Phänomenen, durch Abbildung bzw. Nachbildung der inneren Struktur

Beim ersten Modellierungsansatz basiert das Modell auf einem beobachteten Verhalten und kann wegen der oberflächlichen Systembetrachtung nur Systeme abbilden, welche bereits eingesetzt wurden. Beim zweiten Ansatz können Phänomene auch erklärt werden, auch wenn diese Systeme in der Realität noch nicht eingesetzt wurden. Diese besitzen wegen ihrem höheren Detailgrad die Fähigkeit Systeme zu erklären.^{43,44}

Grundlegende Vorgehensweise bei der Modellierung

Modelle werden mit Absicht nicht originalgetreu zum realen System erstellt.⁴⁵ Abhängig von Verwendungszweck des Modells, werden bei der Modellierung Details weggelassen oder bestimmte Eigenschaften hervorgehoben.⁴⁶ Das Modellobjekt selbst, sowie die Ziele des Modellsubjekts sind dabei maßgebend. Man spricht bei der Modellierung von zwei wesentlichen Vorgängen, dem Abstrahieren und dem Idealisieren. Bei der Abstraktion handelt es sich um „Vorgänge zur Reduzierung der Komplexität eines Problems durch Trennung der für bestimmte Aspekte der Problemlösung wichtigen und unwichtigen Details.“⁴⁷ Durch die Idealisierung wird das betrachtete System bis zu einem gewissen, den Anforderungen noch genügenden Grad, vereinfacht. Bei der Idealisierung werden untergeordnete Eigenschaften und Einflüsse weggelassen, sodass die wesentliche Eigenschaft eines Systems hervorgehoben wird.⁴⁸ Das Modellsubjekt entscheidet zweckorientiert über den Grad

⁴¹ Vgl. Bandow und Holzmüller 2010, S. 12

⁴² Vgl. Bossel 1994

⁴³ Vgl. Ebenda

⁴⁴ Vgl. Bandow und Holzmüller 2010, S. 14

⁴⁵ Vgl. Ebenda, S. 18

⁴⁶ Vgl. Kastens und Kleine Büning 2005

⁴⁷ VDI 3633

⁴⁸ Vgl. Bandow und Holzmüller 2010, S. 18

der Abstraktion und Idealisierung, wobei der Zweck konkret vom Modellnutzer definiert wird.⁴⁹ Modellierer und Modellnutzer können oftmals auch die selbe Person sein.

Der erste Schritt bei der Modellierung ist die Erstellung eines verbalen Modells welches einen ersten groben Entwurf liefert. Aus diesem Entwurf werden dann im nächsten Schritt die relevanten Beziehungen abgeleitet und in ein graphisches oder mathematisches Modell überführt.^{50,51}

Zur Erstellung von Modellen werden bestimmte Werkzeuge eingesetzt, welche als Hilfsmittel zur Veränderung oder Erstellung von Modellen dienen. Diese können im einfachsten Fall Formen wie Stift und Papier annehmen und im komplexesten Fall spezielle Software-Programme sein.⁵²

Nach Abschluss der Modellierung wird das Modell einer Validierung unterzogen. Mit dieser wird der Nachweis erbracht, dass das Modell im wesentlichen Verhalten, jenem des Originals übereinstimmt. Wurde dieser Nachweis erbracht, kann das Modell im Anschluss zweckorientiert eingesetzt werden.⁵³

2.2 Informationsmodelle und deren Modellierung

Informationsmodelle beschreiben relevante Informationen eines (betrieblichen) Systems.⁵⁴ Der Verwendungszweck von Informationsmodellen lässt sich in Organisations- und Anwendungssystemgestaltung eingrenzen.^{55,56}

Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung

Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) liefern, zusätzlichen zu den formalen Regeln der Prozessmodellierung, weitere Empfehlungen für die Gestaltung von Modellen. Diese Empfehlungen erstrecken sich vom Beginn und Ende des Prozesses, über den Detailierungsgrad, der Einbettung in einen Ordnungsrahmen, der Zweckgebundenheit bis hin zur intersubjektiven Verständlichkeit.⁵⁷ Dafür wurden 6 Grundsätze definiert.

- **Grundsatz der Richtigkeit**

Da es sich bei diesen Modellen um abstrakte Konstruktionen der vom Modellsubjekt wahrgenommenen Realität handelt, ist die Überprüfung ob das

⁴⁹ Holten 1999, S. 2

⁵⁰ Vgl. Bandow und Holzmüller 2010, S. 19

⁵¹ Vgl. Bossel 1994

⁵² Vgl. Bandow und Holzmüller 2010, S. 19

⁵³ Vgl. VDI 3633

⁵⁴ Vgl. Schütte 1998, S. 63

⁵⁵ Vgl. Becker 2004, S. 88

⁵⁶ Schütte 1998, S. 63

⁵⁷ Jörg Becker 1998, S. 4

Modell tatsächlich dem Abbild der Realität entspricht, formal nicht überprüfbar bzw. beweisbar.⁵⁸ Unter Richtigkeit versteht man, den Einsatz von geeigneten Modellierungsinstrumenten, welche als Sprache interpretiert werden können. Die Praxis zeigt, dass hier immer wieder Unzweckmäßigkeiten auftreten. Der Grundsatz lässt sich in die semantische und in die syntaktische Richtigkeit unterteilen.⁵⁹ Die Semantik und die Syntaktik sind Begriffe aus der Semiotik, der allgemeinen Sprachtheorie. Die Semantik beschäftigt sich mit der Bedeutung der einzelnen Zeichen, bzw. Begriffen, während sich die Syntaktik mit den Zeichen und ihren Beziehungen zueinander auseinandersetzt.⁶⁰ Das bedeutet, um eine semantische Richtigkeit zu gewährleisten, bedarf es einer strengen Definition und Nutzung von Namenskonventionen.⁶¹ Die syntaktische Richtigkeit ist gegeben, wenn sich im Modell keine Logikbrüche, bzw. falsche Beziehungen befinden.

- **Grundsatz der Relevanz**

Das Modell muss, angepasst an den Verwendungszweck, alle relevanten Informationen beinhalten.⁶² Bei der Konstruktion eines Modells besteht im Allgemeinen kein Anspruch auf Vollständigkeit in Bezug auf die Realität, siehe Abschnitt 2.3. Es liegt im Ermessen des Modellierers Details wegzulassen oder bestimmte Eigenschaften hervorzuheben. Dafür ist es wichtig den Verwendungszweck bzw. das Modellierungsziel so genau wie möglich zu kennen.

- **Grundsatz der Wirtschaftlichkeit**

Bei diesem Grundsatz stellt man Modellierungsaufwand und Nutzen gegenüber. Es stellt sich die Frage auf welchem Detaillierungsgrad man modelliert. Allgemein gilt es die Persistenz der realen Welt zu betrachten. Kommt es auf hohem Detailniveau ständig zu Änderungen, empfiehlt es sich ein Modell mit niedrigerem Detailgrad zu erstellen. Voraussetzung hierfür ist immer, dass der verminderte Detailgrad zu einer vertretbaren Qualitätsminderung im Modell führt. Ein strukturierter Ordnungsrahmen stellt den Themenkomplex geordnet und vereinfacht dar und dient als Navigationshilfe durch den Betrachtungsgegenstand. Er hilft bei der Einordnung von Teilmodellen in den Gesamtkontext und ermöglicht eine wirtschaftliche Erstellung und effiziente Nutzung der Modelle.⁶³

⁵⁸ Vgl. Jörg Becker 1998, S. 4

⁵⁹ Vgl. Ebenda, S. 4

⁶⁰ Siehe URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/syntaktik.html>, abgerufen am 21.07.16

⁶¹ Vgl. Jörg Becker 1998, S. 4

⁶² Vgl. Ebenda

⁶³ Vgl. Ebenda, S. 5

- **Grundsatz der Klarheit**

Kernaussage dieses Grundsatzes ist, dass Modelle so einfach wie möglich aber so kompliziert wie nötig sein sollten.⁶⁴ Das impliziert Leserlichkeit, Verständlichkeit und bestmögliche Anschaulichkeit.⁶⁵ Das Modell soll nur jene Elemente enthalten, welche zum Verständnis und zur Wiedergabe der Intention notwendig sind.⁶⁶

- **Grundsatz der Vergleichbarkeit**

Modelle welche mit unterschiedlichen Verfahren erstellt worden sind, sollen inhaltlich miteinander vergleichbar sein.⁶⁷ Ist ein Vergleich nicht einfach durchführbar, so kann eine Überführung mit einem Beziehungsmetamodell erfolgen.⁶⁸

- **Grundsatz des systematischen Aufbaus**

Wurden Modelle aus unterschiedlichen Sichten (Organisationssicht, Datensicht, Funktionssicht etc.) erstellt, bedarf es einer sichtenübergreifenden Konsistenz. Ein Beispiel stellt hier ein Funktionsmodell dar, in welchem auf Daten referenziert wird. Diese Daten sollten dann, zur Darstellung eines vollständigen Abbilds auch in einem separaten Datenmodell modelliert sein.⁶⁹

2.3 Referenzmodelle und deren Modellierung

Referenzmodelle sind eine weitere Art von Modellen. Der Begriff Referenz bedeutet Verweis bzw. Bezug mit Empfehlungscharakter.⁷⁰ Daraus lässt sich ableiten, dass Referenzmodelle eine Art Meta- oder Sollmodell, mit allgemeingültigen Empfehlungen sind. Im Speziellen werden diese beim organisatorischen Aufbau von Prozessen und Informationssystemlandschaften sowie für „Informationsmodelle in Unternehmen, Unternehmensklassen und anderen professionellen Kontexten“⁷¹ eingesetzt. Meta-Modelle unterstützen dabei den Modellierenden auf abstrakter Ebene, während „Soll-Modelle zum direkten Abgleich mit Modellierungsergebnissen“⁷² dienen. Referenzmodelle können aus unterschiedlichen Bausteinen bestehen.⁷³ Beispiele hierfür sind domänencharakteristische Elemente, Vorgehens- und Phasenmodelle, informationstechnische Modelle mit Implementierungsaspekten, Rollenkonzepten, Dokumentier-Vorschriften und Ähnlichem.⁷⁴ Diese Bausteine können aus Literaturrecherchen oder theoretischen Überlegungen abgeleitet werden.

⁶⁴ Vgl. Jörg Becker 1998, S. 5

⁶⁵ Vgl. Ebenda

⁶⁶ Vgl. Ebenda

⁶⁷ Vgl. Ebenda, S. 6

⁶⁸ Vgl. Ebenda, S. 6

⁶⁹ Vgl. Ebenda, S. 7

⁷⁰ Vgl. Vom Brocke 2015, S. 30

⁷¹ Andreas Pescholl 2010, S. 50

⁷² Ebenda, S. 50

⁷³ Vgl. Ebenda

⁷⁴ Vgl. Andreas Pescholl 2010, S. 50

„Unter einem **Referenzmodell** (ausführlich: Referenzinformationsmodell) ist ein Informationsmodell zu verstehen, mit dem eine modellhafte, abstrahierende und allgemeingültige Beschreibung von Richtlinien, Empfehlungen oder der Organisation, Prozessen, Funktionen und Daten für Unternehmen in strukturierter, komprimierter und konsistenter Form dargestellt wird. Es stellt für eine große Anzahl von Einzelfällen eine systematische und allgemeingültige Beschreibung eines definierten Bereichs dar und leistet durch die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit des Inhalts einen Beitrag zur Unterstützung bei der Ableitung von spezifischen Modellen und definiert dadurch den Bezugspunkt für ein Informationssystem.“⁷⁵

Zusammenfassend ist ein Referenzmodell also ein Modell, welches als Grundlage für die Modellierung anderer Modelle, in der selben Domäne, dient.⁷⁶

Die zwei wichtigsten Eigenschaften von Referenzmodellen sind die Allgemeingültigkeit und der Empfehlungscharakter. **Allgemeingültigkeit** bedeutet dabei, dass Referenzmodelle für eine Klasse von Problemstellungen herangezogen werden können und nicht bloß für ein konkretes Problem. Allgemeingültigkeit bezieht sich dabei „[...] auf die Gültigkeit des Modells unter bestimmten (Modell inhärenten) Voraussetzungen“.⁷⁷ „Mit der Forderung nach dem **Empfehlungscharakter** wird zum Ausdruck gebracht, dass Referenzmodelle gegenüber unternehmensspezifischen Modellen die Rolle von Soll-Modellen einnehmen.“⁷⁸

Ein Referenzmodell an sich, kann erst als solches deklariert werden, wenn es sich bereits im Einsatz von einem Nutzer befindet. Dieser kann dann bestätigen, dass die Eigenschaften Allgemeingültigkeit und der Empfehlungscharakter vorhanden sind.⁷⁹ Ein Modell wird dann als Referenzmodell akzeptiert, wenn dieses die Eigenschaften Allgemeingültigkeit und Empfehlungscharakter erfüllt. Dies kann aber auch bei Modellen der Fall sein, die eigentlich eine ganz andere Aufgabe erfüllen sollen.⁸⁰ Der Nutzer entscheidet also welche Modelle als Referenzmodelle akzeptiert werden und welche nicht.

Die Erstellung von Referenzmodellen wird Referenzmodellierung genannt und kann wie folgt definiert werden.

- „Unter der Referenzmodellierung (ausführlich: Referenz-
Informationsmodellierung) ist ein spezielles Arbeitsgebiet der

⁷⁵ Ebenda, S. 52

⁷⁶ Vgl. Schwarze 2007, S. 16

⁷⁷ Vom Brocke 2015, S. 31

⁷⁸ Andreas Pescholl 2010, S. 51

⁷⁹ Schütte 1998, 69 & 70

⁸⁰ Vgl. Vom Brocke 2015, S. 32

Informationsmodellierung aufzufassen, deren Gegenstand die Erstellung und Betrachtung von Referenzmodellen ist.“⁸¹

Vorgehensmodell zur Konstruktion von Referenzmodellen

Die Modellierung von Referenzmodellen erfolgt in fünf Schritten. In Abbildung 3 ist ein Vorgehensmodell zur Entwicklung von Referenzmodellen dargestellt.

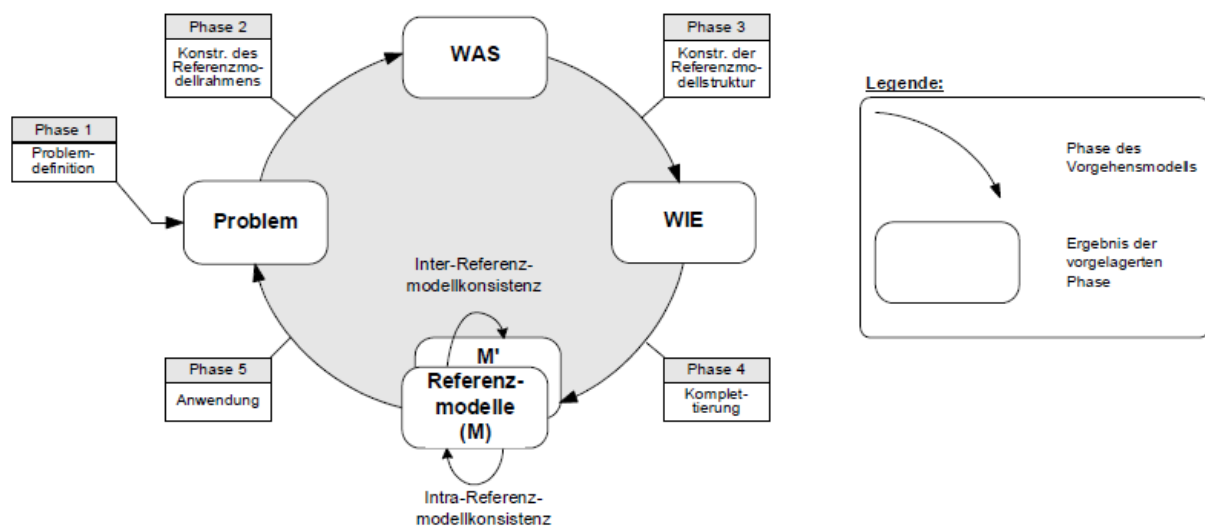


Abbildung 3: Vorgehensmodell zur Konstruktion und Anpassung von Referenzmodellen⁸²

- **Phase 1: Problemdefinition**
Bei der Problemdefinition wird der Modellierungszweck festgelegt. Dies erfolgt meist in einem verbalen Modell, welches den Anwendungsbereich und die Anwender spezifiziert. Ergebnis des ersten Schritts ist ein klares Verständnis darüber, was das Modell abbilden soll und mit welchem Detailgrad dies erfolgen soll.⁸³ Weiters ist es wichtig zu klären, zu welchem Zweck das Modell erstellt wird.⁸⁴
- **Phase 2: Konstruktion des Ordnungsrahmens**
Informationsmodelle werden erstellt, weil die zu modellierende reale Welt eine hohe Komplexität aufweist. Diese Komplexität wird durch den Einsatz, bzw. durch Einbettung der Modelle in Ordnungsrahmen, reduziert. Ordnungsrahmen bilden die oberste Abstraktionsebene von Referenzmodellen, welche die Struktur der betrachteten Domäne darstellen.⁸⁵ Sie ermöglichen eine einfache Navigation durch das Referenzmodell, geben Überblick über die betrachtete

⁸¹ Vom Brocke 2015, S. 38

⁸² Rosemann und Schütte 1999, S. 5

⁸³ Vgl. Jörg Becker 1998

⁸⁴ Vgl. Rosemann und Schütte 1999, S. 6

⁸⁵ Vgl. Jörg Becker 1998

Domäne und ermöglichen in dieser eine Verortung der spezifischen Informationsmodelle. „Von den Funktionsbereichen, welche im Ordnungsrahmen angegeben sind, über die nächste Stufe der Grobfunktionen gelangt man zu den eigentlichen Prozessen und Datenmodellen.“⁸⁶ Die Erfahrung zeigt, dass Informationsmodellierungsprojekte oft an einem fehlenden Ordnungsrahmen scheitern.⁸⁷

- Phase 3: Modellierung der Struktur

Die Modellierung der Struktur erfolgt auf Basis der Phasen 1 & 2. Die Problemdefinition gibt vor welche Funktionen und welchen Detailgrad das Modell erfüllen muss. Der Ordnungsrahmen dient zur Orientierung im behandelten Themenfeld, daher ist es zweckdienlich den Bezug zum Ordnungsrahmen stets aufrecht zu erhalten. Wichtige Punkte sind in diesem Schritt die sinnvolle Einführung und der anschließende korrekte Einsatz von Namenskonventionen, die Herbeiführung des richtigen Detaillierungsgrades und die Nutzung von Modellbausteinen auf Basis von Strukturanalogien.⁸⁸ Die eingesetzte Struktur ist abhängig von der Fokussierung der Modelle. Die Fokussierung der Modelle wird in Phase 1 durch Definition des Problems und Auswahl des Referenzmodelltyps, geklärt. Die Auswahl der Modell-Bausteine bzw. Operatoren ist somit abhängig davon, ob es sich um ein Anwendungssystemmodell oder ein Organisationssystemmodell handelt.⁸⁹ Für die Konstruktion von Modellen stehen eine Vielzahl von Darstellungstechniken zur Verfügung, wie zum Beispiel UML, EPK und andere. Nach Abschluss der Modellerstellung erfolgt eine Validierung des Konstruktionsergebnisses durch potentielle Anwender. Für qualitativ hochwertigere Testergebnisse sollten die Tester aus verschiedenen Interessensgruppen stammen. Auf diese Weise lässt sich der Detaillierungsgrad sowie die Relevanz von verschiedenen Informationsobjekten bewerten.⁹⁰

- Phase 4: Konsolidierung und Komplettierung

In dieser Phase wird das Referenzmodell um Querverbindungen, innerhalb und außerhalb, mit anderen Referenzmodellen erweitert. Dadurch wird eine konsistente Anwendung möglich.⁹¹ Auf Basis der in Phase 3 erfolgten Validierung, findet hier nun auch die Nacharbeit statt. Da es sich bei den Modellen um komplexe Konstrukte handelt, wird meistens eine

⁸⁶ Ebenda, S. 8

⁸⁷ Vgl. Rosemann und Schütte 1999, S. 6

⁸⁸ Jörg Becker 1998, S. 8

⁸⁹ Vgl. Rosemann und Schütte 1999, S. 12

⁹⁰ Vgl. Ebenda, S. 15

⁹¹ Vgl. Ebenda, S. 16

Nacharbeit/Komplettierung erforderlich sein. Dafür werden alle Modellschnittstellen auf Überschneidung und unmodellerte Tatbestände untersucht.⁹² Weiters werden in dieser Phase, falls notwendig, Zusatzinformationen in Form von quantitativen Aussagen ergänzt.

- Phase 5: Anwendung

Nach erfolgreicher Komplettierung erfolgt die praktische Anwendung des Modells. Da Referenzmodelle als Handlungsunterstützung dienen, kommt der Anwendung am Ende der Modellierung große Bedeutung zu. Bei der Anwendung wird aufgezeigt, welchen konkreten Nutzen das Referenzmodell wirklich hat. Treten Abweichungen zwischen Referenzmodell und dem spezifischen Modell auf, so ist dies Input zum erneuten Durchlauf der Modellierungsschleife.

In Phase 3 wird der korrekte Einsatz von Namenskonventionen angesprochen. Um eine zweckorientierte Modellierung und den damit verbundenen Sinnzusammenhang zu gewährleisten, empfiehlt es sich, die einzelnen aufeinander aufbauenden Modellelemente schrittweise einzuführen. „In diesem Zusammenhang spricht man auch von der Intention der Entwicklung einer Orthosprache.“⁹³ wobei Orthosprache eine methodisch aufgebaute Sprache bedeutet, bei der jedes Zeichen und jedes Wort eine bestimmte Vorgehensweise vorgegeben hat.⁹⁴ Für die Entwicklung dieser Orthosprache bzw. Namenskonvention bedarf es einer umfassenden Recherche zu dem behandelten Themenfeld, siehe Abschnitt 3 und 4.

⁹² Jörg Becker 1998, S. 9

⁹³ Holten 1999, S. 3

⁹⁴ Vgl. Schwemmer 2004, S. 1099

3 Montage

Industriell hergestellte Produkte sind in der Regel Baugruppen, welche aus vielen verschiedenen Einzelteilen zusammgebaut wurden. Die Einzelteile werden dabei mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt. Die Aufgabe der Montage ist es, basierend auf den Einzelteilen ein Produkt höherer Komplexität mit definierten Funktionen, in einer bestimmten vorgegebenen Zeit zusammenzubauen.⁹⁵

Während die Fertigung in vielen Produktionen einen hohen Automatisierungsgrad aufweist, hat sich in der Montage, mit Ausnahme der Kleingeräte-Montage, eine manuelle Montage mit dem Einsatz von Werkern bewährt. Neben der manuellen und automatischen Montage hat sich über die Jahre die sogenannte Hybridmontage entwickelt. Genauer dazu folgt in Abschnitt 0 Betrachtet man die Entwicklung der Produktionssysteme, so stellt man fest, dass die manuelle Montage am wenigsten entwickelt bzw. verbessert ist.⁹⁶

Da die Montage mit großem Zeitaufwand verbunden ist und im Vergleich zur Fertigung eine große Anzahl an Menschen beschäftigt, verursacht dieser Unternehmensbereich einen großen Anteil der Kosten. Die Montage an sich erfolgt dabei unter strenger Berücksichtigung von Arbeitsanweisungen und ist somit auf die Qualität der Ergebnisse von vorgelagerten Geschäftsbereichen, im speziellen der Entwicklung angewiesen. Das heißt, dass die Verantwortung für in der Montage anfallende Kosten bei der Produktentwicklung bzw. Konstruktion liegt. Eine Übersicht über Kostenverantwortung und -verursachung liefert Abbildung 4.

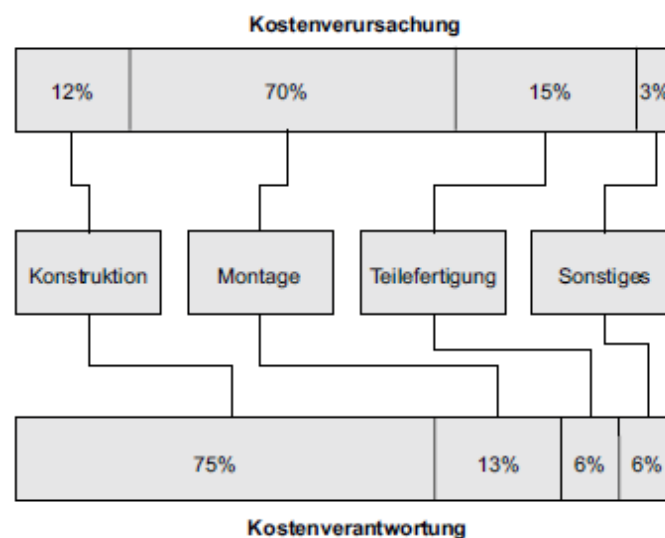


Abbildung 4: Kostenverantwortung und Kostenverursachung⁹⁷

⁹⁵ Vgl. Warnecke et al. 1975

⁹⁶ Vgl. Lotter und Schilling 1994

⁹⁷ Bruno Lotter 2012a, S. 6

In Abbildung 4 wird die Wichtigkeit einer montagegerechten Produktgestaltung sichtbar. Im Vordergrund steht dabei die Reduzierung des Personalaufwands, die Zuverlässigkeit der Betriebsmittel und die Sicherstellung der Produktqualität durch Verfolgung einer Nullfehlerqualität-Politik. Durch den gleichzeitigen Variantenanstieg entsteht hier ein Spannungsfeld, welches zunehmend den Werker belastet. Diese Belastung kann durch Standardisierung der Montagevorgänge, mittels durchgängiger gleicher Produktgestaltung, reduziert werden.

3.1 Funktionsweise und Begriffsdefinitionen

Der Begriff Montage ist nicht genormt und besitzt deshalb keine genormte Gliederung. „Wiendahl et al. 2014“ beschreiben den Begriff Montage folgendermaßen:

"Die Montage umfasst sämtliche Vorgänge des Zusammenbaus von geometrisch bestimmten Einzelteilen und Baugruppen, sowie gegebenenfalls Software in Form von Betriebs- und Anwendungsprogrammen zu funktionsfähigen Produkten. Zusätzlich erforderlich sind häufig formlose Betriebs- und Hilfsstoffe wie Fette, Kleber usw."⁹⁸

Die Montage ist ein Hauptprozess der industriellen Produktion, welcher sich wiederum durch ein Zusammenspiel an logistischen und technologischen Teilprozessen kennzeichnet, siehe Abbildung 5.

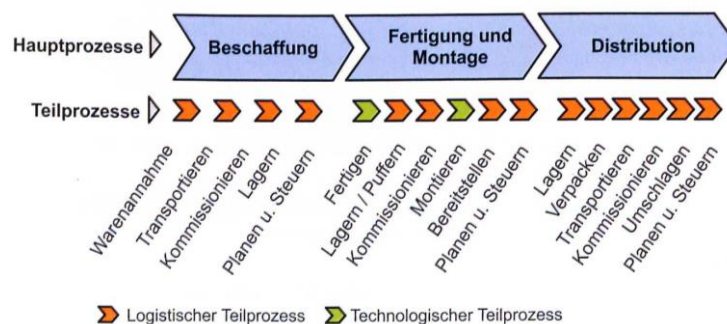


Abbildung 5: Haupt- und Teilprozesse in der industriellen Produktion⁹⁹

Die logistischen Teilprozesse haben die Aufrechterhaltung des Materialflusses zur Hauptaufgabe, das heißt die Bewegung von Roh- und Halbfertigteilen. Diese wird allgemein in den Richtlinien als „Materialfluss bewirken“ bezeichnet und setzt sich aus Fördern (VDI 2411), Lagern bzw. Speichern (VDI 2411) und Handhaben (VDI 2860) zusammen. Bei letzterem handelt es sich ebenso um ein Kernelement des Montierens, welches der technologische Teilprozess der Montage ist. Montieren setzt sich zusammen aus Fügen (DIN 8593), Handhaben (VDI 2860), Kontrollieren (VDI 2860), Justieren (DIN 8580) und diverser Sonderoperationen. Nach Abschluss des

⁹⁸ Wiendahl et al. 2014, S. 163

⁹⁹ Ebenda, S. 170

Montierens erfolgt wieder ein logistischer Prozess, welcher das Bauteil an die nächstgelegene Station bewegt. Dieses Wechselspiel der Teilprozesse erfolgt solange bis das Bauteil allen Spezifikationen und Anforderungen gerecht wird.

Eine Montagestation ist das kleinste Element in einem Montagesystem und kann je nach Automatisierungsgrad in manuelle, automatische und flexibel automatisierbare Stationen unterschieden werden.¹⁰⁰

Ein Transportsystem liefert eine teilmontierte Baugruppe an eine Montagestation, bei der ein Fügeprozess stattfindet. Durch diesen Fügeprozess wird die Baugruppe um eine definierte Anzahl an Elementen erweitert. Damit die Montage erfolgen kann, bedarf es eines querverlaufenden Teileflusses. Die benötigten Teile werden von der internen Logistik an der Montagestation bereitgestellt und dem Handhabungssystem übergeben. Das Handhabungssystem selbst besteht dabei wieder aus einzelnen Vorgängen. Die Bereitstellung der Teile in einer definierten Menge bezeichnet man als Bunkern. Der Bereitstellung folgt das Herauslösen der Einzelteile aus einem Behälter, bzw. Haufwerk, welches als Vereinzeln bezeichnet wird. Anschließend wird das Teil in einer räumlich definierten Lage orientiert und abschließend nach der Übergabe, an einer definierten Stelle in einer bestimmten Lage auf dem Werkstückträger positioniert. In Abbildung 6 wird dieser Prozess schematisch dargestellt.¹⁰¹

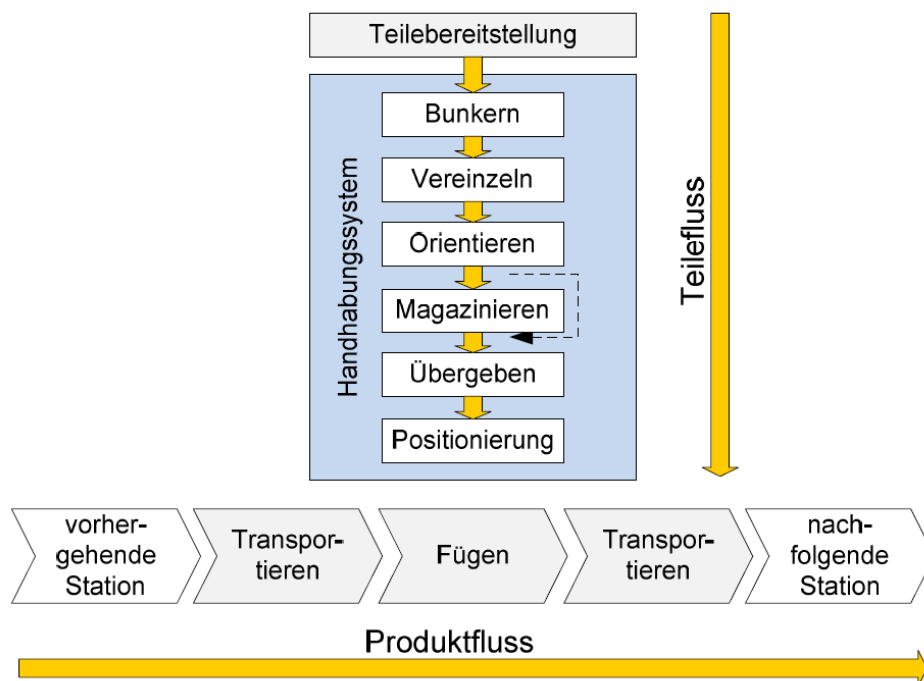


Abbildung 6: Teilfunktionen in der Montagestation¹⁰²

¹⁰⁰ Stefan Hesse 2012, S. 199

¹⁰¹ Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 165ff

¹⁰² Ebenda, S. 165

Zur Durchführung einer Produktion werden eine große Anzahl und Kombinationen von Betriebsmittel benötigt. Unter Betriebsmittel versteht man die „Gesamtheit der Einrichtungen, Geräte und Anlagen zur Erfüllung einer Produktionsaufgabe“¹⁰³. Jene Betriebsmittel zur Unterstützung der Montage werden Montagemittel und jene zur Unterstützung der Logistik werden Logistikmittel genannt.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst genauer auf die einzelnen Funktionen einer Montage, dem „Montieren“ eingegangen. Im Anschluss werden die dazu benötigten Betriebsmittel beschrieben und aufbereitet.

3.2 Montieren

Montieren setzt sich aus mehreren Montagefunktionen zusammen. Diese lassen sich in Fügen, Handhaben, Kontrollieren im Sinne des Qualitätsprüfens, Justieren und bestimmte Sonderoperationen unterscheiden.¹⁰⁴ Unter Justieren wird die geometrische Feineinstellung funktional in Beziehung stehender Teile einer Baugruppe verstanden.¹⁰⁵ Abbildung 7 zeigt den strukturellen Aufbau des Montierens.

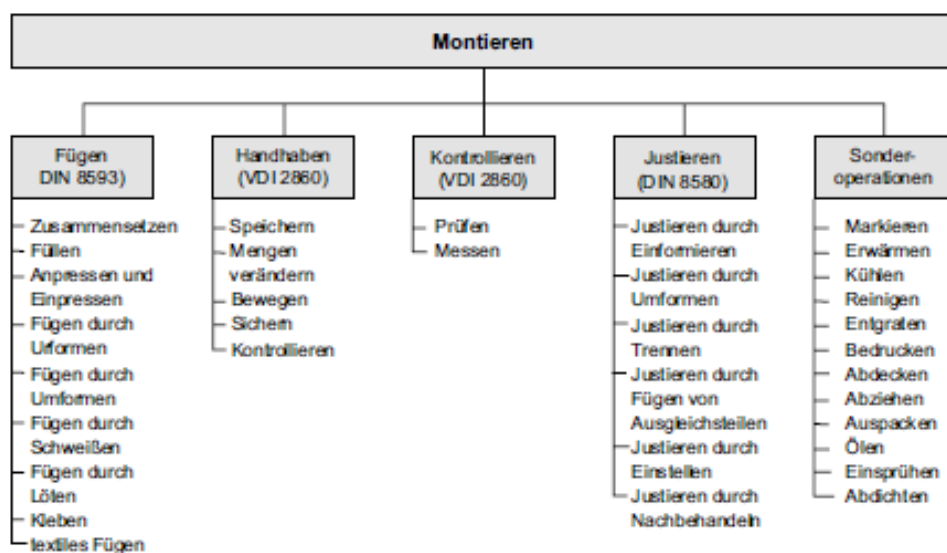


Abbildung 7: Funktionen des Montierens¹⁰⁶

Die Funktionen Fügen und Handhaben stellen die zwei Kernfunktionen des Montierens dar. Aus diesem Grund werden diese in den nächsten Abschnitten genauer betrachtet. Kontrollieren kann neben dem Teilaspekt des Handhabens dann separat betrachtet werden, wenn Kontrolle, wie das Prüfen bzw. Messen eines Bauteils bewusst durchgeführt wird und eine wichtige Rolle während des Montageprozesses einnimmt.

¹⁰³ Wiendahl et al. 2014, S. 178

¹⁰⁴ Vgl. Ebenda, S. 165

¹⁰⁵ Ebenda, S. 165

¹⁰⁶ Bruno Lotter 2012a, S. 2

Andernfalls, sollte dieses Kontrollieren im Zuge der Handhabung eines Bauteils erfolgen, wird diese Funktion untergeordnet. Justieren „ist oft ein Zusammenspiel aus den Funktionen Messen, Prüfen, Kontrollieren und anderer Handhabungsfunktionen.“¹⁰⁷

Unter Sonderoperationen sind alle wesentlichen Funktionen zur Vorbereitung der Montage zusammengefasst.¹⁰⁸ In Abbildung 7 rechts sind diese aufgelistet.

Fügen

„Fügen ist das auf Dauer angelegte Verbinden oder sonstige Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff. Dabei wird jeweils der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.“¹⁰⁹ In Abbildung 8 auf Seite 25, werden alle „Füge“-Funktionen, auch Operationen genannt, dargestellt.

¹⁰⁷ Pachow-Frauenhofer 2012, S. 130

¹⁰⁸ Vgl. Ebenda, S. 130

¹⁰⁹ DIN 8593

Zusammensetzen Auflegen, Aufsetzen, Schichten Einlegen, Einsetzen Ineinanderschieben Einhängen Einrenken Federnd Einspreizen	Kleben Kleben mit physikalischen abbindenden Klebstoffen Nasskleben Kontaktkleben Aktivierkleben Hartkleben Kleben mit chemisch abbindenden Klebstoffen	Fügen durch Löten Verbindungs-Weichlöten Verbindungs-Weichlöten durch festen Körper Verbindungs-Weichlöten durch Flüssigkeit Verbindungs-Weichlöten durch Gas Verbindungs-Weichlöten durch Strahl Verbindungs-Weichlöten durch elektrischen Strom Ofen-Weichlöten	Verbindungs-Hartlöten Verbindungs-Hartlöten durch Flüssigkeit Verbindungs-Hartlöten durch Gas (Flamm- Hartlöten) Verbindungs-Hartlöten durch elektrische Gasentladung Verbindungs-Hartlöten durch Strahl Verbindungs-Hartlöten durch elektrischen Strom Verbindungs- Hochtemperaturlöten	Fügen durch Umformen Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper Drahtflechten Gemeinsam Verdrehen Versellen Spießen Knoten Wickeln mit Draht Drahtweben Heften Fügen durch Nietverfahren Nieten Hohlnieten Zapfennieten Holzapfennieten Zwischenzapfennieten Stanznieten	Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr-, und Profiltteilen Fügen durch Körnen/Kerben Gemeinsam Fließpressen Gemeinsam Ziehen/Ummanteln Fügen durch Weiten Rohreinwalzen Fügen durch Weiten Fügen durch Engen Fügen durch Rundkneten Fügen durch Einhaseln Fügen Durch Sicken Fügen durch Bördeln Fügen durch Falzen Wickeln, Ummwickeln, Bewickeln Verlappen Umformendes Einspritzen Durchsetzfügen Verpressen Quetschen
Anpressen, Einpressen Schrauben Klemmen Klammern Fügen durch Pressverbindung Fügen durch Einpressen Fügen durch Schrupfen Fügen durch Dehnen Nageln, Einschlagen Verkeilen Verpressen Füllen Einfüllen Tränken, Imprägnieren	Fügen durch Urformen Einbetten Vergießen Umspritzen Eingießen, Umgießen Eingalvanisieren Ummanteln Kitten	Fügen durch Schweißen Pressschweißen Pressschweißen durch festen Körper Pressschweißen durch Flüssigkeit Pressschweißen durch Gas Pressschweißen durch elektrische Gasentladung (Lichtbogen, Funken, Plasma) Pressschweißen durch Strahlung Pressschweißen durch Bewegung von Masse Pressschweißen durch elektrischen Strom	Schmelzschweißen Schmelzschweißen durch Flüssigkeit Schmelzschweißen durch Gas Schmelzschweißen durch elektrische Gasentladung (Lichtbogen, Funken, Plasma) Schmelzschweißen durch Strahlung Schmelzschweißen durch elektrischen Strom		

Abbildung 8: Gliederung der Fertigungsgruppe Fügen¹¹⁰

Handhaben

Das Handhaben ist die zweite Kernfunktion des Montierens und ist nach der VDI Richtlinie 2860 neben dem Fördern und Lagern als Teilfunktion der Funktion „Materialfluss bewirken“ zuzuordnen. Handhaben kann als das letzte Glied des Materialflusses von der Unternehmensgrenze bis hin zur Montagestation angesehen werden und stellt in diesem Zusammenhang die Mikrologistik einer Montagestation dar.¹¹¹

„Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem [...]“¹¹²

„Handhaben“ setzt sich aus den Funktionen Speichern, Mengen verändern, Bewegen, Sichern und Kontrollieren zusammen. Diese Funktionen können weiters in Elementarfunktionen bzw. in zusammengesetzte Funktionen unterteilt werden. In Abbildung 9 werden diese Funktionen gegliedert dargestellt.

Speichern		Mengen verändern		Kontrollieren	
Elementar-funktionen	Halten	Elementar-funktionen	Teilen	Zusammengesetzte Funktionen	Prüfen
	Lösen		Vereinigen		
Zusammengesetzte Funktionen	Geordnetes Speichern	Zusammengesetzte Funktionen	Abteilen		Anwesenheit prüfen
	Teilgeordnetes Speichern		Zuteilen		Identität prüfen
	Verzweigen		Form prüfen		
	Zusammenführen		Farbe prüfen		
	Sortieren		Gewicht prüfen		
Sichern		Bewegen			
Elementar-funktionen	Halten	Elementar-funktionen	Drehen		Position prüfen
	Lösen		Verschieben		Orientierung prüfen
Zusammengesetzte Funktionen	Spannen	Zusammengesetzte Funktionen	Schwenken		Messen
	Entspannen		Orientieren		Zählen
	Positionieren		Orientierung messen		
	Ordnen		Position messen		
	Führen				
	Weitergeben				

Abbildung 9: Gliederung des Handhabens¹¹³

Wie in Abbildung 9 ersichtlich, werden die Teilfunktionen des Handhabens in Elementarfunktionen und in zusammengesetzte Funktionen unterteilt. Elementarfunktionen sind die kleinsten, nicht mehr weiter unterteilbare Funktionen.

¹¹¹ Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 167

¹¹² VDI 2860

¹¹³ Vgl. VDI 2860

Zusammengesetzte Funktionen sind, wie der Name schon sagt, zusammengesetzte Elementarfunktionen, welche die Funktionen eindeutig identifizieren.

Die Handhabung von Bauteilen ist im Wesentlichen von ihren Werkstückmerkmalen abhängig, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Handhabungsrelevante Werkstückmerkmale¹¹⁴

Werkstückeigenschaften			Werkstückverhalten	
Geometrische Werkstückdaten	Kennzeichnende Formelemente	Physikalische Eigenschaften	Ruheverhalten	Förderverhalten
<ul style="list-style-type: none"> • Form (Verhaltenstyp) • Ausdehnung Abmessungen • Seitenverhältnisse • Symmetrien • Größenklasse 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrung • Absatz, Bund • Sicke, Wulst • Ausschnitt • Schlitz • Nut, Einstrich • Fase • Haken • Ausklinkung 	<ul style="list-style-type: none"> • Werkstoff • Schwerpunkt • Steifigkeit • Bruchfestigkeit • Masse • Oberflächenbeschaffenheit • Temperatur • Bearbeitungszustand 	<ul style="list-style-type: none"> • Standsicherheit • Stabile Orientierung • Vorzugsorientierung • Stapelfähigkeit • Hängefähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Gleitfähigkeit • Rollfähigkeit • Richtungsstabilität

3.3 Betriebsmittel in der Montage

Zur Durchführung der zuvor beschriebenen Montagevorgänge bedarf es technischer Maschinen, Einrichtungen und Geräte, welche allgemein als Betriebsmittel zusammengefasst werden. Wählt man einen etwas allgemeineren Ansatz, spricht man von Ressourcen, wobei diese, die gerade beschriebenen Betriebsmittel, menschliche Einsatzkräfte, Geldmittel und Rohstoffe zusammenfassen. Betriebsmittel sind körperliche Einheiten, welche hinsichtlich Material-, Informations- und Energiefluss in sich verknüpft und deshalb nicht in Teilen funktionsfähig sind. Eine Ausnahme sind große Anlagen, welche den Fertigungs-, Montage- und Logistikprozess kombinieren, auch Anlagen der automatischen Fließfertigung genannt. Diese werden häufig in der Massen- bzw. Großserienfertigung eingesetzt.¹¹⁵ Solche Anlagen sind in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Bezugnehmend auf Abbildung 6 werden die notwendigen Montagetätigkeiten in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades von Menschen unter Zusammenarbeit mit Betriebsmitteln ausgeführt. Diese Betriebsmittel sind für die Erarbeitung eines Industrie 4.0 Referenzmodells von großer Bedeutung. Sie verkörpern den IST-Zustand einer Montagestation, welche in Kombination mit Technologien der 4. industriellen Revolution, verändert bzw. verbessert werden soll.

Einteilung der Montagesysteme

¹¹⁴ Vgl. Fraunhofer Gesellschaft IPA 2010

¹¹⁵ Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 178

Welche Betriebsmittel in der Montage eingesetzt werden, ist sehr stark vom jeweiligen Montagesystem abhängig. Die Einteilung der Montagesysteme erfolgt nach technisch-organisatorischem Muster.¹¹⁶

„Bei **manuellen Montagearbeitsplätzen** steht der Mensch mit seinen Bewegungsräumen, sowie seiner physischen und psychischen Belastung im Mittelpunkt.“¹¹⁷ Der Werker führt die Montagefunktionen unter Zuhilfenahme von Betriebsmitteln aus. Diese setzen sich in der einfachsten Ausführung aus einem Arbeitstisch und Bereitstellmittel, wie einem Greifbehälter und Fügemitel zusammen. Die Gestaltung des Montagearbeitsplatzes soll nach ergonomischen Gesichtspunkten erfolgen. Diese ermöglichen einen höheren Montagewirkungsgrad.¹¹⁸ Für gewöhnlich spricht man bei manuellen Montagestationen von satzweiser oder stückweiser Montage. Bei der satzweisen Montage befinden sich mehrere zu montierende Teile im Arbeitsbereich. Der Montagewerker führt an jedem Teil eine Montagefunktion durch, um dann am ersten Teil wieder mit dem nächsten Prozessschritt fortzufahren.¹¹⁹ Die stückweise Montage kann auch als **One-Piece-Flow Montage** bezeichnet werden. Vergleicht man die stückweise mit der satzweisen Montage, so zeigt sich, dass bei der satzweisen Montage, je nach Anwendungsfall, der Zeitaufwand um bis zu 47% reduziert werden kann.¹²⁰ Die satzweise Montage kann, wegen der großen Anzahl an Einzelteilen und dem verbundenen Flächenbedarf, nur für Kleingeräte eingesetzt werden.¹²¹ Die stückweise Montage kann hingegen universell bei der Montage von Kleingeräten und Großgeräten eingesetzt werden. In diesem Bezug spricht man jedoch von einer Baustellen- bzw. einer Gruppenmontage. Kennzeichnend für die Baustellenmontage sind stationäre Produkte und das stationäre Personal.¹²² Das Personal kann als stationär betrachtet werden, weil es sich nicht aus der Montagestation entfernt. Das Produkt steht in der Regel im Zentrum der Montagestation, wobei Werkzeuge und andere Ressourcen aus umliegenden Einrichtungen bereitgestellt werden. Durch den Bedarf einer großen Menge an Einzelteilen sowie der Zugänglichkeit von allen Seiten, benötigt die Baustellenmontage sehr viel Platz.¹²³

Die **Gruppenmontage** ist in ihren Eigenschaften ähnlich der Baustellenmontage. Sie unterscheiden sich lediglich darin, dass die Montagewerker keiner festen Montagestation zugeordnet sind. Auf benachbarten Montageplätzen werden gleichzeitig mehrere Montageobjekte bearbeitet. Die Werker wechseln dabei zwischen

¹¹⁶ Stefan Hesse 2012, S. 198

¹¹⁷ Ebenda, S. 188

¹¹⁸ Lotter und Wiendahl 2012a, S. 485

¹¹⁹ Lotter 2012, S. 127

¹²⁰ Ebenda, S. 131

¹²¹ Vgl. Lotter 2012, S. 117

¹²² Vgl. Bruno Lotter 2012b, S. 147

¹²³ Vgl. Ebenda, S. 148

den Montageplätzen, um ihre fest zugeordneten Tätigkeiten an den Montageobjekten abzuarbeiten. Die Materialbereitstellung ändert sich gegenüber der Baustellenmontage nicht. Der Vorteil der Gruppenmontage gegenüber der Baustellenmontage ist die verkürzte Durchlaufzeit pro Montageobjekt.¹²⁴

Eine weitere Möglichkeit zur Montage von Großgeräten ist die **Fließbandmontage**. Diese lässt sich nach Art des Bewegungsablaufes unterscheiden, dem periodischen und dem kontinuierlichen. Bei der Fließmontage wird das Montageobjekt bewegt, während der Montagewerker einem Ort stationär zugewiesen ist. Beim periodischen Bewegungsablauf besitzt das Montagesystem ebenfalls Montagestationen. Das Montageobjekt wird von Montagestation zu Montagestation bewegt, an welcher es für eine definierte Zeit verharnt. Jeder Montagestation sind bestimmte Arbeitsschritte zugewiesen. Die Herausforderung dieser Form der Montage, ist die Gestaltung der Arbeitsinhalte unter Berücksichtigung der Dauer der anderen Arbeitsschritte.¹²⁵

Die zweite Art der Fließmontage ist jene mit kontinuierlichen Montageablauf. Das Montageobjekt wird nun nicht mehr für die Montagetätigkeit angehalten. Damit trotzdem eine genaue Montage erfolgen kann, beträgt die Fördergeschwindigkeit üblicherweise etwa 0,5 bis 1,5 m/min. Durch die kontinuierliche Förderung werden die Puffer eliminiert, was wiederum eine Angleichung des Montagetaktes jedes Mitarbeiters bedarf. Dieses Montagesystem eignet sich für komplexe Produkte bei hoher Stückleistung.¹²⁶

Das One–Piece-Flow Prinzip ist eine Sonderform der Fließmontage. Der Montagewerker bewegt sich zusammen mit einem definierten Montageobjekt. Dabei passiert er die unterschiedlichsten Montagebereitstellungsplätze und komplettiert das Produkt. Nach Fertigstellung beginnt dieser Prozess von Neuem.¹²⁷

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** werden die typischen manuellen Montageprinzipien, verknüpft mit beispielhaften Produkten, dargestellt.

Tabelle 2: Beispielhafte Montageprinzipien für Großgeräte¹²⁸

Montageprinzip	Produktbeispiel	Stück/Jahr
Baustellenmontage/Gruppenmontage	Werkzeugmaschinen	60
Baugruppenmontage/Gruppenmontage	Großbaugruppen	180
Fließmontage	Ackerschlepper	20000
Fließmontage	LKW-Hinterachsen	60000
Baustellenmontage/One-Piece-Flow	Röntgengeräte	1200
Fließmontage	PKW-Sitze	40000
Fließmontage	Geschirrspüler	75000

¹²⁴ Vgl. Bruno Lotter 2012b, S. 150

¹²⁵ Vgl. Ebenda, S. 155

¹²⁶ Vgl. Ebenda, S. 155

¹²⁷ Ebenda, S. 147

¹²⁸ Ebenda, S. 148

In **hybriden Montagesystemen** kommen für die Montage von Baugruppen sowohl Automatikstationen als auch Handarbeitsplätze zum Einsatz. Hybride Montagesysteme eignen sich gut für die Montage von Kleinbaugruppen in mittleren Stückzahlbereichen. Bezüglich der Variantenvielfalt/Produktkomplexität, Stückzahl, Produktivität und Flexibilität liegen sie zwischen den manuellen Montagestationen und den automatisierten Montageanlagen. In Hinblick auf die abnehmenden Produktlebenszeiten und gleichzeitiger Produktvarianz gewinnen diese Montagesysteme immer mehr an Bedeutung. Basis für die Planung solcher hybriden Montagesysteme ist die manuelle Montage. Durch Automatisierung von monotonen, wiederholenden Tätigkeiten kann sich der Mensch auf seine vielfältigen Fähigkeiten konzentrieren, für welche Roboter nicht genügend Intelligenz besitzen. Dadurch werden Montagezeiten bei gleichbleibender Flexibilität reduziert.¹²⁹

Die in Abbildung 10 abgebildeten **automatischen Montagesysteme** werden eingesetzt, wenn große Ausbringungsmengen gefordert sind. Oftmals werden auch innerhalb von Montagesystemen, einzelne Montagestationen vollautomatisiert. Solche Montagestationen nennt man Montageautomaten. Diese sind an das restliche System angebunden und mit den vorhergehenden bzw. nachfolgenden Stationen verkettet.

In Abbildung 10 werden die Montagesysteme gruppiert in:

- Manuelle Einzelplatzmontage
- One-Piece-Flow Montage
- Manuelle Fließmontage
- Hybride Montage
- Automatische Einzelplatzmontageeinheit
- Automatische Fließmontage

Bei der One-Piece-Flow Montage sowie der manuellen Einzelplatzmontage nimmt, im Gegensatz zu den anderen Montagesystemen, mit steigender Leistung bzw. Ausbringung, die Produktkomplexität ab. Die manuelle Einzelplatzmontage ist bei geringen Ausbringungsmengen im Stande, eine Produktkomplexität von 18 Teilen bzw. Vorgängen zu bewältigen. Den limitierenden Faktor stellt hier der Mensch dar. Ab einer bestimmten Komplexität treten vermehrt Denkfehler und in weiterer Folge Montagefehler auf. Dieses Phänomen ist ebenso an die Arbeitsgeschwindigkeit gekoppelt. Mit erhöhter Geschwindigkeit treten vermehrt Fehler auf.

¹²⁹ Vgl. Edwin lotter 2012, S. 167

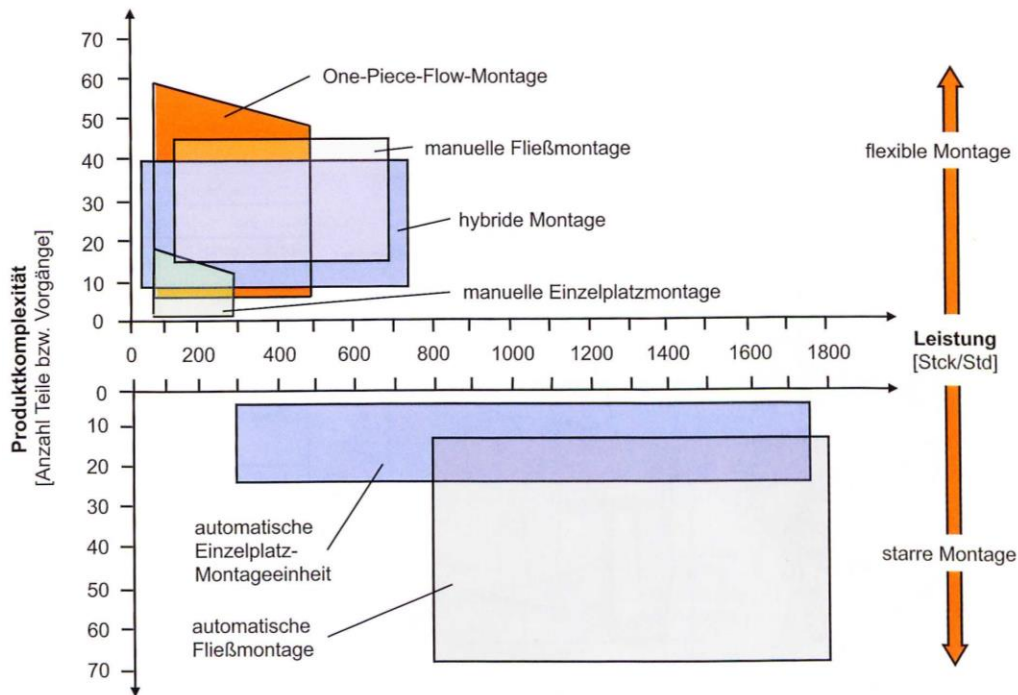


Abbildung 10: Einteilung der Montagesysteme nach Leistung und Komplexität¹³⁰

Betriebsmittel

Um eine vollständige Darstellung aller Betriebsmittel, welche sowohl direkt als auch indirekt an der Erfüllung der Montagetätigkeiten beteiligt sind, darzustellen, werden zunächst die Fabrikobjekte erster Ordnung (übergeordnete Begrifflichkeiten), mit Bezug zu den Fabrikfeldern und Bedeutung für die Arbeitsstation, aufgezeigt. Da sich diese Arbeit mit der Verknüpfung von bestehenden und neuen Technologien und Techniken beschäftigt, werden in Tabelle 3 nur Fabrikobjekte mit Bezug zu den Fabrikfeldern „Technik“ berücksichtigt. Die vollständige Betrachtung kann in „Handbuch der Fabrikplanung“, von Wiendahl et al. 2014 auf Seite 143 nachgelesen werden.

Tabelle 3: Fabrikobjekte und ihre Bedeutung in der Arbeitsstation¹³¹

Fabrikebene: Arbeitsstation			
Fabrikfeld	Fabrikobjekte	Zugehörigkeit	Bedeutung
Technik	Technische Zentralanlagen	Nein	Niedrig
	Technische Verteilanlagen	Nein	Hoch
	Informationstechnik	Nein	Hoch
	Lagermittel	Nein	Mittel
	Transportmittel	Nein	Hoch
	Produktionstechnologie	Ja	Hoch
	Produktionsmittel	Ja	Hoch

¹³⁰ Wiendahl et al. 2014, S. 187

¹³¹ Vgl. Ebenda, S. 143

	Sonstige Betriebsmittel	Ja	Hoch
--	-------------------------	----	------

Die Spalte „Zugehörigkeit“ gibt Auskunft darüber, ob ein Fabrikobjekt einer Arbeitsstation direkt zugeordnet werden kann. Jene Fabrikobjekte, welche in der Spalte „Zugehörigkeit“ ein „Ja“ vermerkt haben, sind direkt in die Durchführung der Montagetätigkeit involviert. Die Spalte „Bedeutung“ gibt an, wie stark die Montagestation vom jeweiligen Fabrikobjekt beeinflusst wird. Anders gesagt, verbinden die Fabrikobjekte die Montagestation mit ihrer Umgebung und mit den Informations- und Materialflüssen. Zunächst werden jene Fabrikobjekte beschrieben, welche direkt in die Durchführung der Montagetätigkeit involviert sind.

Die **Produktionstechnologie** umfasst Wissen, welches „[...] zu einer Problemlösung anwendbare naturwissenschaftlich-technisches Know-how, die mit der Problemlösung verbundenen Tätigkeiten, sowie die materielle Ausprägung der Problemlösung [...]“¹³² beinhaltet. Als Produktionstechnologie werden alle Verfahren zusammengefasst, welche als Fertigungsverfahren zur Herstellung von Werkstücken dienen, als Montageverfahren Einzelteile, Baugruppen und sonstige zusammenfügen und als Logistikverfahren Transport-, Lagerungs- und sonstige Vorgänge realisieren.¹³³

Produktionsmittel sind der Sammelbegriff für „[...] Einrichtungen zum Umformen, Trennen, Fügen, [...] sowie zur Montage eingesetzte Handarbeitsplätze.“¹³⁴ Produktionsmittel, welche zu den Fabrikobjekten erster Ordnung zählen, können weiters in Fabrikobjekte zweiter Ordnung unterteilt werden¹³⁵:

- Gründung (Aufnahme der Lasten des Produktionsmittels)
- Gestell
- Antriebe
- Kinematisches System (zur Positionierung der Werkzeuge)
- Systeme zur Steuerung, Regelung, Messung und Diagnose
- Peripheriesystem und Hilfsmittel (z.B.: Systeme zur Medienversorgung)
- Werkzeuge (Maschinen- und Handwerkzeuge)

Werkzeuge zum Fügen können demnach gegliedert werden in¹³⁶:

- Schweißmaschinen
- Lötmaschinen
- Nietmaschinen
- Klebmaschinen
- Schraubmaschinen

¹³² Wiendahl 2009, S.4 in Anhang A1

¹³³ Vgl. Ebenda, S. 160

¹³⁴ Ebenda, S. 610

¹³⁵ Ebenda, S. 610

¹³⁶ Vgl. Spur G. 2014

Sonstige Betriebsmittel sind Einrichtungen für die Qualitätssicherung sowie zum Handhaben, Kommissionieren, Sortieren, Bereitstellen und Verpacken von Einzelteilen oder Baugruppen. Im Kontext von Montagestationen nehmen Bereitstelltechniken und Handhabungstechniken eine besondere Rolle ein.

Die Ausführung der Handhabungseinrichtungen ist stark abhängig vom Grad der Automatisierung der Montagestation. In der manuellen Montage erfolgen die Handhabungstätigkeiten durch die Montageperson. Die notwendigen Materialien werden durch Bereitstellmittel, also Behälter, zu Verfügung gestellt. In der hybriden Montage kommen Menschen in Kombination mit Robotern/Handhabungsgeräten zum Einsatz. Die Handhabungsgeräte übernehmen in diesem Fall die monotonen, ergonomisch ungünstigen Halte- und Bewegearbeiten.

Die Materialbereitstellung hat die Aufgabe, „...das im Betrieb verfügbare Material für die Verwendung bei der Aufgabendurchführung in der benötigten Art und Menge termingerecht am Bereitstellungsplatz zu Verfügung zu stellen.“¹³⁷ Die **Bereitstelltechnik** wird in Bereitstellmittel und Bereitstellereinrichtungen unterschieden. Bereitstellmittel sind Hilfsmittel, welche ein Abstellen an der Montagestation ermöglichen, wie beispielsweise Ladehilfsmittel oder Greifbehälter. Daraus lässt sich schließen, dass Bereitstellmittel, Förderhilfsmittel und Lagerhilfsmittel oftmals ident sind. Dies ermöglicht einen durchgängigen, schnittstellenfreien und kostengünstigen Materialfluss. Ein sehr wichtiges Bereitstellmittel/Förderhilfsmittel oder Lagerhilfsmittel stellt ein Werkstückträger dar. „Werkstückträger sind gewissermaßen Lastenesel, die ein Montagebasisteil [...] von Station zu Station führen, wenn das Basisteil nicht für einen Durchlauf ohne Transportplattform geeignet ist.“¹³⁸ Werkstückträger können mit Kodierelementen zur Identifikation versehen werden. Eine Zusammenfassung der gängigsten Bereitstellmittel erfolgt in Abbildung 12 auf Seite 35. Das zweite Element der Bereitstelltechnik sind die Bereitstellereinrichtungen. Diese sind alle Einrichtungen am Arbeitsplatz, konkret an der Montagestation, auf denen Komponenten bzw. Bereitstellmittel abgestellt werden können. Beispiele hierfür sind Regale und Tische.¹³⁹

Transportmittel werden für den innerbetrieblichen Transport von Gütern eingesetzt. Während des Transports kann es zu häufigen Wechsel der Transportmittel kommen. Die eingesetzten Instrumente, werden Fördermittel genannt.¹⁴⁰ Es handelt sich dabei um technische Einrichtungen, mit denen Güter unmittelbar oder mittelbar fortbewegt werden. Diese Güter werden zumeist nicht lose transportiert oder gelagert. Hierfür

¹³⁷ REFA 1991

¹³⁸ Stefan Hesse 2012, S. 218

¹³⁹ Vgl. Peter Nyhuis, Hans Peter Wiendahl, Carsten Wagner 2012, S. 298

¹⁴⁰ Vgl. Ehrmann 1997, S. 205

werden Förderhilfsmittel, wie zum Beispiel Paletten, Gitterboxen und sonstige, eingesetzt.¹⁴¹

Die Fördermittelauswahl wird von folgenden 4 Bestimmungsgrößen beeinflusst¹⁴²:

- **Fördergut**
 - Maße,
 - physikalische Eigenschaft des Stückgutes (Schüttgut, Flüssigkeiten, Paletten, Säcke)
- **Förderintensität**
 - Bewegte Transportmenge pro Zeiteinheit
- **Förderstrecke**
 - Entfernung zwischen Start- und Endpunkt des Gütertransports mit Berücksichtigung des Streckenverlaufs
- **Fertigungsprinzip**
 - Einzel- und Serienfertigung: Flurförderer und Hebezüge
 - Massenfertigung: Stetigfördersysteme

In Abbildung 11 ist die Einteilung der Fördermittel dargestellt. Diese werden zunächst in Stetig- und Unstetigförderer unterteilt. „Stetigförderer arbeiten kontinuierlich auf einem gleich bleibenden, festgelegten Förderweg“¹⁴³. „Unstetigförderer arbeiten mit Unterbrechungen und können ihre Transportwege zum Teil frei wählen.“¹⁴⁴ Die weitere Unterteilung erfolgt in flurfreie und flurgebundene Förderer. Flurgebunden impliziert die Nutzung von Verkehrswegen, die in den Boden eingelassen sind und flurfreie Förderer transportieren die Güter an der Hallendecke schwebend.

¹⁴¹ Vgl. Wannewetsch 2007, S. 285

¹⁴² Ebenda, S. 285

¹⁴³ Ebenda, S. 287

¹⁴⁴ Ebenda, S. 288

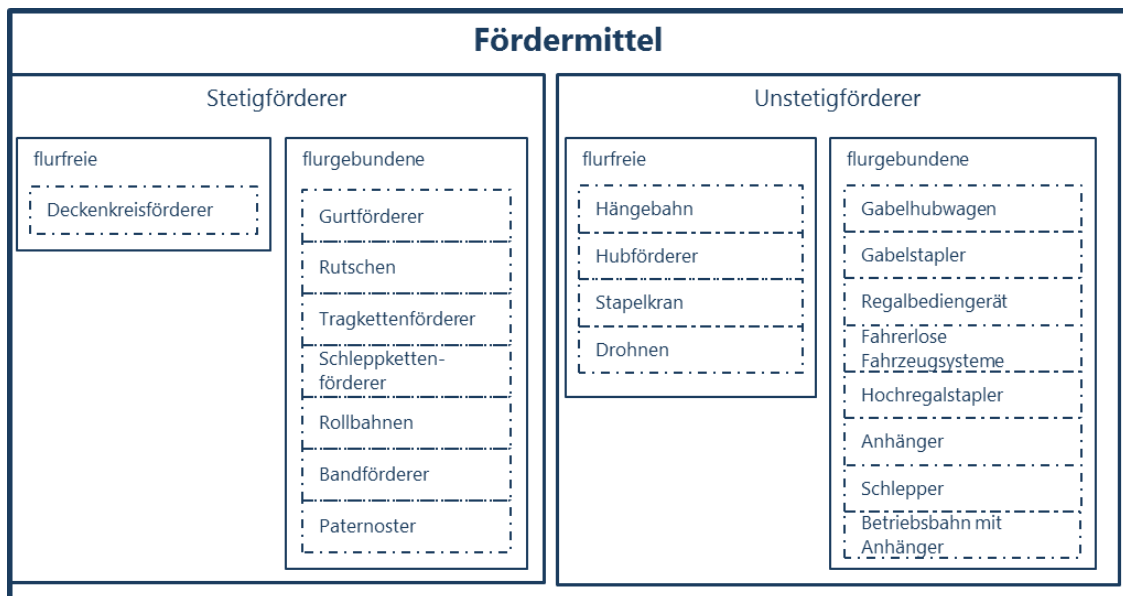


Abbildung 11: Einteilung der Fördermittel¹⁴⁵

„**Förderhilfsmittel** haben die Aufgabe, Ladeeinheiten zu bilden, dh. mehrere einzelne Güter zu größeren Transporteinheiten zusammenzufassen“¹⁴⁶. Dabei erfüllen sie bestimmte Funktionen¹⁴⁷:

- „Lagerfunktion: Ermöglicht die Aufnahme verschiedener Güter mit einem Fördersystem (standardisierte Behälter, Paletten etc.), stapelbar, schneller Zugriff, dient der Aufnahme und Zusammenfassung des Förderguts.
- Informationsfunktion: diverse Informationssysteme liefern Informationen zu Menge, Charge, Produktart, Produktionstermin.
- Schutzfunktion: Schützt Produkte vor Beschädigungen, Diebstahl etc.“



Abbildung 12: Einteilung der Förderhilfsmittel

¹⁴⁵ Vgl. Schulte 1996, S. 263

¹⁴⁶ Wannewetsch 2007, S. 291

¹⁴⁷ Ebenda, S. 291

Technische Verteilanlagen versorgen die Arbeitsstationen mit Energie, Prozessmedien und Informationen und führen diese auch wieder ab. In vielen Fällen handelt es sich hierbei um eine Vielzahl an Kabeln.

Die **Informationstechnik** dient zur Übermittlung, Speicherung, Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen. Durch die 4. industrielle Revolution und den damit einhergehenden Technologien wird die Informationstechnik neue Dimensionen erreichen. Durch neue Technologien, welche in einem späteren Abschnitt erklärt werden, wird der Produktionsprozess für den Arbeiter transparent und somit leicht verständlich.

Das letzte aus Tabelle 3 erwähnenswerte Fabrikobjekt sind die **Lagermittel**. Diese Lagermittel gehören mit den Lagerhilfsmitteln zu dem übergeordneten Begriff der Lagertechnik. Bei Lagermitteln handelt es sich um die verschiedensten Regalarten, wie zum Beispiel Fachbodenregale, Palettenregale und andere. Außerdem lassen sich Kommissionierbehälter ebenfalls unter diesem Begriff verorten. Lagerhilfsmittel entsprechen, wie zuvor schon bei der Bereitstellung erwähnt, den Förderhilfsmitteln.

Eine genaue Einteilung ist in Abbildung 13 dargestellt.

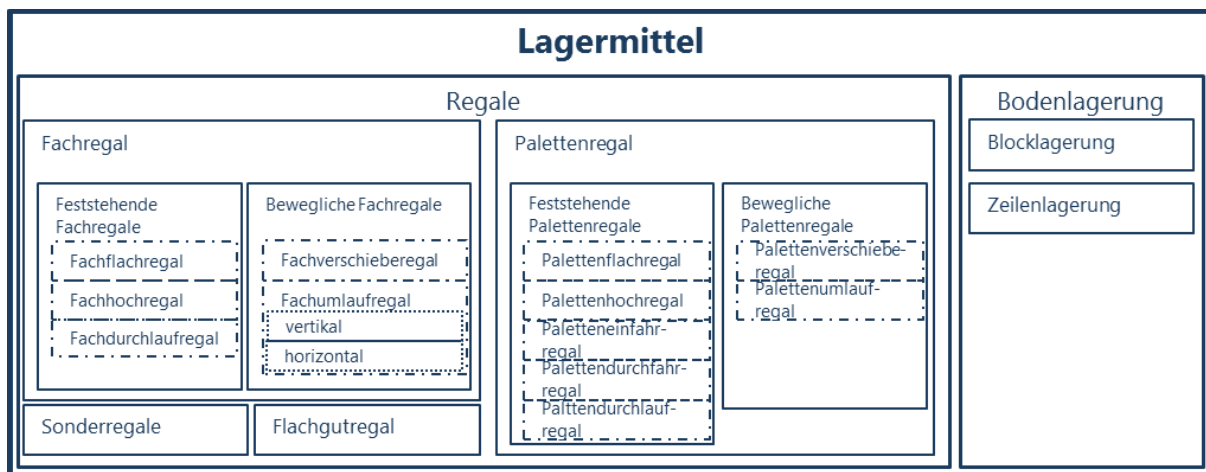


Abbildung 13: Einteilung der Lagermittel¹⁴⁸

3.4 Anforderungen an zukünftige Produktionen bzw. Montagen

Neue, turbulente Märkte bieten Unternehmen die Möglichkeit neue Marktanteile zu erobern und somit zu wachsen. Solche Märkte setzen auf Seite der Unternehmen proaktive Fähigkeiten voraus. Das heißt, dass in Zukunft nicht mehr auf Marktentwicklungen reagiert wird, sondern diese vorhergesehen werden sollten.

¹⁴⁸ Schulte 1999, S. 180

Damit solche Markteroberungsstrategien umgesetzt werden können, bedarf es in der Zukunft mehr als die Beherrschung von Kosten, Qualität und Zeit. Vielmehr müssen Unternehmen, welche sich in überlegene Organisationen transformieren möchten, drei weitere Eigenschaften entwickeln.

- Die **Innovationskraft** befähigt Organisationen bestehende Produkte, Prozesse, Dienstleistungen und sogar kontinuierliche Verbesserungsprozesse und Sprunginnovationen zu hinterfragen.¹⁴⁹ Zur Bewerkstelligung dieser Herausforderung müssen Unternehmen vermehrt auf eine ausgeprägte Mitarbeiterpartizipation und eine starke Ergebnisfokussierung setzen.¹⁵⁰
- Eine **hohe organisationale Lerngeschwindigkeit** ist die Fähigkeit einer Organisation zur Entwicklung gemeinsamer Visionen und Ziele.¹⁵¹
- Die **Wandlungsfähigkeit** ist die Fähigkeit einer Fabrik, basierend auf „[...] internen oder externen Auslösern, aktiv strukturelle Veränderungen auf allen Ebenen mit geringem Aufwand durchführen zu können.“¹⁵² In Abbildung 14 werden alle Veränderungstreiber zusammengefasst.

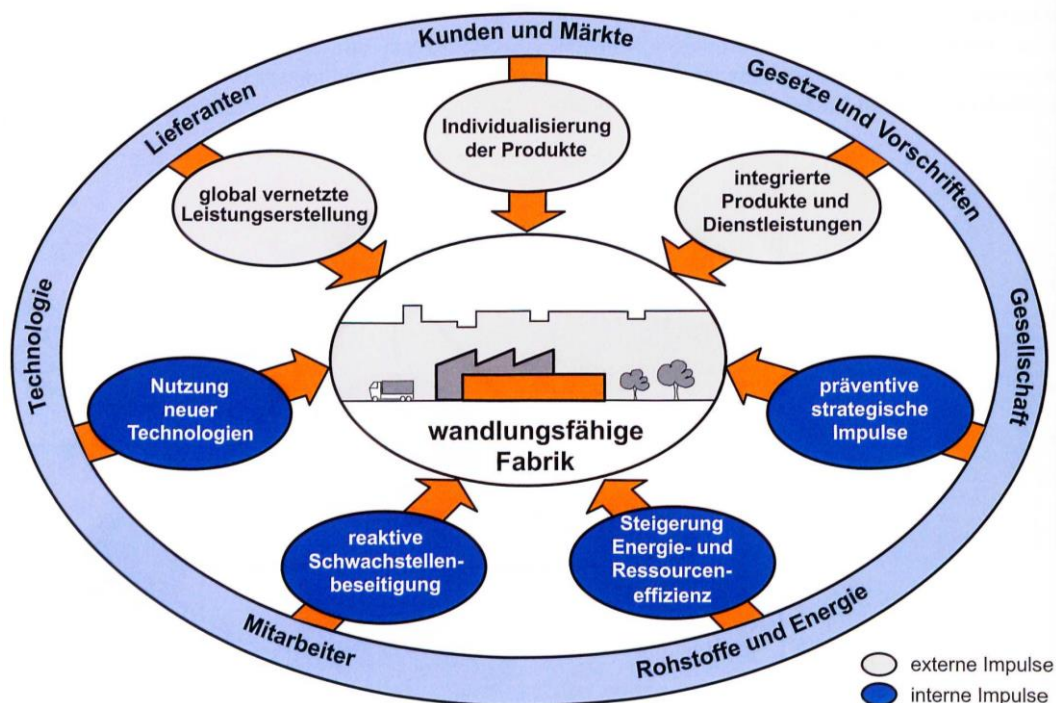


Abbildung 14: externe und interne Veränderungstreiber¹⁵³

¹⁴⁹ Vgl. Eversheim 2003

¹⁵⁰ Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 15

¹⁵¹ Vgl. Ebenda, S. 15

¹⁵² Ebenda, S. 15

¹⁵³ Ebenda, S. 16

Um den Treibern der Veränderungen in Zukunft entgegenwirken zu können, muss die Produktion eine Reihe von Anforderungen erfüllen. Hierfür lassen sich folgende Leitsätze und Eigenschaften definieren¹⁵⁴:

- „Reaktionsschnell: Marktübliche Lieferzeiten und Liefertreue übertreffen.
- Mengen- und Variantenflexibel: Mengenschwankungen und Produktvarianten wirtschaftlich beherrschen.
- Grenzwertorientiert: Bekannte Grenzen überwinden und natürliche physikalische und logische Grenzen zum Maßstab machen.
- Selbstorganisiert: Notwendige Struktur- und Ablaufänderungen auf allen Ebenen initiieren.
- Vernetzt: Kernkompetenzen unternehmensübergreifend dynamisch und temporär vernetzen.
- Kulturbewusst: Gemeinsam akzeptierte Wertvorstellungen und Verhaltensweisen entwickeln und nach Außen und Innen glaubwürdig vermitteln.
- Nachhaltig: Produkte, Produktionsprozesse und Produktionsmittel im gesamten Lebenszyklus unter dem Kreislaufgedanken energie-, ressourcen- und umweltschonend gestalten und betreiben.“

Die vorgestellten Leitsätze werden von der wandlungsfähigen Fabrik erfüllt. Die Verkürzung der Produktlebenszyklen sowie der Anstieg der Produktvarianten rufen nach einer Veränderung von bestehenden Produktionssystemen. Die Montage im Speziellen, verändert sich in Richtung hochflexibler Montagesysteme mit hochqualifiziertem Personal, wodurch die notwendige Reaktionsfähigkeit in der Montage gewährleistet wird.¹⁵⁵ „Die Produktionstechnik und Ausrüstung von morgen wird charakterisiert durch „intelligente“ Betriebsmittel mit der Fähigkeit zur Kognition, teilautonomen Selbststeuerung und Integration von Expertenwissen, Einsatz wandlungsfähiger und rekonfigurierbarer Produktionstechnik und anhand der Erweiterung des Zielkatalogs um Zeit, Wandlungsfähigkeit, Ressourcenorientierung und Nachhaltigkeit.“¹⁵⁶

Ermöglicht wird dies durch die 4. Industrielle Revolution mit den einhergehenden Technologien. Kerntechnologie sind sogenannte Cyber-Physische Systeme.

Die Anwendung von Cyber-Physischen Systemen führt dazu, dass Flexibilität und Automatisierung nicht mehr im Widerspruch zueinander stehen. Zusätzlich dazu werden in der Fabrik 4.0, die bisher getrennten Produktionskomponenten wie Fertigung, Montage und Logistik intelligent miteinander verknüpft sein, sodass diese

¹⁵⁴ Ebenda, S. 80

¹⁵⁵ Vgl. Lotter und Wiendahl 2012b, S. 485

¹⁵⁶ Abele und Reinhart 2011, S. 75

zu einem kombinierten Gesamtsystem verschmelzen.¹⁵⁷ Diese werden als flexible und selbstoptimierende Systeme bezeichnet, siehe Abbildung 15.

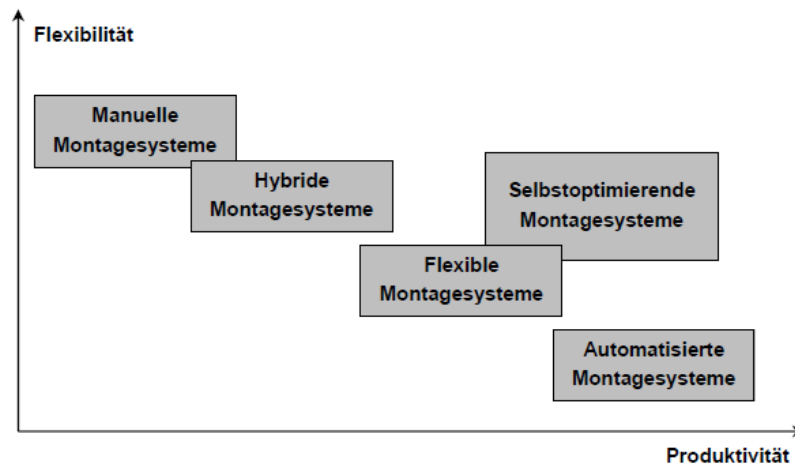


Abbildung 15: Neuordnung der Montagesysteme¹⁵⁸

Um eine hohe Wandlungsfähigkeit zu erreichen, lassen sich folgende Forderungen ableiten¹⁵⁹:

- „Gliederung der Fügestationen, Montagemaschinen und -systeme in transportfähige, funktional selbstständige und vorgetestete Module, die rasch auswechselbar sind.
- Einfache Umstellung der Zuführsysteme auf Varianten der Zuführteile durch Vermeidung mechanischer Ordnungselemente.
- Aufstellung der Montagemittel in Gebäuden mit großer Stützweite, um eine unproblematische Erweiterung zu ermöglichen.
- Energie- und Medienanschlüsse der Montagestationen über ein modulares, im Raster angeordnetes Versorgungssystem sicherstellen, z.B. durch einen Doppelboden oder eine Versorgungsebene über den Betriebsmitteln.
- Werkerinformationssysteme an den Arbeitsplätzen über Bildschirme statt Einsatz von Papierdokumenten.“

¹⁵⁷ Vgl. Johann Soder 2014, S. 101–102

¹⁵⁸ Auerbach Thomas et al. 2011, S. 198

¹⁵⁹ Wiendahl et al. 2014, S. 194

4 Industrie 4.0

Seit nun mehr drei Jahren wird in Industriezweigen über die 4. Industrielle Revolution gesprochen. In dieser Zeit wurde der effektive Einsatz durch die große Anzahl an benötigten neuen Technologien und deren Komplexität erschwert. Als Vorreiter für die Umsetzung von Industrie 4.0 Ideologien, gilt die Branche der Automobilhersteller. Diese sind wegen dem branchenspezifischen Kundenverhalten stark von dieser Revolution abhängig. Einige hochmoderne Automobilwerke befinden sich bereits an der Schwelle zum Zeitalter der Industrie 4.0 und benötigen neben dem Willen zur Implementierung, das notwendige Technologie- und Anwendungs-Knowhow. Im Vergleich zur Automobilindustrie ist in anderen Industriezweigen eine starke Unsicherheit gegenüber der 4. Industriellen Revolution spürbar.

In den 80er-Jahren fand bereits der erste Versuch, den Computer in die Produktion zu integrieren, statt. Damals sprach man von Computer Integrated Manufacturing (CIM). Bekannte Werkzeuge aus diesem Zeitalter sind PPS (Produktionsplanung und Steuerungssystem), CAD (Computer-aided design), CNC (computerized numeric control) und CAQ (Computer-aided Quality). Trotz der Bekanntheit und des vielfältigen Einsatzes dieser Werkzeuge steht CIM trotzdem im Kontext des Misserfolges. Die eigentlich geforderte Sensor-Vernetzung und Kommunikation fand wegen eines Mangels an technologischer Reife und der Höhe der Kosten nicht statt.¹⁶⁰

Es folgte das Zeitalter der Lean Production (deutsch – schlanke Produktion) Anfang der 90er Jahre. Japanische Automobil Hersteller hatten wegen ihrer neuen Produktionsphilosophie, dem „Toyota Produktionssystem“ einen deutlichen Marktvorteil. Es ließ nicht lange auf sich warten, bis deutsche OEMs (Original Equipment Manufacturer) die Philosophie übernahmen, um den Anschluss an die japanische Industrie nicht zu verlieren. Wichtige Werkzeuge sind Kaizen, Just in Time, Pull-Produktion und viele mehr.¹⁶¹

Getrieben durch die raschen Innovationen am IT Sektor, wird nun die 4. Industrielle Revolution möglich. Die Industrie 4.0, bzw. Fabrik 4.0 wird durch den Einsatz von cyberphysischen Systemen (CPS) ermöglicht. Diese sind in der Lage selbständig miteinander über das Internet zu kommunizieren, Daten auszutauschen und diese zu analysieren. In diesem Zusammenhang wird auch immer öfters der Begriff, Digitalisierung genannt. Bei der Digitalisierung werden analoge Größen in diskrete Werte überführt, um sie in weiterer Folge elektronisch zu speichern bzw. zu verarbeiten.¹⁶² In Abbildung 16 wird die industrielle Entwicklung schematisch dargestellt.

¹⁶⁰ Vgl. Johann Soder 2014, S. 85–86

¹⁶¹ Vgl. Ebenda, S. 87

¹⁶² Vgl. Thomas Hess 2013

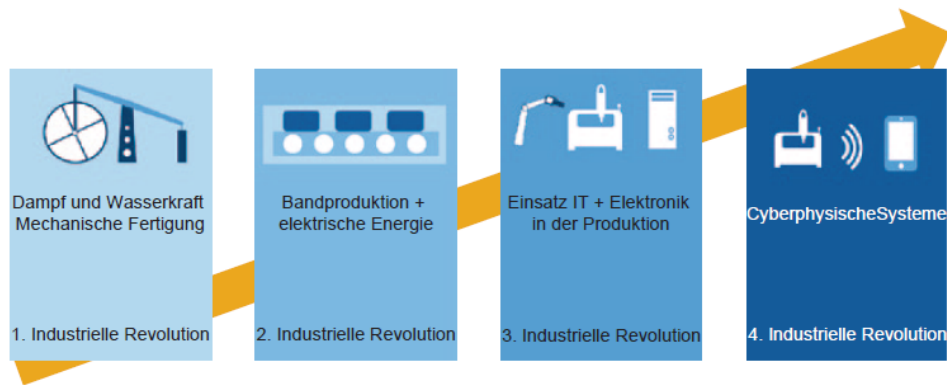


Abbildung 16: Übersicht der 4 industriellen Revolutionen¹⁶³

„Wie industrielle Umbrüche zuvor, hat auch die digitale Fabrik gesellschaftliche Konsequenzen. Berufsbilder werden sich ändern, ebenso wie die dazugehörige Ausbildung. [...] Die Mitarbeiter in den Fertigungen werden verstärkt Maschinen lenken, kreativ in Fertigungsprozessen denken und Entscheidungen der Maschinen kontrollieren.“¹⁶⁴ In weiterer Folge wird ein Effizienzanstieg durch die Verwendung von unterstützenden Assistenzsystemen erreicht.

Ein Beispiel dafür, dass durch die Digitalisierung nicht zwingend Arbeitsplätze eingespart werden müssen, ist das Siemens Werk in Amberg. Dort arbeiten seit 1989 konstant 1200 Beschäftigte. Durch die Digitalisierung konnte die Produktivität, ohne Mitarbeiterreduktion, um das Achtfache gesteigert werden.¹⁶⁵

In Massenfertigungen, wie zum Beispiel in der Textilindustrie üblich, kann es zu einer verstärkten Automatisierung kommen. Experten prognostizieren eine Rückkehr von Fertigungsbetrieben zurück nach Europa und dadurch einen Anstieg der verfügbaren Arbeitsplätze.¹⁶⁶

„Digitalisierung ist die richtige Antwort auf den steigenden Kostendruck, kürzere Innovationszyklen, komplexere und individuellere Produkte sowie die Notwendigkeit zur Energie- und Ressourceneffizienz.“¹⁶⁷ Sie findet entlang der gesamten Wertschöpfungskette statt und ermöglicht Unternehmen die „time to market“ zu halbieren.

Industrie 4.0 hat Einfluss auf die Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette innerhalb und außerhalb des Unternehmens.¹⁶⁸ Dabei fordert

¹⁶³ Kaufmann 2015, S. 4

¹⁶⁴ Dipl.-Ing. Dr. MBA Kurt Hofstädter 2015

¹⁶⁵ Vgl. Ebenda

¹⁶⁶ Vgl. Dipl.-Ing. Dr. MBA Kurt Hofstädter 2016

¹⁶⁷ Dipl.-Ing. Dr. MBA Kurt Hofstädter 2015

¹⁶⁸ Vgl. Kaufmann 2015, S. 4

Industrie 4.0 eine umfassende Digitalisierung der unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette.¹⁶⁹

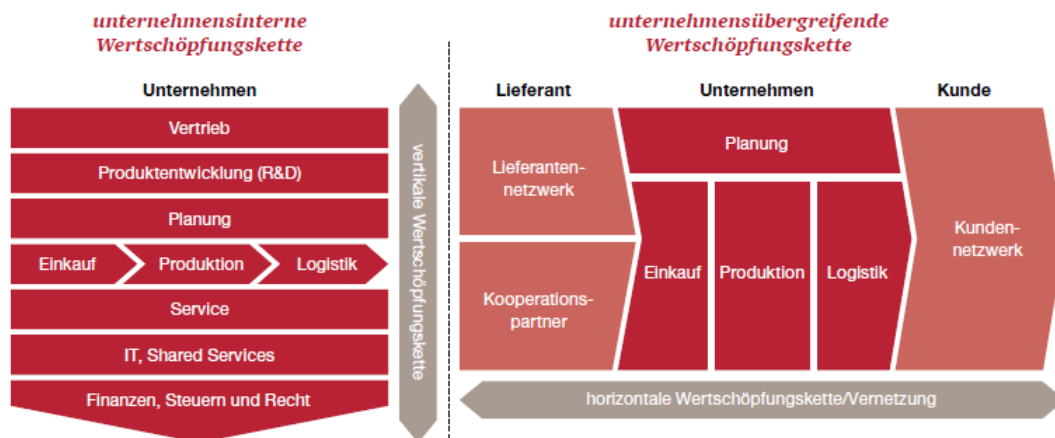


Abbildung 17: Definition unternehmensinterne und -übergreifende Wertschöpfungskette¹⁷⁰

Damit soll eine Produktion basierend auf individuellen Kundenwünschen, sprich eine Herstellung von individuellen Produkten, zu Herstellungskosten einer herkömmlichen Massen-/Serienfertigung, ermöglicht werden. Die Rede ist von Losgröße 1. Die daraus entstehende Variantenvielfalt führt zu einem starken Anstieg der Produktionskomplexität. Da diese, wegen der wachsenden Produktkomplexität, in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird, bedarf es einer Verbesserung auf der Ebene der Fertigung. Bei dieser Verbesserung spricht man von Industrie 4.0. Grundlage davon ist die Echtzeit-Bereitstellung von Daten aus allen beteiligten Instanzen des Wertschöpfungsnetzwerkes. Dadurch werden die Flexibilität und die Transparenz gesteigert. Die erhöhte Transparenz wird durch die vermehrte Informationsbereitstellung auf allen Ebenen, sowie der damit verbundenen Erleichterung der Entscheidungsfindung, gefördert. Dadurch werden Risiken um ein Vielfaches minimiert. Neben der Optimierung von vorhandenen Prozessen, eröffnen sich mittels Industrie 4.0 neue Geschäftsmodelle wie zum Beispiel Dienstleistungen, welche ergänzend zum eigentlichen Produkt angeboten werden können und die Funktionstüchtigkeit absichern sollen.

4.1 CPS und andere Begriffe

„Cyber-Physical Systems (CPS) sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundenen Informationsnetzen.“¹⁷¹

¹⁶⁹ Vgl. Ebenda, S.4

¹⁷⁰ PwC Österreich 2015, S. 18

¹⁷¹ VDI 2013, S. 2

Ein bekanntes Beispiel ist das Smartphone. Smartphones besitzen eine Vielzahl an Sensoren, welche ständig Daten generieren und aufzeichnen. Nun gibt es zwei Möglichkeiten diese Daten zu nutzen.

Abbildung 18 zeigt den schematischen Aufbau eines CPS, sowie die Anwendung in der Produktion und die damit entstehenden Begrifflichkeiten. In dieser Abbildung wird die Entwicklung des CPS Begriffs und andere in Verbindung stehende Begriffe schematisch erklärt. Ausgehend von einem technischen System, welches auf Produktionsebene eine in sich geschlossene Maschine darstellt, integriert man zunächst bestimmte Hard- und Software-Komponenten in dieses System, welche in ihrer Gesamtheit eingebettete Systeme genannt werden. Im nächsten Schritt folgt die Anbindung an das Internet und der damit verbundenen Verschmelzung mit dem Internet of Everything. Durch diese Verbindung wird die Datenspeicherung und Analyse ermöglicht, man spricht von sogenannten CPS. Anschließend breitet man diese CPS auf einen ganzen Produktionsbereich bzw. eine Produktionslinie aus. Dieses übergeordnete System wird in weiterer Folge Cyber-Physisches Produktionssystem (CPPS) genannt. Die Endausbaustufe ist die Vernetzung von Mensch, Maschine und Ressourcen. Ist erst einmal die gesamte Fabrik vernetzt, spricht man von einer smarten Fabrik. Die Vernetzung ermöglicht eine echtzeitnahe, selbständige Organisation wobei die Echtzeit Daten eine Verschmelzung der virtuellen mit der realen Welt ermöglichen.¹⁷²

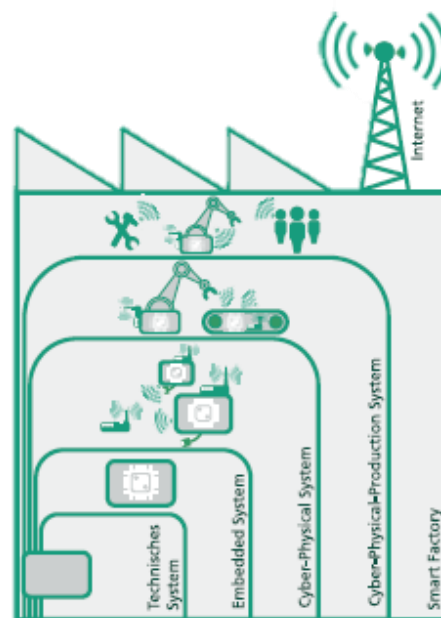


Abbildung 18: Anwendung von CPS in der industriellen Produktion¹⁷³

CPPS sind gekennzeichnet durch¹⁷⁴:

¹⁷² Bauernhansl et al. 2014a, S. 15–17

¹⁷³ Wilfried Sihl 20.05.16

¹⁷⁴ Vgl. Birgit Vogel-Heuser 2014, S. 37–38

- Sensoren welche unmittelbar physikalische Daten erfassen und Aktoren, die auf physikalische Vorgänge einwirken
- Datenspeicherung und -auswertung sowie auf dieser Grundlage aktiv oder reaktiv mit der physikalischen und der digitalen Welt interagieren
- digitale Netze welche untereinander verbunden sind, sowohl drahtlos als auch drahtgebunden, sowohl lokal als auch global
- Nutzung weltweit verfügbarer Daten und Dienste
- multimodaler Mensch/Maschine-Schnittstellen

Folgende Entwicklungsstufen konnten identifiziert werden¹⁷⁵:

1. Bei der ersten Ebene handelt sich um passive Auto ID Chips (RFID Chips) mit welchen nur eine eindeutige Identifikation möglich ist. Die System-Intelligenz wird dabei über zentrale Dienste bereitgestellt. Allerdings besitzt diese noch nicht genügend Intelligenz um Daten zu speichern oder auszuwerten.
2. In der zweiten Stufe werden aktive Sensoren und Aktoren eingesetzt, welche somit im Stande sind, Daten aus dem „Internet of Everything“ zu empfangen oder aber auch zu senden. Es handelt sich bei diesen Systemen dennoch um Systeme mit einem genau definierten Funktionsumfang
3. In der dritten Stufe kommt es zum Einsatz von netzwerkfähigen, intelligenten Komponenten. Diese bestehen aus mehreren Aktoren und Sensoren mit zentraler Intelligenz. Diese sind bereits im Stande über eine zentrale Schnittstelle, Kontakt zu anderen Systemen aufzunehmen.
4. Die vierte und letzte Ebene stellt die „Systems of Systems“ Ebene dar. Hier sind bereits mehrere Cyber-Physische Systeme vorhanden. Sie kombinieren ihre Einzelfähigkeiten und sind dadurch im Stande neue Fähigkeiten zur Verfügung zu stellen. Diese Stufe stellt die Endausbaustufe dar, welche die Plug & Produce Fähigkeit nutzt und woraus am Ende eine dezentrale autonome Systementwicklung und -gestaltung resultiert.

Neben den Cyber Physischen Systemen spielen andere Begriffe wie das „Internet of Everything“, „Internet of People“, „Internet of Services“ und „Internet of Things“ wichtige Rollen, siehe Abbildung 19.

¹⁷⁵ Vgl. Bauernhansl et al. 2014b, S. 17



Abbildung 19: Internet of Everything¹⁷⁶

„Der Begriff "Internet of Things" wurde das erste Mal 1999 von Kevin Ashton bei einer Präsentation bei P&G gebraucht. [...] Die ursprüngliche Bedeutung und auch die plausibelste ist, dass Dinge/Maschinen selbst Informationen generieren und im Internet zu Verfügung stellen und mit den Menschen teilen.“¹⁷⁷

Das Internet der Dinge ist in einem 4 stufigen Prozess entstanden. Es begann alles mit der Definition von „http“ und der Entwicklung des World Wide Web (www). Diesem folgte bald die Entwicklung des „Internet of services“. Dieses kennzeichnet sich durch den vom Benutzer entwickelten Inhalt, wie zum Beispiel XML und Webservices. Diese und andere Entwicklungen führten zu den ersten dynamischen Internetseiten. Die nächste technologische Weiterentwicklung, wie zum Beispiel die Erfindung von günstigen Breitband-Services, Smartphones und Tablets, sowie der rasch wachsenden Popularität von Social Networks, brachte das „Internet of people“. Durch weitere Innovationen in der IT-Industrie, im speziellen der Miniaturisierung von Computern, erfolgte die Entwicklung von eingebetteten Systemen und in weiterer Folge der CPS. CPS sind der Grundstein für das „Internet of Things“. Eingebettete Systeme übertragen aufgenommene Daten, mittels moderner Kommunikationstechnologien, in das Internet, und an andere Geräte mit Bedarf für Informationsaustausch. Da diese Kommunikation über das Internet abläuft, spricht man vom „Internet der Dinge“. Dieses dient also je nach Anwendung als temporärer oder dauerhafter Speicher.

Um die gemessenen Daten sinnvoll auswerten und weiterverwenden zu können, müssen diese analysiert und sinnvoll aufbereitet werden. Dies erfolgt über das „Internet der Dienste“, in welchem Softwareanbieter spezifische Analyse-Werkzeuge, in Form von Apps anbieten. Für bestimmte Bewertungen kann man sich mit Hilfe des

¹⁷⁶ Wilfried Sihn 20.05.16

¹⁷⁷ Kevin Ashton 2009, S. 1

„Internet der Menschen“ und der damit verbundenen „Social Networks“ mit Experten der ganzen Welt austauschen. Diese Interaktion aller existierender Arten des Internets wird oftmals als „Internet of Everthing“ bezeichnet.

Der Mensch hat in der zukünftigen Produktion die Funktion des Überwachers, Planers und Steuermanns. Die notwendige Kompetenz wird ihm mit industriellen Assistenzsystemen bereitgestellt.

4.2 Neue Technologien als Wegbereiter für die Zukunft

4.2.1 Begriffsabgrenzungen und Einführung

„Der Begriff Technologie bezeichnet sowohl die technischen Mittel als auch das Wissen und die Fähigkeiten um deren Anwendung zur Lösung technischer Problemstellungen.“¹⁷⁸

Industrie 4.0 liefert eine Vielzahl an Anwendungen und Funktionsbereichen, welche durch eine große Anzahl an Technologien ermöglicht werden. Um bestimmte Anwendungen zu realisieren, werden mehrere Technologien miteinander kombiniert, sodass eine Interaktion entsteht. Einige der besagten Technologien befinden sich, wie in den nächsten Abschnitten ersichtlich, bereits im industriellen Einsatz, andere sind kurz vor der Implementierung und andere befinden sich gerade einmal am Beginn der Entwicklung.

In diesem Zusammenhang ist es immer von Vorteil den Reifegrad der betrachteten Technologien zu berücksichtigen. Speziell für Technologien wurde 2012 von der NASA der sogenannte „Technology Readiness Level“ (TRL) definiert. Dieser bietet eine neunstufige Skala zur Bewertung von Technologien hinsichtlich des Entwicklungsfortschritts und Einsatzerfahrungen in realen Betriebsbedingungen. Der niedrigste Wert stellt hier der TRL 1 dar, welcher für Basisforschung und daraus abgeleiteten Forschungen steht. Der höchste TRL ist 9. Das bedeutet, dass die Technologie nachweislich unter realen Bedingungen erfolgreich eingesetzt wird.¹⁷⁹ Da dieses TRL von der NASA entwickelt wurde, lautet die genaue Definition: „Once a technology has been "flight proven" during a successful mission, it can be called TRL 9.“¹⁸⁰

Die Technologien können weiter unterteilt werden. Es handelt sich hierbei um die Gliederung nach wirtschaftlichen Potentialen. Diese Gliederung soll ergänzend zu der Einteilung nach dem TRL erfolgen und gibt Aufschluss über das Wettbewerbspotential

¹⁷⁸ Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 16

¹⁷⁹ Vgl. Horizon 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015

¹⁸⁰ Vgl. URL: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html, abgerufen am 11.07.2016

bzw. auf die Marktwirkung. Man unterscheidet dabei in Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologien.

Schrittmachertechnologien befinden sich aktuell noch in der Entstehungsphase und bieten Unternehmen, welche diese Technologie beherrschen ein hohes wirtschaftliches Potential.¹⁸¹ Schlüsseltechnologien haben sich bereits auf dem Markt durchgesetzt und stellen einen festen Bestandteil des Technologiespektrums einer Branche dar.¹⁸² Da diese allerdings nicht für alle Wettbewerber zugänglich sind, steigern diese Technologien für jene Unternehmen, welche diese Technologien beherrschen, die Wettbewerbschancen signifikant. Basistechnologien hingegen bieten keine Wettbewerbsvorteile mehr. Es handelt sich hierbei um Technologien, welche in dem jeweiligen Geschäftsfeld als Grundlage angesehen werden. Jene Unternehmen, welche diese Technologie nicht beherrschen, fallen im Wettbewerb zurück.¹⁸³

Die Industrie 4.0 basiert auf einer Vielzahl an neuen Technologien. Für die Umsetzung von bestimmten Anwendungen bedarf es einer Kombination und Interaktion von mehreren. Im Wesentlichen handelt es sich bei den untersuchten Technologien um jene, welche für eine Realisierung für CPS, dem Internet der Dinge und anderen zuvor genannten Begrifflichkeiten dienen. Für ein einfacheres Verständnis wurden die Technologien zunächst in Technologiefelder gruppiert und im Anschluss nach ihren Reifegraden und den wirtschaftlichen Potentialen analysiert. Die Einteilung in Technologiefelder erfolgt nach Kriterien wie Funktionen, systematischen Überbegriffen und Standards und Normen.¹⁸⁴ Die Zuordnung der Reifegrade erfolgt wegen der Vielfalt zur Verfügung stehender Techniken und der damit verbundenen Unschärfe in größeren Schritten. Dabei wurden jeweils 3 TRL zusammengefasst, wodurch sich die neuen Phasen Grundlagenentwicklung, Entwicklungs- und Evaluierungsphase sowie Implementierung ergeben.¹⁸⁵

In der Studie „Erschließen der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“¹⁸⁶ wurden folgende Technologiefelder identifiziert:

- Kommunikation
- Sensorik
- Aktorik
- Eingebettete Systeme
- Mensch-Maschine Schnittstellen

¹⁸¹ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 25

¹⁸² Vgl. Ebenda, S. 25

¹⁸³ Vgl. Ebenda

¹⁸⁴ Ebenda, S. 17

¹⁸⁵ Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 22

¹⁸⁶ Ebenda

- Software/Systemtechnik

Für die Betrachtung des Potentials von möglichen neuen Technologien ist es wichtig zwischen dem Potential für Technologieentwickler und Technologieanwender zu unterscheiden. Für Technologieentwickler eignet sich primär eine Betrachtung nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Klassifizierung nach Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologien) und sekundär die Analyse nach dem TRL, welcher Hinweise über die Dauer bis zur Markteinführung gibt.

Für Technologieanwender ist primär der TRL von Relevanz. Für die Anwendung von neuen Technologien in einem Unternehmen ist das wirtschaftliche Potential einer Technologie von sekundärer Bedeutung. Vielmehr stellt sich die Frage, welche Technologien für einen industriellen Einsatz in einem geeigneten Entwicklungsstadium angelangt sind.¹⁸⁷ Ein hoher TRL bedeutet, dass eine Technologie einen hohen Entwicklungsstand aufweist und sich somit kurz vor Markteintritt befindet. Das wirtschaftliche Potential kann nach Definition von Basis-, Schlüssel-, und Schrittmachertechnologien Auskunft darüber geben, welche Technologien Standard sein sollten und welche von Dienstleistern zugekauft werden sollten.¹⁸⁸

Um eine übersichtliche Darstellung, von beiden Blickwinkeln zu gewährleisten, wurde für die Einteilung der Technologien eine Matrix-Darstellung gewählt. In horizontaler Richtung erfolgt die Einteilung nach TRL (1-3, 4-6, 7-9), wobei in vertikaler Richtung das wirtschaftliche Potential dargestellt ist, siehe Abbildung 20.

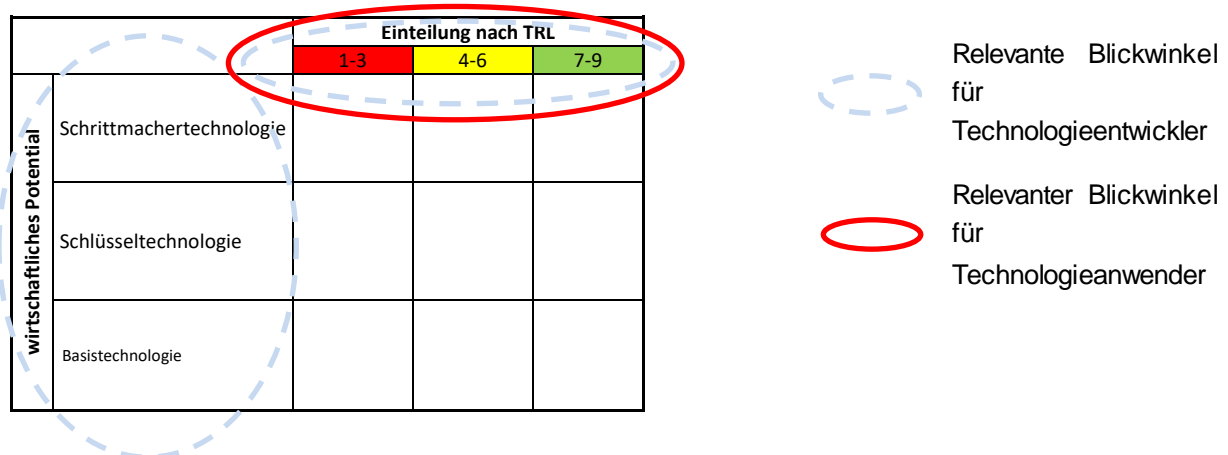


Abbildung 20: Erklärung der Technologiematrix

Da sich diese Arbeit mit der Anwendung von neuen Technologien im Kontext Industrie 4.0 beschäftigt, wird in den nächsten Abschnitten vermehrt auf die Einteilung nach dem TRL eingegangen. Die angeführten Technologien stammen dabei aus der Studie „Erschließen der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“.¹⁸⁹

¹⁸⁷ Vgl. Ebenda, S. 23

¹⁸⁸ Vgl. Ebenda

¹⁸⁹ Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 23

4.2.2 Kommunikation

Das Technologiefeld Kommunikation beinhaltet Technologien welche CPS zum Datenaustausch untereinander befähigen. Bei diesen Kommunikationstechnologien handelt es sich sowohl um drahtgebundene als auch drahtlose Technologien. Beispiele für drahtgebundene Kommunikation sind Bus Technologien, wobei WLAN und Radio Frequency, Beispiele für drahtlose Kommunikation sind. Damit in Zukunft ein sicherer Datenaustausch gewährleistet werden kann, bedarf es weiterer Forschung in den Bereichen der Datentransferleistung, IT Sicherheit und der Verfügbarkeit dieser Netze.

Einer der kritischen Erfolgsfaktoren von Industrie 4.0 ist die Kommunikation bzw. der Datenaustausch in Echtzeit. Dabei zählen echtzeitfähige Bussysteme und mobile Kommunikationsnetze zu den Technologien, welche einen hohen Reifegrad besitzen. Die Tatsache, dass dies Basistechnologien sind, lässt erkennen, dass jedes Unternehmen darauf zurückgreifen kann und diese auch beherrschen sollte. Drahtgebundene Hochleistungskommunikation sowie die IT-Sicherheit sind ebenfalls hoch entwickelt, müssen allerdings wegen ihrer Komplexität von spezialisierten Unternehmen zugekauft werden. Am Anfang der Entwicklung befinden sich derzeit echtzeitfähige, drahtlose Kommunikationssysteme und selbstorganisierende Kommunikationsnetze. Für deren effektiven, sicheren Einsatz ist ein großer Forschungsaufwand notwendig.

Tabelle 4: Einteilungsmatrix für Kommunikationstechnologien¹⁹⁰

		Einteilung nach TRL		
		1-3	4-6	7-9
wirtschaftliches Potential	Schrittmachertechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Echtzeitfähige drahtlose Kommunikation • Selbstorganisierende Kommunikationsnetze 		
	Schlüsseltechnologie			<ul style="list-style-type: none"> • Drahtgebundene Hochleistungs-Kommunikation • IT-Sicherheit
	Basistechnologie			<ul style="list-style-type: none"> • Echtzeitfähige Bus-Technologie • Mobile Kommunikationsnetze

4.2.3 Sensorik

Die Sensorik beinhaltet Technologien welche in CPS Daten sammeln und daraus Informationen generieren. Im Allgemeinen bestehen Sensoren aus einem Sensor-Element und der Auswerte-Elektronik. Das Sensor-Element zeichnet physikalische, chemische, klimatische, biologische und medizinische Größen auf und wandelt diese in ein elektrisches Ausgabesignal um. Das elektrische Signal wird an die Auswerte-Elektronik übermittelt, welche das Signal final für Steuerungs- und Auswertezwecke aufbereitet und schließlich zur Verfügung stellt. Wegen der fortschreitenden Miniaturisierung ist es üblich, dass beide Teile auf einer Platine untergebracht sind.¹⁹¹ In CPS nimmt die Sensorik eine zentrale Rolle ein, da sie Informationen zum Zustand der Maschine, der Umgebung, der Prozessausführung, sowie des Werkstücks selbst sammelt.¹⁹²

Wie zuvor schon kurz erwähnt, beinhaltet das Technologiefeld Sensorik alle Technologien, welche zur Informationsgewinnung dienen. Dazu gehört nicht nur das Messen, bzw. Aufnehmen von Daten, sondern auch die sinnvolle Aufbereitung und Verknüpfung. Was man auf den ersten Blick in Tabelle 5 erkennt, ist, dass keine ausgereifte Technologie mit hohem TRL dazu existiert. Sensorfusion beschäftigt sich mit der Verknüpfung von mehreren gemessenen Sensor-Daten und der Aufbereitung

¹⁹⁰ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 24–25

¹⁹¹ Vgl. Hering und Schönfelder 2012, S. 1

¹⁹² Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 19

der damit verbundenen verbesserten Informationsqualität. Die Sensorfusion befindet sich in Entwicklungs- und Evaluierungsphase, welche wegen der Komplexität der Aufgabe von ein paar wenigen spezialisierten Unternehmen vorangetrieben und auch angeboten wird. Es handelt sich um Wissen welches für Anwendungen zugekauft werden muss. Bei vernetzter Sensorik handelt es sich um Sensoren mit Funk- und Ortungseinheiten, welche Daten untereinander und auch mit Knotenpunkten austauschen. In diesem Kontext spielt auch die Sensorfusion eine wichtige Rolle.¹⁹³ Die vernetzte Sensorik befindet sich in der Entwicklungs- und Evaluierungsphase. Neuartige Sicherheitssensorik werden in Gebieten eingesetzt, wo Menschen mit Robotern interagieren. Diese Sicherheitssensorik gewährleistet, dass der Roboter den Menschen nicht verletzt. Miniaturisierte und intelligente Sensorik befindet sich aktuell noch in der Grundlagenentwicklung, was einen industriellen Einsatz denkbar schwierig gestaltet. Ein Smart-Sensor verfügt neben der eigentlichen Messgrößenerfassung auch über die Fähigkeit zur Signalaufbereitung und Signalverarbeitung.¹⁹⁴

Tabelle 5: Einteilungsmatrix für Sensorik¹⁹⁵

		Einteilung nach TRL		
		1-3	4-6	7-9
wirtschaftliches Potential	Schrittmachertechnologie		<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzte Sensorik • Neuartige Sicherheitssensorik 	
	Schlüsseltechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Miniaturisierte Sensorik • Intelligente Sensorik 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensorfusion 	
	Basistechnologie			

4.2.4 Aktorik

Das Gegenstück zur Sensorik ist die Aktorik. Während die Sensorik aus physikalischen Größen elektrische Größen ableitet, passiert bei der Aktorik genau das Gegenteil. Das

¹⁹³ Vgl. Fraunhofer IPM 2015

¹⁹⁴ Vgl. Derbel 2002

¹⁹⁵ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 24–25

bedeutet, Aktoren wandeln elektrische Signale um und wirken basierend auf diesen Signalen auf die physische Umwelt. Meist erfolgt dies über Antriebselemente, welche eine mechanische Bewegung bewirken, oder schlicht eine Veränderung von physikalischen Größen bewirken. Im Technologiefeld Aktorik befinden sich dementsprechend Technologien, welche diese Funktionen ermöglichen.¹⁹⁶

Wie zuvor bei der Sensorik festgestellt, existiert auch hier keine Technologie die sich bereits in der Implementierungsphase befindet. Die in Tabelle 6 eingetragenen Technologien, befinden sich alle in der Entwicklungs- und Evaluierungsphase. Zu den dargestellten Technologien kann man zusammenfassend sagen, dass Aktoren in der Zukunft mit mehr Intelligenz ausgestattet werden müssen. Das soll komplexere und reaktionsfähigere Regelungen ermöglichen.

Tabelle 6: Einteilungsmatrix für Aktorik¹⁹⁷

		Einteilung nach TRL		
		1-3	4-6	7-9
wirtschaftliches Potential	Schrittmachertechnologie		<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzte Aktorik 	
	Schlüsseltechnologie		<ul style="list-style-type: none"> • Intelligente Aktorik • Sichere Aktorik 	
	Basistechnologie			

4.2.5 Eingebettete Systeme

„Eingebettete Systeme stellen eine Kombination aus Hard- und Softwarekomponenten dar, die in einem technischen Kontext eingebunden sind und die Aufgabe haben, ein System zu steuern, zu regeln oder zu überwachen. Ein eingebettetes System verrichtet vordefinierte Aufgaben, oftmals mit Echtzeit-Berechnungsanforderungen.“¹⁹⁸ Diese eingebetteten Systeme sind in ihrer einfachsten Form Identifikationsmittel, wie zum Beispiel RFID Chips, QR-Codes oder Barcodes, welche schon seit Jahren in der

¹⁹⁶ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 19

¹⁹⁷ Vgl. Ebenda, S. 24-25

¹⁹⁸ BITKOM 2010, S. 4

Industrie erfolgreich eingesetzt werden. Damit zählen Identifikationsmittel zu den Basistechnologien. Identifikationsmittel funktionieren auf unterschiedliche Art und Weise. RFID Chips, die Informationen direkt am Chip gespeichert haben, oder QR-Codes, die als Schlüssel für den Cloudspeicher dienen, von welchem die Informationen abgerufen werden, sind Möglichkeiten Identifikationsmittel zu realisieren. Intelligente, eingebettete Systeme sind Computerchips, die neben der einfachen Identifikation, beispielsweise das Produktgedächtnis eines Werkstücks mit sich transportieren. Dieses umfasst nicht nur die ganze Produktionshistorie, sondern auch alle zukünftig anfallenden Bearbeitungsschritte. Diese Informationen werden mit eingebetteten Systemen einer Maschine ausgetauscht, wodurch die Maschine dezentral am Ort der Entstehung über den notwendigen Bearbeitungsschritt entscheidet. Diese Technologie ist bereit zum Einsatz, wird aber wegen der damit verbundenen komplexen intensiven Umstrukturierung noch selten eingesetzt.¹⁹⁹

„Energy Harvesting“ ist der Bezug von Energie aus der Umgebung. Eingebettete Systeme haben oft das Problem, dass sie nicht direkt mit Energie versorgt werden können. Das heißt, die notwendige Betriebsenergie muss aus der Umgebung geholt werden. Ein Beispiel von vielen Möglichkeiten sind passive RFID Chips. Sie besitzen keine Möglichkeit intern Energie zu erzeugen. Sobald sie in die Nähe eines RFID-Lesegerätes kommen, baut sich ein Magnetfeld auf, welches den Transponder mit Energie versorgt. Dieses Gebiet befindet sich in der Entwicklungs- und Evaluierungsphase.

Die letzte Technologie sind miniaturisierte eingebettete Systeme, welche vom Hunger nach Innovationsfortschritt getrieben werden. Die Miniaturisierung von Computersystemen ermöglicht die Entwicklung von neuen Techniken und ist ein sehr wichtiges Forschungsfeld. Momentan befindet sich dieses allerdings noch in der Grundlagenforschung.

¹⁹⁹ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 311

Tabelle 7: Einteilungsmatrix eingebettete Systeme²⁰⁰

		Einteilung nach TRL		
		1-3	4-6	7-9
wirtschaftliches Potential	Schrittmachertechnologie			
	Schlüsseltechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Miniaturisierte eingebettete Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • Energy Harvesting 	<ul style="list-style-type: none"> • Intelligente eingebettete Systeme
	Basistechnologie			<ul style="list-style-type: none"> • Identifikationsmittel

4.2.6 Mensch-Maschine Schnittstelle

Damit der Mensch optimal in die Produktion der Zukunft eingebunden wird, bedarf es eines Technologiefelds, welches auf die Umsetzung dieses Gedankens spezialisiert ist. Wie die letzten Ausführungen zeigten, steigt der Automatisierungsgrad in den nächsten Jahren schrittweise an. Der Mensch wird dabei allerdings nicht aus der Fabrik verschwinden. Mit seiner hohen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit eignet er sich hervorragend für die Rolle des Überwachers, Steuerers und Instandhalters. Da die technischen Gewerke und die damit verbundenen Prozesse immer komplexer werden, benötigt der Mensch Technologien, welche die Transparenz im Arbeitsablauf fördern, und somit die manuellen Aufgaben vereinfachen. Da die Umstellung der bestehenden Produktion auf neue Industrie 4.0 Produktionskonzepte nicht von einem Tag auf den anderen erfolgt, spielen diese Systeme in der näheren Zukunft, auch vermehrt in manuellen Arbeitsplätzen eine wichtige Rolle (Montagestationen). Basiselemente für den Einsatz von Mensch-Maschine Schnittstellen sind häufig Technologien aus den Feldern Sensorik, Kommunikation und eingebettete Systeme.²⁰¹

Intuitive Bedienelemente, wie Bildschirme mit einem Touchdisplay, sind die einfachste Form der Mensch-Maschine Schnittstelle. Aus diesem Grund werden sie auch erfolgreich in der Industrie eingesetzt. Sie zählen zu den Basistechnologien und somit

²⁰⁰ Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 24–25

²⁰¹ Ebenda, S. 20

Grundlage für einen erfolgreichen Wettbewerb. Geht man eine Entwicklungsphase zurück, stößt man auf Technologien wie Sprachsteuerung, Gestensteuerung, Fernwartung, „Augmented Reality“ und „Virtual Reality“. Nach dem Ausbruch des Booms vor 2 Jahren handelt es sich hierbei um die Vorreiter zukünftiger Mensch-Maschinen Schnittstellen. Der große Vorteil von Sprachsteuerung ist die Bedienung ohne Nutzung der Hände. Bestimmte Wörter oder Sätze lösen spezifische Funktionen aus. Die Gestenerkennung hingegen kann gerätebasiert und kamerabasierten erfolgen.

„**Kamerabasierte** Systeme greifen auf eine externe Sensorik zurück, unterstützt von Kameras. Beispiele für eine solche Gestenerkennung sind das EyeToy (Sony) sowie Kinect (Microsoft). [...] **Gerätebasierte** Gestenerkennung basiert auf Sensorik, die am Körper getragen oder in der Hand geführt wird. Dabei können integrierte Beschleunigungs- und/oder Positionssensoren zum Einsatz kommen. [...] Ein Beispiel für gerätebasierte Gestenerkennung ist der Datenhandschuh.“²⁰² Die angewandten Gesten können weiters in kontinuierliche und in diskrete Gesten unterteilt werden. Beispiel einer kontinuierlichen ist das Zeigen auf einen Bildschirm und der damit verbundenen Mauszeigerbewegung. Diskrete Gesten bedeuten, dass jede Bewegung/Geste mit einer Funktion am Computer verbunden ist. Fernwartung wird durch neuartige Sensortechnik ermöglicht, welche mittels echtzeitfähiger Kommunikationstechnologien Informationen über das Internet an den Maschinenhersteller bzw. -betreiber schicken. Die direkte Verbindung mit der Maschine ermöglicht eine Interaktion, konkret eine Wartungsmaßnahme von außerhalb der Unternehmensgrenzen. Für diese Technologie ist eine hohe IT-Sicherheit wichtige Voraussetzung. „Als [...] Augmented Reality (AR) wird eine computergestützte Wahrnehmung bezeichnet, bei der sich reale und virtuelle Welt vermischen. Über die gerade betrachtete reale Welt werden in Echtzeit Textinformationen und Grafiken geblendet.“²⁰³ Im Gegensatz dazu wird bei der Virtual Reality (deutsch - virtuelle Realität) eine scheinbare Welt geschaffen in die der Betrachter eintaucht, sich in ihr bewegen und seine Fantasien und Vorstellungen umsetzen kann. Es ist eine vom Computer geschaffene Welt ohne reale Gegenstände.²⁰⁴

Wahrnehmungsgesteuerte Schnittstellen sind multimodale Schnittstellen, welche auf der üblichen Interaktion zwischen Menschen basieren. Dadurch wird eine einfache, intuitive Mensch-Maschine Interaktion ermöglicht.²⁰⁵ Die wahrnehmungsgesteuerte

²⁰² Siehe URL: <http://www.th-wildau.de/sbruntha/Material/VR/Websites-T09/Datenhandschuh/gesten.html>, abgerufen am 12.07.2016

²⁰³ Siehe URL: <http://www.golem.de/specials/augmented-reality/>, abgerufen am 12.7.2016

²⁰⁴ Vgl. URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Virtuelle-Realitaet-VR-virtual-reality.html>, abgerufen am 12.07.2016

²⁰⁵ Vgl. Matthew Turk 2000, S. 4

Schnittstelle kann als Weiterentwicklung der normalen Gestensteuerung angesehen werden. In der Grundlagenentwicklung befinden sich derzeit noch Verhaltensmodelle des Menschen, kontextbasierte Informationspräsentation und Semantik-Visualisierung. Bei der kontextbasierten Informationsbereitstellung bekommt der Arbeiter abhängig von Arbeitsplatz und Werkstück relevante Informationen zum anstehenden Arbeitsablauf.²⁰⁶

Tabelle 8: Einteilungsmatrix Mensch-Maschine Schnittstelle²⁰⁷

		Einteilung nach TRL		
		1-3	4-6	7-9
wirtschaftliches Potential	Schrittmachertechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Verhaltensmodelle des Menschen • Kontextbasierte Informationspräsentation • Semantik-Visualisierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrnehmungsgesteuerte Schnittstellen 	
	Schlüsseltechnologie		<ul style="list-style-type: none"> • Sprachsteuerung • Gestensteuerung • Fernwartung • Augmented Reality • Virtual Reality 	
	Basistechnologie			<ul style="list-style-type: none"> • Intuitive Bedienelemente

4.2.7 Software/Systemtechnik

Kernfunktion des Technologiefeldes „Software/Systemtechnik“ ist die Datenverarbeitung. Sie lässt sich in jene Technologien unterteilen, welche eine dezentrale Steuerung von CPS ermöglichen und jene welche „... eine Verarbeitung von großen Datenmengen oder eine Modularisierung von Software in der Cloud ermöglichen.“²⁰⁸ Diese Modularisierung ist vergleichbar mit der App-Struktur bei Mobiltelefonen, wobei es hier in naher Zukunft zu einer starken Änderung der Geschäftsmodelle und Systemlösungen kommen wird.

Web Services/Cloud Dienste sowie Ontologien gehören zu den Basistechnologien, welche in vielen Unternehmen zur Standardausstattung gehören. „Eine Ontologie ist ein formales Wissensmodell, das im Wissensmanagement, in Experten- und

²⁰⁶ Vgl. Wilhelm Bauer und Sebastian Schlund 20.04.15, S. 22

²⁰⁷ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 24–25

²⁰⁸ Ebenda, S. 35

Multiagentensystemen bei der Informationsintegration und insbesondere im Semantic Web für die Bereitstellung von Wissensstrukturen, für Wissensorganisation oder als Basis der automatisierten Wissensverarbeitung genutzt wird.“²⁰⁹ Weitere Technologien mit hohem TRL sind Big Data Speicher und Analyseverfahren, sowie Cloud Computing (inkl. Speicher und Zugriffsverfahren). Wie der Begriff „Big Data“ bereits verrät handelt es sich dabei um große Datenmengen. Mit Hilfe der technologischen Entwicklung ist es nun möglich alle gemessenen Daten in das Internet zu übermitteln und dort eine große Menge an Daten zu speichern und zu analysieren. Für diese Big Data Analyse werden Daten untereinander und mit Ereignissen verknüpft. In weiterer Folge werden bestimmte Auswerte-Algorithmen eingesetzt, wodurch detaillierte Prozessanalysen durchgeführt werden können. Geht es um die Verarbeitung/Analyse von Daten, spielen das maschinelle Lernen, maschinelle Mustererkennung und Multiagentensysteme eine große Rolle. Beim maschinellen Lernen bzw. der Mustererkennung werden die gespeicherten historischen Daten auf Muster untersucht, wobei diese dann für die Analyse der in Echtzeit gemessenen Daten verwendet werden. Mit Hilfe dieser Technologie werden vorrausschauende Analysen ermöglicht. Multi-Agenten Systeme sind Systeme aus mehreren gleichrangigen oder unterschiedlich spezialisierten Einheiten, Software-Agenten die gemeinsam ein Problem lösen.²¹⁰ Simulationsumgebungen sowie Multi-Kriterielle Situationsbewertung befinden sich noch in der Grundlagenentwicklung. Beispiele für Simulationsumgebungen sind 3D-Planstände. Diese setzen auf eine virtuelle Darstellung des Fabriklayouts mit allen Maschinen und Transportmitteln sowie der generierten Daten inklusive benutzerfreundlicher Darstellung.

²⁰⁹ Rudi Studer 2012

²¹⁰ Vgl. Weiss 2000

Tabelle 9: Einteilungsmatrix Software/Systemtechnik²¹¹

		Einteilung nach TRL		
		1-3	4-6	7-9
wirtschaftliches Potential	Schrittmachertechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Simulationsumgebung für I 4.0 • Multi-Kriterielle Situationsbewertung 		
	Schlüsseltechnologie		<ul style="list-style-type: none"> • Maschinelles Lernen und Mustererkennung • Multi Agenten Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • Big Data Speicher und Analyseverfahren • Cloud Computing (inkl. Speicher und Zugriffsverfahren)
	Basistechnologie			<ul style="list-style-type: none"> • Web Service/Cloud Dienste • Ontologien

4.2.8 Standards und Normen

Standards und Normen sind im Zeitalter der 4. Industriellen Revolution sehr wichtig. Die Technologiefelder Kommunikation und Datenerfassung sind davon am stärksten betroffen. Ein großes Handlungsfeld von Industrie 4.0 ist die Vernetzung bzw. Digitalisierung horizontal entlang der Wertschöpfungskette über die Unternehmensgrenzen hinweg mit anderen Unternehmen. Damit diese Herausforderung gemeistert werden kann, sind Standards für die einheitliche Datenaufnahme und den einheitlichen Datenaustausch nötig. Im Laufe der Zeit haben sich eine große Anzahl von Kommunikationsprotokollen entwickelt, die übergreifend nur mäßig kooperationsfähig sind.²¹²

In die Bereiche der Standardisierung fallen „die Identifikation, Ereignis- und Zustandserfassung mit AutoID- und Sensortechnologien für Waren und Objekte entlang der Lieferkette, oder mit Steuerungssystemen und dem Menschen sowie die Kommunikation von Maschinen und anderen Betriebs- und Arbeitsmitteln untereinander und die strukturierte Beschreibung von Produktdaten und Produktkatalogen mittels geeigneter semantischer Kategorien.“²¹³ Neben der Standardisierung von Software-Elementen müssen bestimmte Hardware-Elemente

²¹¹ Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 24–25

²¹² Vgl. Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 20

²¹³ Ebenda, S. 20

ebenfalls standardisiert werden. Damit sind zum Beispiel Lagerhilfsmittel wie Behälter, welche eine durchgängige intelligente Lieferkette ermöglichen, gemeint.

4.3 Funktionsfelder

In der Studie „Erschließen der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“ wurden fünf aufeinander aufbauende Funktionsfelder identifiziert²¹⁴:

- Datenerfassung & -verarbeitung
- Assistenzsysteme
- Vernetzung & Integration
- Dezentralisierung & Serviceorientierung
- Selbstorganisation & Autonomie

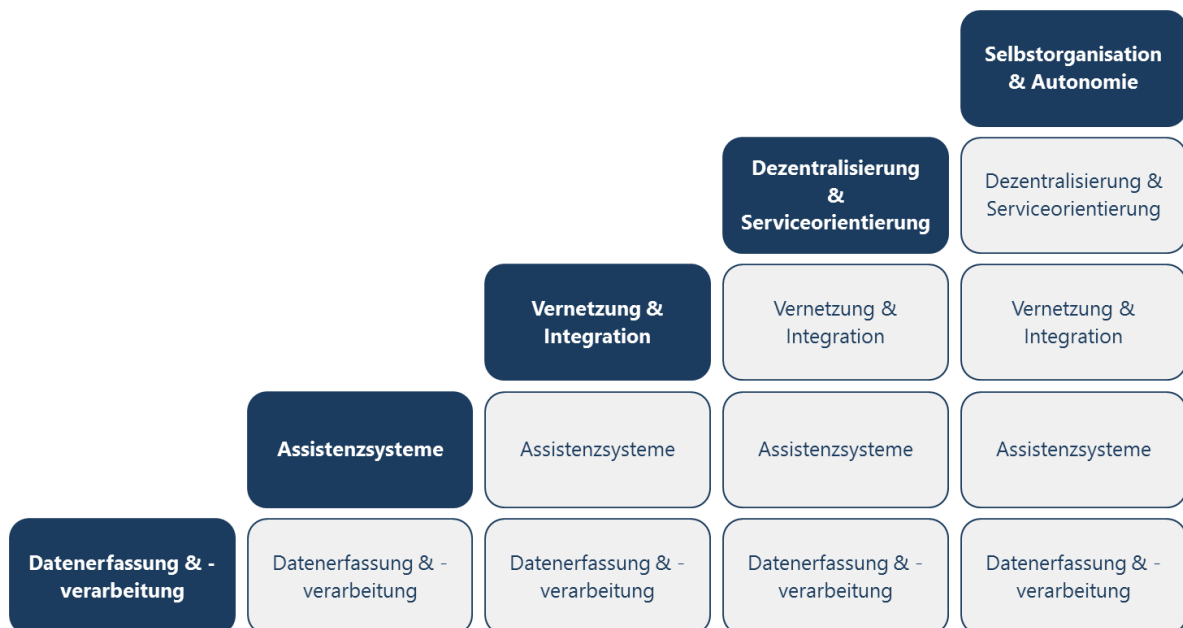


Abbildung 21: Stufenmodell der Industrie 4.0 Funktionsfelder²¹⁵

Damit diese Funktionsfelder tatsächlich möglich sind, ist ein kombinierter Einsatz der zuvor genannten Technologien notwendig. Damit Industrie 4.0 tatsächlich möglich wird, müssen Technologien sowohl innerhalb der Technologiefelder als auch übergreifend interagieren. Damit die Potentiale für diese Funktionsfelder in bestehenden Produktions-/Montagesysteme identifiziert werden können, müssen sich diese einer Analyse unterziehen. In der Gegenwart werden Produktionsprozesse typischerweise mit TPS-Werkzeugen analysiert. Dazu zählen die Wertstromanalyse/-design, „Six Sigma“ oder „Total Productive Maintenance“. Im Kontext Industrie 4.0 und der Reduktion von Medienbrüchen, besteht hier noch Entwicklungsbedarf.

²¹⁴ Ebenda, S. 75-141

²¹⁵ Eigendarstellung

Möglicherweise lassen sich bestehende Werkzeuge um definierte spezifische Werkzeuge, Attribute und Methoden ergänzen.²¹⁶

²¹⁶ Vgl. Bauernhansl et al. 2014a, 76ff

5 Entwicklung eines Industrie 4.0 Referenzmodells und Vorstellung des entwickelten Modells

Industrie 4.0 Anwendungen sind, wie bereits zuvor erläutert, gekennzeichnet durch den Einsatz mehrerer Technologiefelder und derer Interaktion. Um mögliche Einsatzgebiete zu identifizieren, bzw. bestehende Anwendungen zu analysieren, bedarf es einer neuartigen Methode. Sie soll allerdings nicht komplett neu erfunden werden, vielmehr handelt es sich dabei um eine Erweiterung des Werkzeugkastens des Toyota Produktionssystems (TPS). Details dazu werden in nachfolgenden Abschnitten erklärt. Um die Identifikation von neuen Potentialen zu unterstützen, wird ein Referenzmodell eingesetzt, welches die allgemeinen Grundzüge der Industrie 4.0 und des damit verbundenen Datenverhalten abbildet. Neben der Potential-Identifikation, kann das Referenzmodell als Vorbild für die Modellierung spezifischer Anwendungen herangezogen werden. Inhalt dieses Modells soll dann eine überblicksmäßige Darstellung der eingesetzten Technologien und des resultierenden Umgangs mit Daten sein. Dienen soll dieses Modell dann zur einfacheren Kommunikation und Diskussion bei der Ableitung von Handlungsfeldern dienen. Das Referenzmodell soll zunächst für das Gewerk Montage konstruiert werden, allerdings leicht auf andere Gewerke adaptierbar sein.

5.1 Methodik zur Entwicklung eines Referenzmodells

Die Entwicklung/Konstruktion des Referenzmodells, erfolgt analog zu der in Abschnitt 2.3 vorgestellten Vorgehensweise, siehe Abbildung 22.

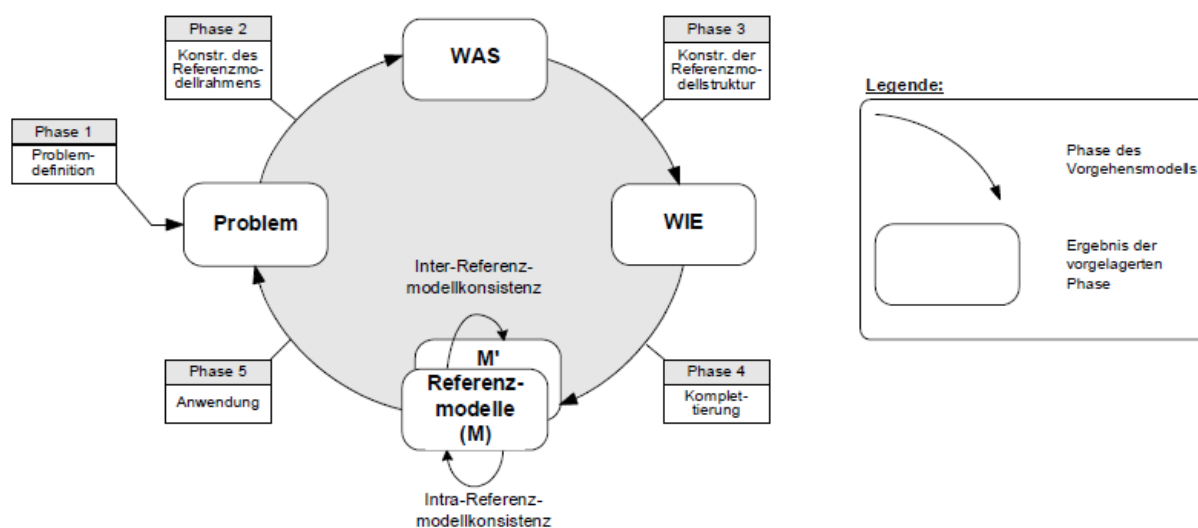


Abbildung 22: Vorgehensmodell zur Konstruktion und Anpassung von Referenzmodellen²¹⁷

²¹⁷ Rosemann und Schütte 1999, S. 5

Da es sich bei dem theoretischen Vorgehensmodell um einen Zyklus/Kreislauf handelt, kann dieser nicht zur Gänze der gegenständlichen Arbeit berücksichtigt werden. Es folgt eine abgeleitete Methode zur Erstellung eines Referenzmodells, der aufgezeigte Zyklus wird nur einmal durchlaufen.

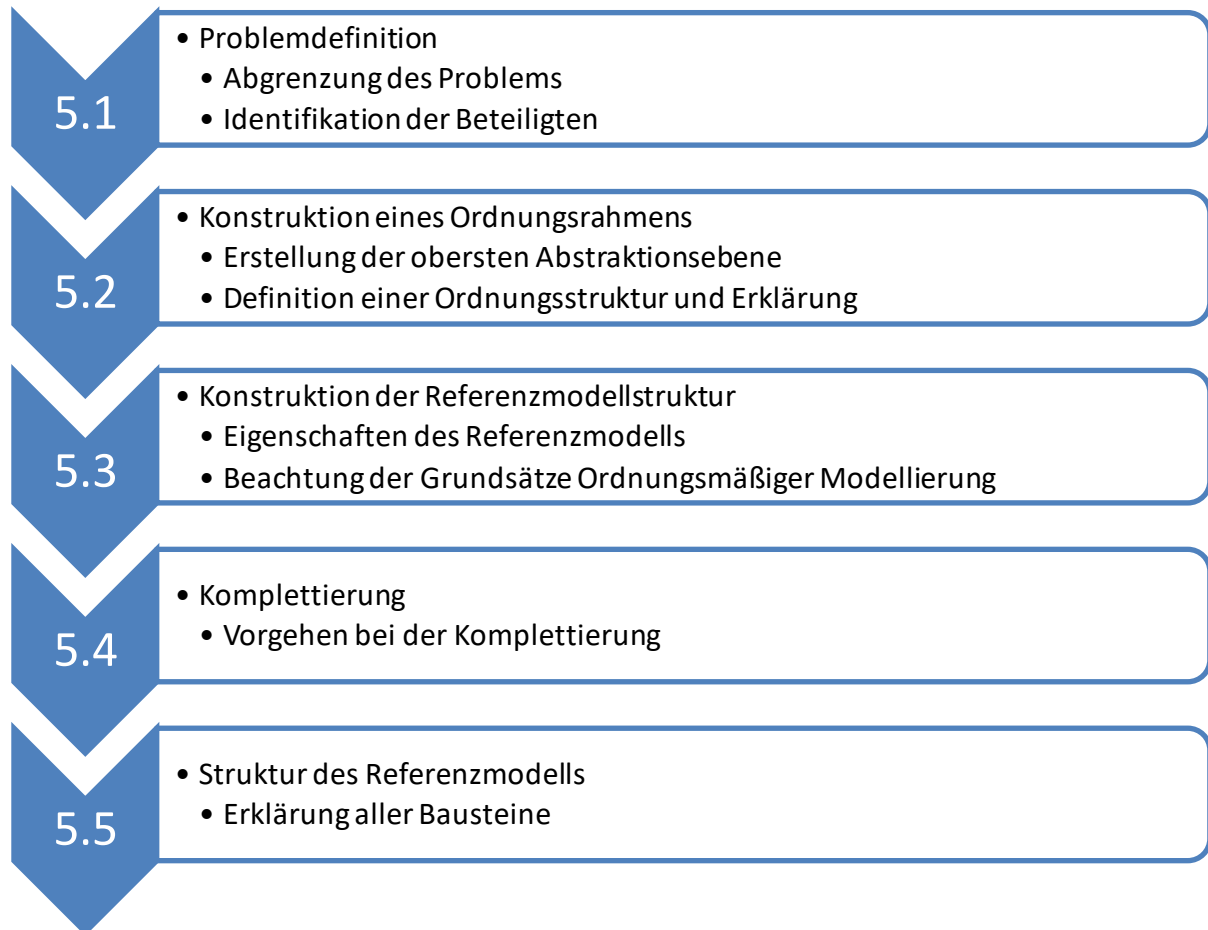


Abbildung 23: Methodik für die Erstellung eines Referenzmodells

5.2 Problemdefinition

Betrachtet man bekannte Methoden zur Identifizierung von Verbesserungspotentialen so stellt man fest, dass dies mit wohl definierten Werkzeugen geschieht. Industrie 4.0 ermöglicht mit seinen einhergehenden Technologien neue Möglichkeiten der Verbesserung. Durch die Industrie 4.0 werden neue Informations- und Kommunikationstechnologien in bestehende Fabriksstrukturen eingebracht.²¹⁸ Die Mehrheit der Industrieentscheidungsträger ist sich über die Funktionsweise noch nicht bewusst. Diese Komplexität macht die Identifikation von Verbesserungspotentialen sowie neuer Anwendungen momentan sehr schwierig.

²¹⁸ Vgl. Buhr 2015

Experten aus Forschung und Industrie wünschen eine Methodik welche den Einsatz von neuen Technologien auf einfache Art und Weise veranschaulicht:

„Assistenzsysteme werden vom Mittelstand bisher nur teilweise eingesetzt. Die Potenziale werden meist noch nicht wahrgenommen bzw. es besteht ein Wissensdefizit in Bezug auf die verfügbaren technischen Möglichkeiten.“²¹⁹

„Ein Modell welche die bestehende Fabrikstruktur und neue Technologien miteinander abbildet und infolge dessen die Interaktion dieser darstellt, würde bei der Vermittlung zwischen Technologieanbieter und Anwender unterstützen.“²²⁰

Gerade bei Klein- und mittelständischen Unternehmen kann es oft vorkommen, dass die Prinzipien der Lean Production oder des TPS noch nicht verstanden, geschweige denn umgesetzt wurden. Das macht den Umschwung umso schwerer. Industrie 4.0 bedarf für die Einführung, wegen des verstärkten Einsatzes von IKT, mehr Aufwand als die Optimierung nach dem Lean Prinzip. Neben dem verstärkten Implementierungsaufwand, wird auch oft der Nutzen nicht verstanden. Im Zentrum der Industrie 4.0 Anwendungen stehen die Daten, welche oft auch als „das neue Öl“²²¹ oder als „Öl der Zukunft“²²², bezeichnet werden. Im Gegensatz zum Lean-Management verändert man in der Industrie 4.0 nicht mehr ausschließlich direkt physische Prozesse, sondern auch vermehrt den Umgang mit den uns umgebenden Daten. Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, wird dieser Umgang mit bestimmten neuen Technologien, welche wiederum in Technologiefelder zusammengefasst werden, ermöglicht. Um also Industrie 4.0 Potentiale erheben zu können, muss man sich einerseits bewusst sein, wie der Umgang mit Daten in spezifischen Situationen zu erfolgen hat, und andererseits die dafür geeigneten Technologien kennen. Damit dieser Thematik ein wenig die Komplexität genommen wird und die Wahrnehmung für Daten und neuen Technologien gefördert wird, bedarf es ähnlich wie im TPS neuer Methoden und Werkzeuge. Beispiele für Methoden des TPS sind die 5W Fragetechnik und die Wertstromanalyse welche zuvor bereits kurz erwähnt wurde.

Ein erstes Werkzeug soll also ein Modell sein, welches den Umgang mit Daten und die dafür notwendigen Technologien überblicksmäßig darstellt. Welche Daten im jeweiligen Prozess entstehen, oder für die Durchführung der Prozesse benötigt werden, hängt im Wesentlichen von den Operationen, die durchgeführt werden, ab. Operationen sind beispielsweise in der Montage Füge- und Handarbeitsoperationen. Diese bestimmen im Wesentlichen auch welche Betriebsmittel, wie Werkzeuge, Lagermittel oder sonstige Hilfsmittel, für die Durchführung der Arbeit eingesetzt

²¹⁹ Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 143

²²⁰ Dr. Peter Affenzeller

²²¹ Siehe URL: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/google-wertvoller-als-exxon-mobil-daten-sind-das-neue-oe-1.1885188>, abgerufen am 29.08.16

²²² Siehe URL: <https://www.schule.at/news/detail/daten-das-oe-der-zukunft.html>, abgerufen 29.08.16

werden. Das bedeutet also zwangsläufig, dass für eine gesamtheitliche Darstellung von Industrie 4.0 Anwendungen auch diese Prozesse und Betriebsmittel dargestellt werden müssen.

Da es kein allumfassendes Industrie 4.0 Modell gibt, soll ein Referenzmodell erstellt werden, welches bei der Modellierung von spezifischen Anwendungen, sowie bei der Identifikation von neuen Potentialen hilft.

Aus den letzten Absätzen wurden inhaltliche und formale Anforderungen definiert welche bei der Konstruktion des Referenzmodells helfen sollen.

Formale Anforderungen

Die Formalen Anforderungen geben vor wie das Referenzmodell in Zukunft eingesetzt wird und stellen somit eine grobe Struktur dar.

- Unterstützung bei der Analyse und Modellierung von bereits existierenden Industrie 4.0 Umsetzungen
- Unterstützung bei der Identifikation von neuen Industrie 4.0 Potentialen
 - Industrie 4.0 Landkarte für Soll/Ist Vergleich
- Vorlage zur Anfertigung einer grafischen Skizze von neu identifizierten Anwendungen
- Geringe Komplexität um eine einfache Kommunikation zu gewährleisten
- Vergleichbarkeit soll gegeben sein
 - Soll/Ist Vergleich: Vergleich des momentanen Umgangs mit Daten eines bestimmten Produktionsprozesses mit dem Industrie 4.0 gerechten Daten-Umgang
 - Ableitung von Handlungsfeldern
- Als Prototyp primär für die Analyse von Potentialen und Anwendungen in Montageprozessen
 - Da die Daten im Zuge des Produktionsprozesses entstehen, und diese somit auch davon abhängig sind, muss dieser Prozess und die dabei eingesetzten Betriebsmittel im Modell einfach und übersichtlich berücksichtigt werden.

Inhaltliche Anforderungen

Das Referenzmodell soll folgende Inhalte abdecken:

- Montageprozesse heruntergebrochen auf kleinste Operationen
- Der generelle Datenumgang
 - Datenaufnahme
 - Datenverarbeitung
 - Datenaufbereitung

- Datenübertragung
- Technologiefelder
- Bestehende Betriebsmittel
 - Verhältnis zu neuen Technologien

5.3 Konstruktion des Ordnungsrahmens

Ordnungsrahmen werden erstellt um komplexe Realitäten vereinfacht darzustellen. Sie stellen die oberste Abstraktionsebene eines Modells dar und helfen einen Gesamtüberblick über die komplexe Realität einer bestimmten Domäne zu behalten. Damit Ordnungsrahmen eine einfache lesbare Form aufweisen, bedient man sich oft Blöcken, welche man sinnvoll aneinander ordnet.

Industrie 4.0 Anwendungen in der Montage stellen, wegen der Vielzahl an benötigten Technologien und derer Interaktionen, eine solche komplexe Realität dar. Aus diesem Grund, wurde im Vorfeld der Konstruktion des Referenzmodells, ein Ordnungsrahmen für die zusammenfassende Darstellung der Industrie 4.0 Domäne und ihrer Technologien erstellt.

Der Ordnungsrahmen setzt sich im Wesentlichen aus fünf übergeordneten Bausteinen zusammen. Wie in der Problemstellung beschrieben, sind Industrie 4.0 Anwendungen und der dazugehörige Umgang mit Daten, stark abhängig von den durchgeführten Montageprozessen. Darum befinden sich auf unterster Ebene die Montageoperationen und der Mensch, welcher in seiner Montagestation diese Operationen durchführt. Diese Montageoperationen entsprechen den in Abschnitt 3.2 beschriebenen Funktionen des Montierens. Wie man aus Abschnitt 3.2 weiß, setzt sich das Montieren aus dem Handhaben, Fügen, Justieren und diverser Sonderoperationen zusammen. Die Hauptfunktionen und damit jene Operationen mit dem meisten Zeitaufwand sind das Handhaben und Fügen. Aus diesem Grund werden in Abbildung 24 auch nur diese beiden Operationen berücksichtigt. Der zweite Baustein auf unterster Ebene ist der Mensch. Er führt die Montageoperationen in einer manuellen Montage, mit Hilfe von bestimmten Betriebsmitteln/Techniken, aus. Jene Betriebsmittel werden auch von den durchgeführten Montageoperationen bestimmt. Betriebsmittel sind im Ordnungsrahmen ebenfalls durch einen Baustein vertreten und werden auf den Operationen aufgesetzt. In Abbildung 24 ist noch ein weiterer Baustein abgebildet, jener der Produkte und Werkstücke.

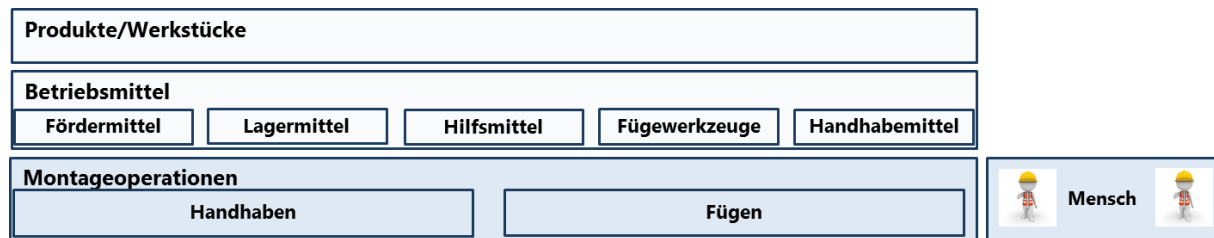


Abbildung 24: Montageoperationen, Betriebsmittel, Mensch im Ordnungsrahmen

Industrie 4.0 in der Montage bedeutet, dass vorhandene Systeme mit neuen IKT angereichert werden. Die Bausteine in Abbildung 24 stellen bestehende Montagesysteme dar.

Daten

Im Zentrum von Industrie 4.0 und seinen Funktionsfeldern steht der korrekte Umgang mit **Daten**. Es wird erwartet, dass bestehende Geschäftsmodelle, wegen der verstärkten Fähigkeit zur Nutzung verschiedenster Daten, sich in naher Zukunft einem Wandel unterziehen werden. Bereits in den ersten Jahren nach der Einführung der Begriffe Industrie 4.0, IOT und anderer, gibt es bereits jetzt schon eine große Anzahl an Unternehmen, welche Software Tools zur raschen, einfachen Datenanalyse anbieten.

Aus diesem Grund bezieht das Feld Daten im Ordnungsrahmen eine zentrale Position. Diese Daten können innerhalb des Unternehmens, aber auch außerhalb generiert werden. Daten welche außerhalb gesammelt werden, stehen meist mit Kunden in Verbindung. Durch Einbezug dieser Daten in die strategische Planung, können die regionalen Produktportfolios ohne großen Aufwand an die Kundenwünsche angepasst werden. Zu den innerbetrieblich erfassten Daten, gehören Produktdaten, Produktionsdaten, Lager- und Bestandsdaten, Kapazitätsdaten, Nutzungsdaten, Qualitätsdaten, Umgebungsdaten und viele mehr. Die nächsten Punkte sollen die Vielfältigkeit von Daten veranschaulichen.

- „Produktdaten (Auftragsdaten, Spezifikationen, Stückzahlen, Lieferzahlen, Produktidentifikation, Produkthistorie, Preise, Liefertermin)
- Produktionsdaten (Fertigmeldungen, Prozessquittierung, Störungen, Stückzahlen)
- Lager- und Bestandsdaten (Transport und Lagerbuchungen, Objektlokalisierung)
- Kapazitätsdaten (Maschinenauslastung, Mitarbeiterereinsatz, Kapazitäten, OEE, Stillstandszeiten)
- Nutzungsdaten (Betriebsdaten, Nutzungsverhalten, Wartungs- und Verbrauchsmaterialbedarfe, Zustands- und Verschleißinformationen für Maschinen, Transporteinrichtungen und TGA)

- Qualitätsdaten (Liefertreue, Produktqualität, Ausfälle, Probleme, Rückläufer, Reklamationen)
- Umgebungsdaten (Position, Temperatur, Feuchtigkeit)
- Wissen (Dokumentation von Problemen, Mitarbeiterkommunikation)
- Supply Chain Daten (Auslastung, Termine, Verzögerungen)²²³

Datenaufnahme

Der Bereich der **Datenaufnahme** beinhaltet Technologien und Techniken, welche innerhalb des Betriebes an der Generierung von Daten beteiligt sind. Zur Datenaufnahme gehören zunächst alle Betriebsmittel, welche für bestimmte Montageprozesse erforderlich sind. Bei der Datenaufnahme werden einfache technische Systeme mit IKT ausgestattet, wodurch aus vermeintlich „dummen“ Objekten bzw. Geräten, intelligente entstehen. Konkret versteht man unter IKT kommunikationsfähige Sensoren oder kommunikationsfähige eingebettete Systeme. Der Baustein der **Datenaufnahme** fasst also Betriebsmittel, welche von den Montageoperationen abhängen und den integrierten neuen intelligenten Technologiefeldern, Sensorik und eingebettete Systeme zusammen. Durch den Verbau von Sensorik und eingebetteten Systemen werden herkömmliche Objekte zu CPS. Details zu Sensorik und eingebetteten Systemen können in Abschnitt 4.2.3 und 4.2.5 nachgelesen werden.

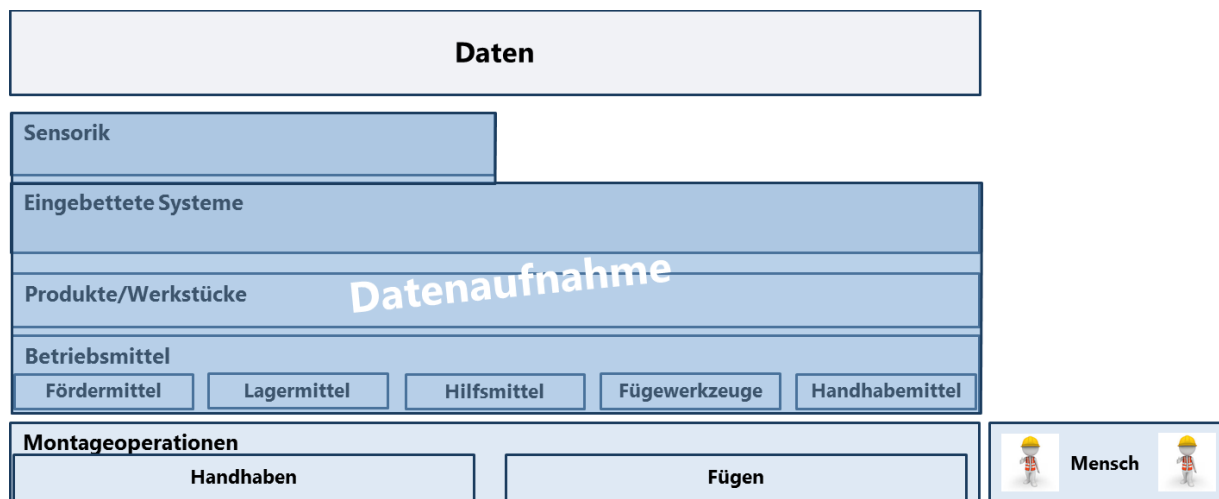


Abbildung 25: Datenaufnahme durch Kombination neuer Technologien mit eingesetzten Betriebsmitteln

Datenübertragung

Nach der Transformation der Betriebsmittel in intelligente, datensammelnde Gegenstände, bedarf es für die Umsetzung von Industrie 4.0 Anwendungen, die Übertragung der gesammelten Daten. Dadurch ergibt sich das Feld der

²²³ Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias 2015, S. 75

Datenübertragung. Dahinter verbergen sich moderne Kommunikationstechnologien, welche fähig sind Daten in Echtzeit ohne Unterbrechung zu senden. So werden CPS befähigt Daten mit ihrer Umgebung auszutauschen. Die **Datenübertragung** ist somit einer der wesentlichen Befähiger für Anwendungen der Industrie 4.0.

Datenverarbeitung

Das dritte Glied der Datenkette ist die **Datenverarbeitung**. „Die Verarbeitung von Daten für verschiedenste Anwendungen ist ein Kernthema bei Industrie-4.0-Anwendungen in der Produktion.“²²⁴ Der Datenverarbeitung liegt eine Reihe von Software- und Systemtechniken mit unterschiedlichen Funktionsweisen zu Füßen. Grob lässt sich die Datenverarbeitung in zwei Elemente unterteilen. Ersterer ist die Speicherung der anfallenden Daten. Diese können mit zugehörigen Ereignissen verknüpft werden, wodurch bei einem Abgleich in der Gegenwart, vorrausschauende Analysen getätigt werden können. Das zweite Element ist die Echtzeit Analyse. Jene Daten welche im Augenblick gemessen werden, werden sofort mit speziellen Algorithmen analysiert und dem Montagesystem wieder zur Verfügung gestellt. Wie dies erfolgt ist Teil des letzten Glieds der Datenkette. Es sollte hier festgehalten werden, dass Produktionssysteme der Gegenwart bereits laufend Daten generieren. Diese werden allerdings zum Unterschied von Industrie 4.0 Anwendungen nicht weiter verwertet.

Datenaufbereitung

Beim letzten Baustein handelt es sich um die **Datenaufbereitung** und Ableitung von Handlungsanweisungen. Dieser Baustein stellt abstrakt gesehen eine Rückkopplung in den Montageprozess dar, wodurch dieser auf Basis der gesammelten und verarbeiteten Daten wieder beeinflusst wird. Diese Tatsache wird durch jene Technologiefelder mit roter Färbung, siehe Abbildung 26, ermöglicht. Für die Rückführung der abgeleiteten Informationen stehen im Groben zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Welche der beiden eingesetzt wird, hängt stark davon ab wie der Montageprozess durchgeführt wird, von autonomen Maschinen oder vom Menschen.

1. Sind autonome Maschinensysteme im Einsatz so wird die Information an einen oder mehrere Aktoren übermittelt, woraufhin dieser dann auf den physischen Prozess wirkt.
2. Wird der Prozess manuell durchgeführt, so muss die Information an eine Assistenztechnik übermittelt werden, welche dann die Informationen für den Menschen verständlich aufbereitet. Für die Interaktion mit den Informationen bzw. mit der Assistenztechnik stehen verschiedene Mensch-Maschine Schnittstellen zur Verfügung.

²²⁴ Anderl 2015, S. 15

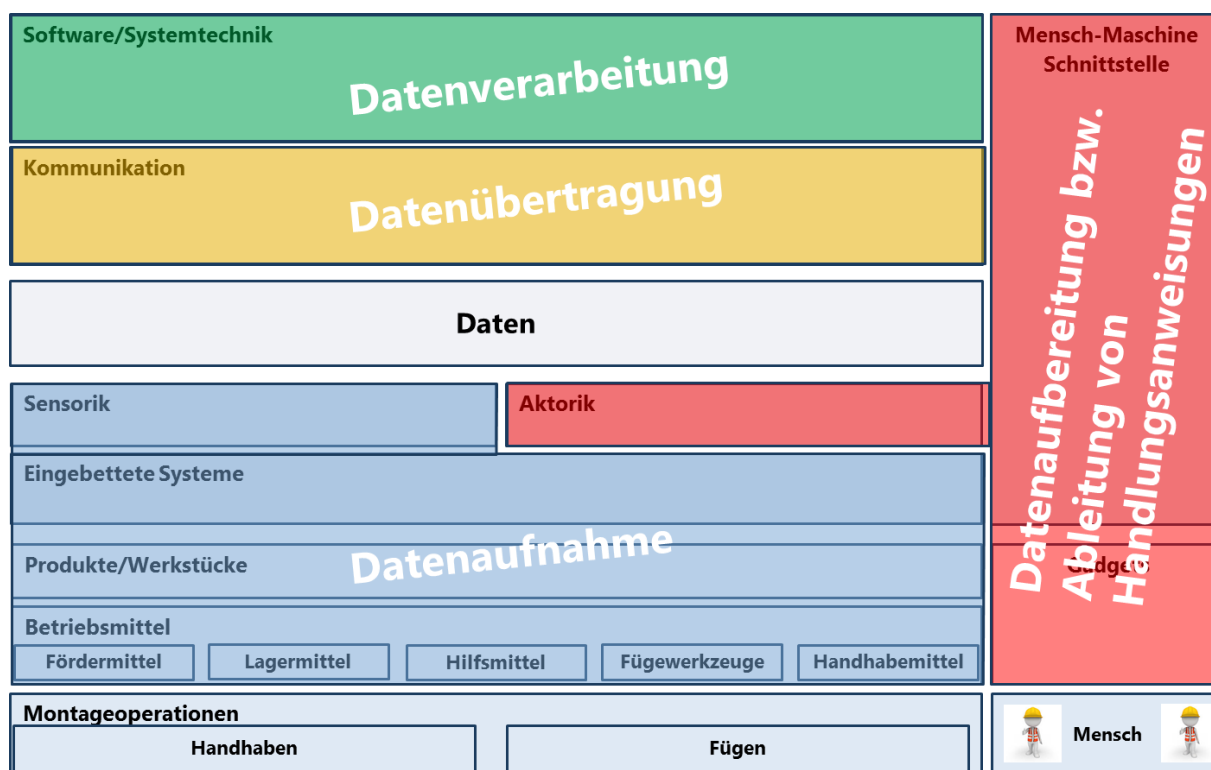


Abbildung 26: vollständiger Ordnungsrahmen

Betrachtet man den Ordnungsrahmen nun eine Ebene tiefer, werden die Technologiefelder mit ihren zugehörigen Technologien sichtbar. Diese Technologien besitzen, je nach Forschungsfortschritt unterschiedliche technologische Reifegrade, siehe Abschnitt 4.2. Technologien mit einem Reifegrad von 7-9, werden in einem grünen Block, Technologien mit einem Reifegrad von 4-6, werden in einem gelben Block und Technologien mit einem Reifegrad von 1-3, werden mit einem roten Block abgebildet, siehe Abbildung 27. Gemäß Abschnitt 4.2 sind jene Technologien mit einem niedrigen Reifegrad, noch nicht für den industriellen Einsatz tauglich. In Abbildung 27 wird die zweite Ebene des Ordnungsrahmens untersucht. Hier werden Technologiefelder aus Abschnitt 4.2 dunkelgrau dargestellt. In diesen befinden sich auch die zugehörigen Technologien mit besagten Reifegraden. Das Datenfeld als zentrales Element der Industrie 4.0 Anwendungen ist in Blau gehalten. In zweiter Reihe, in hellgrau abgebildet, sind die in der Montagestation zur Verfügung stehenden Techniken abgebildet. Auf unterster Ebene sind, wie bisher, ebenfalls die Montageoperationen dargestellt. Der Mensch im rechten unteren Eck, führt die Operationen mit Hilfe bestimmter Assistenztechniken aus.

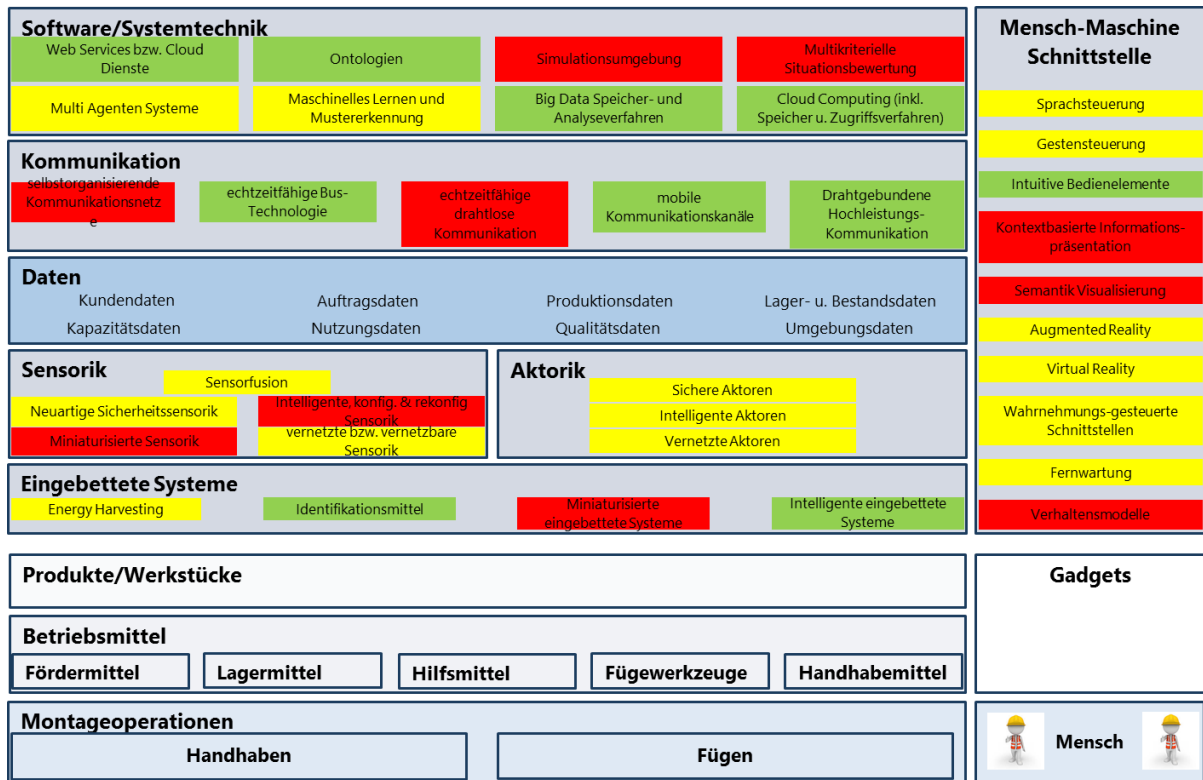


Abbildung 27: Zweite Ebene des Ordnungsrahmens

Durch Definition des Ordnungsrahmens ist die oberste Abstraktionsebene geschaffen und somit eine Struktur für die Erstellung von Referenzmodellen und darauf aufbauenden Informationsmodellen festgelegt.

5.4 Konstruktion einer Referenzmodellstruktur

Ausgehend von der zuvor definierten Ordnungsstruktur folgt ein Referenzmodell, welches die Beziehung der dargestellten Felder zueinander beschreibt. Aus dem Ordnungsrahmen ist zu entnehmen, dass sich Industrie 4.0 verstärkt mit dem Thema Daten und dem Umgang mit diesen beschäftigt. Aus diesem Grund ist der Ordnungsrahmen auch in die Bereiche Datenaufnahme, -übertragung, -verarbeitung und -aufbereitung unterteilt.

Referenzmodelle besitzen im Wesentlichen 2 wichtige Eigenschaften:

- Allgemeingültigkeit
- Empfehlungscharakter

Im Folgenden wird erklärt wie diese Eigenschaften bei der Konstruktion berücksichtigt wurden.

Allgemeingültigkeit

Zur Realisierung von Industrie 4.0 Anwendungen werden stets eine Vielzahl von Technologien eingesetzt. Welche genau eingesetzt werden, hängt allerdings stark von der eigentlichen Anwendung, sowie vom jeweiligen Forschungs- und Entwicklungsfortschritt ab. Die Technologien können je nach Funktion in Technologiefelder zusammengefasst werden. Diese wurden in Abschnitt 5.3, basierend auf den Informationen von Abschnitt 4.2 in einem Ordnungsrahmen zusammengefasst. Zur Förderung der Allgemeingültigkeit werden im Referenzmodell die Technologiefelder und ihre Interaktion dargestellt. Je nach Anwendung können somit die eingesetzten Technologien aus den Technologiefeldern des Ordnungsrahmens entnommen werden. Im zentralen Fokus der Industrie 4.0 stehen die Daten und der Umgang mit diesen. Somit lassen sich Industrie 4.0 Anwendungen in 4 Bereiche, alle mit dem Fokus auf Daten, unterteilen. Demnach setzen sich diese aus der Datenaufnahme, der Datenübertragung, der Datenverarbeitung und der Datenaufbereitung/Ableitung von Handlungsanweisungen zusammen. All jene genannten Bereiche werden durch die Interaktion von bestimmten Technologiefeldern untereinander und mit bestehenden Techniken, wie beispielsweise Lager- oder Fördermittel und Werkzeuge, ermöglicht. Im Referenzmodell wird dies durch eine Gruppierung der Datenfunktionsbereiche und ihrer Technologiefelder veranschaulicht.

Der zweite Teil des Modells bildet die momentane Ist-Arbeitssituation ab. Dafür werden bestimmte Tätigkeiten in ihre Operationen eingeteilt. Einfacher verständlich wird das an Hand des Beispiels der Montage. Montieren setzt sich laut DIN und VDI Richtlinie aus Füge- und Handhabeoperationen zusammen. Dieser Teil des Modells ist variabel und muss je nach Einsatzgebiet angepasst werden. Er dient einerseits zur Identifikation von Betriebsmitteln im Einsatz, sowie zur Verknüpfung der kleinsten Einheit einer Arbeitstätigkeit mit einer bestimmten Industrie 4.0 Anwendung. Diese Darstellung ermöglicht einen hochvariablen Einsatz des Referenzmodells, zur Darstellung von Industrie 4.0 Anwendungen in Logistik, Montage, oder Fertigung. Alle Produktionsbereiche lassen sich wie bei Montage gezeigt, auf kleinste Operationen herunterbrechen.

Um die Allgemeingültigkeit zu unterstützen und ein möglichst breites Anwendungsfeld zu gewährleisten, wird im Modell auf die Darstellung von Unternehmensbereichen bzw. -grenzen sowie Geschäftsfeldern verzichtet. Daraus folgt, dass auch Anwendungen, welche über mehrere Unternehmen hinweg erfolgen, mit diesem Modell dargestellt werden können.

Empfehlungscharakter

Ein Referenzmodell hat Empfehlungscharakter, wenn es als Sollmodell angesehen werden kann und als Vorbild zur Modellierung von spezifischen Modellen zur

Darstellung von definierten Sachverhalten in einer bestimmten Domäne, dient.²²⁵ In diesem Fall liefert das Referenzmodell zunächst einen Überblick über die generelle Funktionsweise von Industrie 4.0 Anwendungen. Weiters übernimmt dieses Referenzmodell einen

- Informativen und
- einen formalen Empfehlungscharakter.

Ersterer zeigt die generelle Funktionsweise von Industrie 4.0 Anwendungen und die dafür benötigten Technologien. Beim Einsatz des Referenzmodells ist zu beachten, dass sich dieses auf die Darstellung von Anwendungen für definierte abgegrenzte Bereiche, also beispielsweise Assistenzsysteme für einen bestimmten Montageprozess, beschränkt. Neben den eingesetzten Technologien und der dargestellten Interaktion, zeigt das Modell auch wofür diese eingesetzt werden und welche Funktionen diese erfüllen. Um Industrie 4.0 Anwendungen in bestehende Produktionssysteme einzugliedern, müssen bestehende Techniken mit neuen Technologien verschmelzen. Das Modell zeigt auf welche Technologiefelder dafür eingesetzt werden. Bestehende Techniken sind stark vom vorliegenden Prozess abhängig. Dieser Prozess kann in allgemeingültige Operationen unterteilt werden. Diese Operationen liefern nicht nur Informationen zu den eingesetzten Betriebsmitteln, sondern vermitteln auch ein Gespür, bei welchen Operationen, welche Anwendungen hilfreich sein könnten. Dieses Gespür wird durch oftmaligen Einsatz, sprich oftmalige Analyse und Modellierung von verschiedenen Anwendungen ermöglicht. Durch den kombinierten Einsatz von Ordnungsrahmen und Referenzmodell ist es möglich Anwendungen mit definierten Technologien des geforderten Reifegrades darzustellen.

Der formale Empfehlungscharakter wird durch die Bereitstellung von Begriffen, Objekten und Zeichen erfüllt. Durch strenge Einhaltung dieser Modellierungssprache ist es möglich rasch, ohne großen Aufwand bestimmte Anwendungen abzubilden. Eine genauere Erklärung der Bestandteile des Referenzmodells erfolgt in Abschnitt 5.6.

Die Konstruktion des Referenzmodells orientierte sich an den Grundsätzen der Modellierung²²⁶:

- „Grundsatz der Richtigkeit
- Grundsatz der Relevanz
- Grundsatz der Wirtschaftlichkeit
- Grundsatz der Klarheit
- Grundsatz der Vergleichbarkeit
- Grundsatz des systematischen Aufbaus“

²²⁵ Vgl. Andreas Pescholl 2010, S. 51

²²⁶ Vgl. Jörg Becker 1998

Bei Einhaltung dieser Grundsätze, wird die Effektivität beim Einsatz des Modells erheblich verbessert. Tabelle 10 zeigt wie bei der Konstruktion dieses Referenzmodells auf diese Grundsätze eingegangen wurde.

Tabelle 10: Anwendung der Grundsätze der Modellierung

Grundsätze der Modellierung:	In dieser Arbeit berücksichtigt:
Grundsatz der Richtigkeit	<p>Dieser Grundsatz spielt bei der Erstellung von spezifischen Modellen in einer definierten Domäne eine wichtige Rolle. In Referenzmodellen ist die Richtigkeit an sich nicht nachweisbar. Das Referenzmodell beeinflusst allerdings die Richtigkeit zukünftig erstellter Modelle.</p> <p>Dafür werden allen eingesetzten Symbolen bestimmte Bedeutungen zugewiesen. Außerdem besitzt jeder Begriff des Referenzmodells eine Verbindung zum Ordnungsrahmen, sodass stets ein Gesamtüberblick erhalten bleibt.</p>
Grundsatz der Relevanz	<p>Das Referenzmodell soll als Vorbild für die Modellierung von bestimmten Industrie 4.0 Anwendungen dienen. Es soll für die Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen als Landkarte zur Navigation durch die Vielzahl an notwendigen Technologien und bei der Modellierung von Anwendungen als Vorlage dienen. Um möglichst viele verschiedene Anwendungen mit geringem Aufwand modellieren zu können besitzt das Referenzmodell eine niedrige Anwendungstiefe (geringer Detailgrad) bei gleichzeitiger hoher Anwendungsbreite.</p>
Grundsatz der Wirtschaftlichkeit	<p>Dieser Grundsatz beschäftigt sich mit der Relation von Nutzen und Aufwand. Es stellt sich also die Frage welcher Aufwand betrieben werden darf, damit sich ein bestimmter Nutzen rentiert. In Bezug auf das Referenzmodell gilt es also den Detailgrad bzw. die Anpassbarkeit zu klären.</p> <p>Der Einsatz von zwei Layern, soll das Referenzmodell mit der notwendigen Robustheit und Abdeckungsrate ausstatten. Der erste Layer besitzt einen sehr geringen Detailgrad woraus eine hohe Abstraktion resultiert. Dadurch erhält das Referenzmodell die notwendige Robustheit gegenüber der Vielzahl an Anwendungen.</p> <p>Der zweite Layer stellt im Vergleich zum ersten eine inhaltliche Vertiefung in Bezug auf anwendungsspezifische Technologien dar. In diesem lassen sich Änderungen auf</p>

	Technologieebene leicht berücksichtigen. Dadurch ergibt sich eine hohe Abdeckungsrate.
Grundsatz der Klarheit	Die Klarheit ist ein schwer messbares Kriterium. Man spricht von einer adressatengerechten Modelldarstellung. Jeder Anwender hat hier andere Anforderungen. Dieses Modell besteht durch: <ul style="list-style-type: none"> • Strukturierte aufgeräumte Darstellung • Symmetrische Strukturen • Hohe Geradlinigkeit der Kanten (Verbindungslinien), so wenig Richtungswechsel wie möglich • Gleichmäßige Flächennutzung: gleichmäßige Verteilung und einheitliche Größe der Objekte • Hierarchisierung für vereinfachte Lesbarkeit Diese Punkte erhöhen durch die verbesserte Nutzerfreundlichkeit auch die Wirtschaftlichkeit.
Grundsatz der Vergleichbarkeit	Damit bei der Identifikation von neuen Anwendungen Soll/Ist-Vergleiche hinsichtlich der eingesetzten Technologien erfolgen können, sollen Aufbau des Referenzmodells und abgeleitete spezifische Anwendungsmodelle eine ähnliche Struktur aufweisen. Dies erleichtert die Evaluierung von Handlungsfeldern.
Grundsatz des systematischen Aufbaus	Falls es notwendig ist verschiedene Sichten zu verknüpfen, bedarf es Metamodelle. In diesem Fall gibt es nur eine Sicht.

5.5 Komplettierung

In diesem Abschnitt wird das Vorgehen bei der Komplettierung des Referenzmodells betrachtet. Bei der Komplettierung handelt es sich um die Verbesserung, bzw. Schärfung des bestehenden Referenzmodells. Hierfür werden primär bereits existierende Industrie 4.0 Anwendungen mit Hilfe des Referenzmodells nachgebildet und sekundär Experten, welche als potentielle Nutzer identifiziert wurden herangezogen. Betrachtet man nun die Validierung mittels existierender Anwendungen, so kann folgender Ablauf festgestellt werden:

1. Identifikation und Analyse einer existierenden im Einsatz befindlichen Anwendung
2. Modellierung/Nachbildung dieser Anwendung durch Einsatz des Referenzmodells
3. Identifikation von Schwachstellen im Referenzmodell, wie zum Beispiel:
 - Mangelnde Allgemeingültigkeit
 - Mangelnder Empfehlungscharakter

4. Anpassung des Referenzmodells damit die Schwachstellen beseitigt werden.

Da Industrie 4.0 und die begleitende breite Basis an zu Verfügung stehenden Technologien, eine große komplexe Vielfalt an Anwendungen mit sich bringt, ist eine einmalige Modellanpassung nicht ausreichend. Die Dynamik im Technologiesektor erfordert einen Anpassungszyklus, welcher ein iteratives Verhalten aufweist. In Abbildung 28 ist jener Zyklus dargestellt.

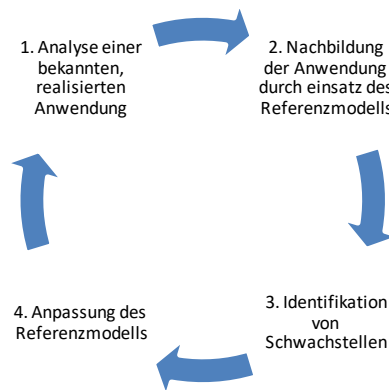


Abbildung 28: Validierungs- und Komplettierungszyklus

Durch wiederholten Durchlauf dieses Zyklus wird das Referenzmodell stetig verbessert. Es ist erkennbar, dass die Phase 4 „Komplettierung“ aus Abbildung 23, wegen des iterativen Zyklus längere Zeit in Anspruch nimmt und somit fortlaufend neben der Anwendung des Referenzmodells erfolgt. Anzumerken ist, dass der Aufwand zum Einsatz des Referenzmodells bei oftmaliger Wiederholung sinkt, wobei der Nutzen, also die Qualität des Referenzmodells, mit steigender Anzahl an Anwendungen stetig zunimmt, siehe Abbildung 29.

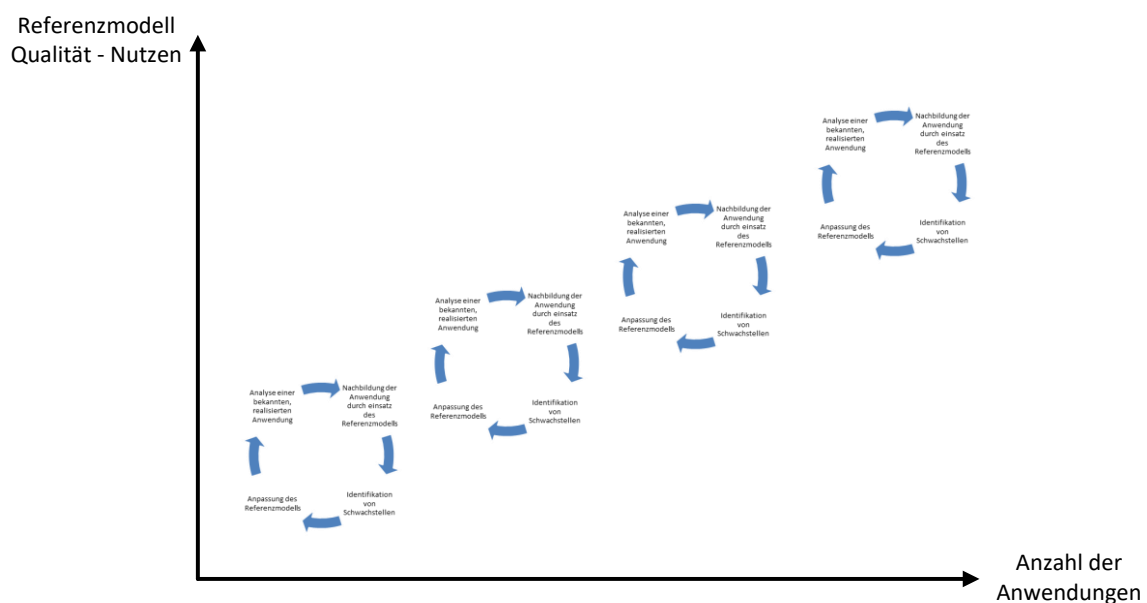


Abbildung 29: Gegenüberstellung des Nutzenzuwachses und der kumulierten Modellierungskosten

Für die Identifikation und Analyse von existierenden Anwendungen wurde ein standardisierter Steckbrief entwickelt. Dieser gewährleistet, dass Anwendungen stets nach den selben Gesichtspunkten analysiert werden. Das hat den Vorteil, dass Anwendungen zukünftig an Hand bestimmter Merkmale miteinander verglichen werden können.

Use-Case Steckbrief		
Use-Case Kurzbeschreibung:	Quelle:	
Ausgangssituation und Zielsetzung	Industrielle Anwendungsgebiete	
Ausgangssituation:	Verbesserungspotentiale	
Zielsetzung:		
	Auswirkung auf KPI's	
Lösung und Mehrwert	beeinflusste Operationen	
Lösung:		
Vorteile:	Bild	

Abbildung 30: Steckbrief Vorlage

Im nächsten Abschnitt wird der vorläufig letzte Stand des Referenzmodells beschrieben. Im Anschluss daran wird das Vorgehen zur korrekten Nutzung des Referenzmodells beschrieben, welchem eine demonstrative Nachbildung einer

existierenden Anwendung folgt. Diese veranschaulicht das Vorgehen beim Einsatz des Referenzmodells zur Nachbildung einer existierenden Anwendung.

5.6 Struktur des Referenzmodells

Bei dem beschriebenen Referenzmodell, handelt es sich um das vorläufige Ergebnis, nach Durchlauf mehrerer Validierungs- bzw. Komplettierungszyklen. Wie im letzten Abschnitt festgehalten, wird die Komplettierung noch während des Einsatzes fortgesetzt.

Mit den Informationen aus Abschnitt 5.3 und Berücksichtigung der Grundsätze der Modellierung, sowie der geforderten Eigenschaften aus Abschnitt 5.4, lässt sich zunächst die grundlegende, überblicksmäßige Struktur des Referenzmodells darstellen. Ausgehend von der Tatsache, dass Daten in Industrie 4.0 Anwendungen eine zentrale Rolle spielen, setzen sich diese im Wesentlichen aus der Datenaufnahme, der Datenverarbeitung, der Datenaufbereitung bzw. Erstellung von Handlungsanweisungen und der Datenübertragung zusammen. In Abbildung 31 werden diese Bereiche durch strichpunktierte Rahmen gekennzeichnet und abgegrenzt. Aus dem Ordnungsrahmen in Abschnitt 5.3 kann man entnehmen, dass diese Bereiche durch unterschiedliche Industrie 4.0-Technologiefelder und bestehende Techniken ermöglicht werden. Mehr dazu folgt zu einem späteren Zeitpunkt. Die weiteren, auf unterster Ebene strichpunktiert dargestellten Bereiche, sind typische Unternehmens-Prozesse wie der Planungsprozess und der Produktionsprozess. Die Datenaufnahme wird vom Planungs- und Produktionsprozess stark beeinflusst. Diese Beeinflussung wird durch graue Blitze dargestellt.

Wie in Abbildung 31 auf Seite 79 dargestellt, erzeugt bzw. nimmt die Datenaufnahme Daten eines Produktionsprozesses oder Planungsprozesses auf und überträgt diese mittels Kommunikationstechnologien an die Datenverarbeitung. Daraus resultieren wiederum Daten, jetzt allerdings anwendungsspezifisch ausgewertete, welche an die Datenaufbereitung übertragen werden. Mit Hilfe dieses Bereichs wird nun wieder der Produktionsprozess beeinflusst. Wie in Abbildung 31 dargestellt, findet zwischen Datenaufnahme und Datenaufbereitung ebenfalls eine Übertragung bzw. Kommunikation statt. Dabei handelt es sich um sogenannte Metadaten, welche zur Verifizierung der analysierten Daten aus der Datenverarbeitung dienen.

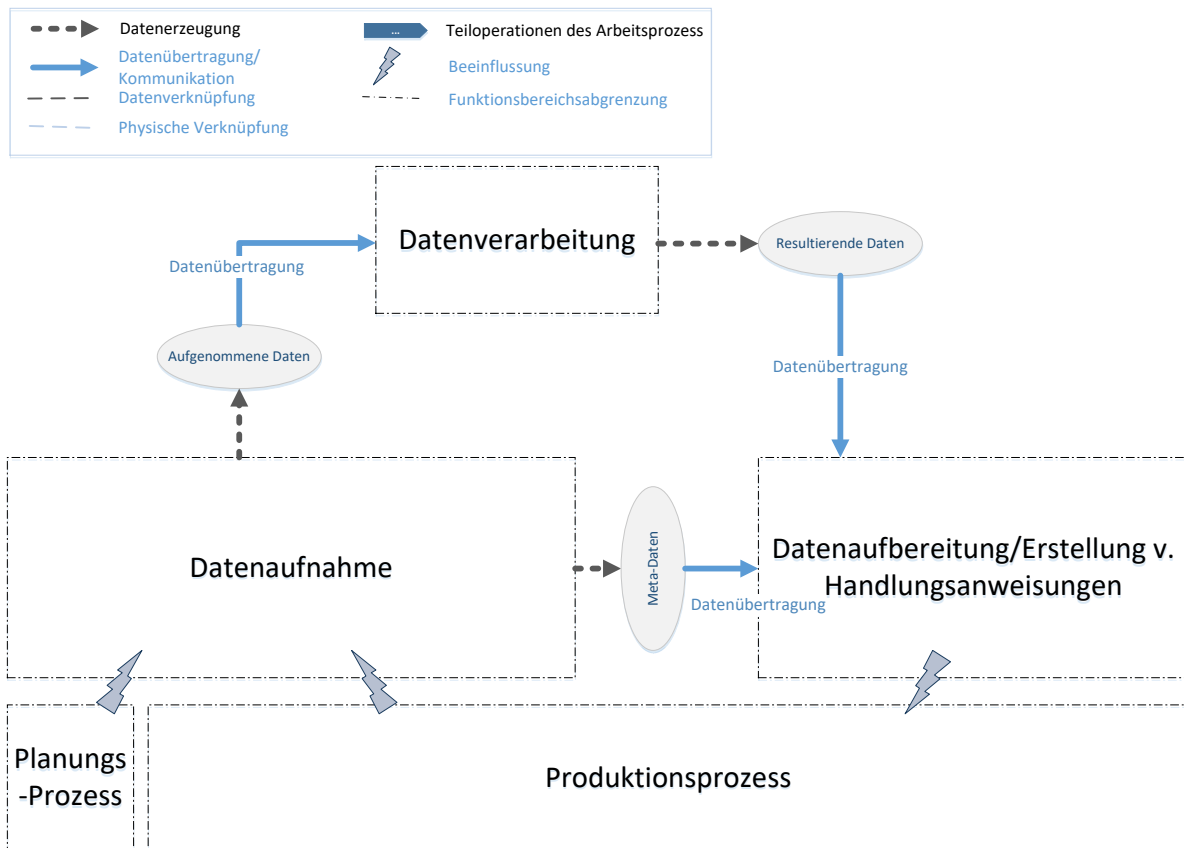


Abbildung 31: Übergeordnete Struktur des Referenzmodells

Betrachtet man nun das Referenzmodell aus einer Ebene tiefer, lassen sich die eingesetzten Technologiefelder untersuchen (Layer 2). Es ist festzuhalten, dass es sich bei der nachfolgenden Darstellung um ein Maximalmodell handelt. Daraus lässt sich ableiten, dass dieses Modell alle Technologieeinsatzmöglichkeiten abbildet. Das heißt aber nicht, dass bei jeder Anwendung jedes Technologiefeld eingesetzt werden muss. Damit zeigt das Referenzmodell, wie sich Technologien und Techniken verhalten, wenn sie eingesetzt werden. Eine detaillierte Erklärung zum Einsatz des Referenzmodells, folgt nach der Beschreibung desselben.

Die weitere genaue Beschreibung des Modells, seiner Bausteine sowie seiner Logik erfolgt in der selben Reihenfolge wie dessen Befüllung. Gestartet wird auf unterster Ebene, dem Produktions- und Planungsprozess. Zum Planungsprozess bleibt nur zu sagen, dass dieser im Vorfeld der Produktionsdurchführung erfolgt und diese festlegt. Diese Planung nimmt einige Zeit in Anspruch und wird durch Zuhilfenahme von Softwarelösungen unterstützt. Somit befinden sich in der Regel alle notwendigen Planungsinformationen mit Software-Werkzeugen verknüpft und auf Servern abgesichert. Typische Beispiele für eine Planungssoftware sind ERP- und MES Systeme. Dies ist der erste Baustein der Datenaufnahme. Beim zweiten Prozess handelt es sich um einen Produktionsprozess. Für den Einsatz dieses Modells ist es wichtig den Prozess auf seine kleinsten Bestandteile zu zerlegen. Eine Erklärung dazu erfolgt in Abschnitt 7.1. Nimmt man beispielsweise den Montageprozess her, besteht

dieser aus einer Kette von kleineren Montageprozessen, welche an einer bestimmten Station durchgeführt werden. Nach Betrachtung der VDI Richtlinie und Norm, lässt sich das Montieren wiederum in eine Reihe von Füge- und Handhabeoperation ergänzt um Sonder- und Justieroperationen beschreiben. Durch Heranziehen der DIN 8593 und VDI 2860 können diese Operationen noch weiter untersucht werden. Vorteil dieser genauen Prozessanalyse ist, dass viele Operationen oftmals, evtl. anders angeordnet in anderen Prozessen auch vorkommen. Die gesamte Logistik besteht beispielsweise aus den Operationen, Lagern, Fördern und Handhaben. Bei letzterem handelt es sich ebenfalls um einen Prozessbaustein der Montage. Sinn dieser Betrachtungsweise ist, dass sich bei oftmaliger Anwendungsanalyse allgemein geltende Schlussfolgerungen ableiten lassen und somit die Anwendung bzw. Identifikation der Potentiale von Industrie 4.0 Anwendungen vereinfacht werden kann.

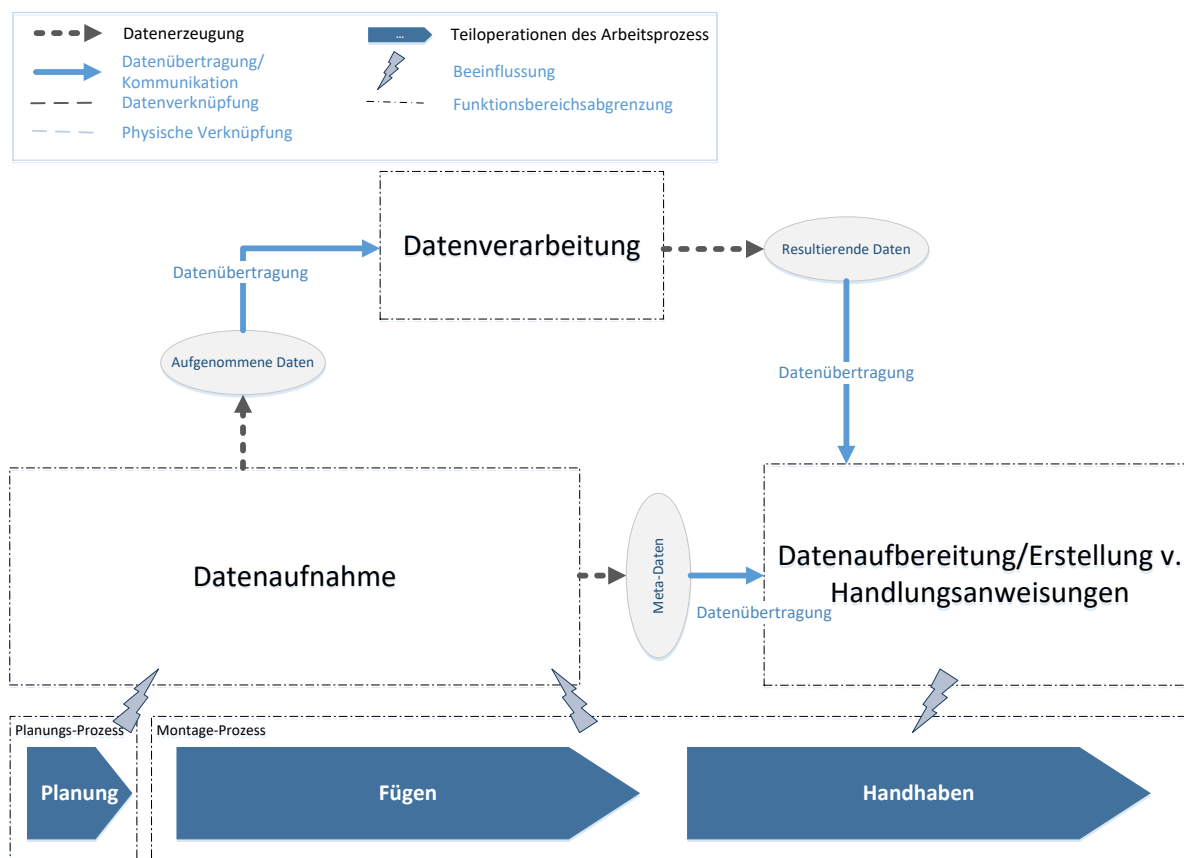


Abbildung 32: Referenzmodell mit Detailsicht der Prozessebene

Wie durch den eingezeichneten Blitz erkenntlich gemacht wurde, beeinflusst der Produktionsprozess auch die Datenaufnahme. Neben den aufgenommenen Daten aus der Planungs-Software, stammt der Großteil der Daten aus dem Produktionsprozess an sich. Für die Durchführung der einzelnen Montageschritte werden bestimmte Betriebsmittel eingesetzt, die aus den Operationen abgeleitet werden können. Bei den Betriebsmitteln handelt es sich einerseits um Lagermittel, Fördermittel oder aber auch um Hilfsmittel wie Behälter oder Werkstückträger. Neben diesen Betriebsmitteln existieren in der Montagestation weiters noch Produkte und Werkstücke, welche durch

den Montageprozess vereint werden. Die eingesetzten Betriebsmittel, die potentiell relevante Daten bereitstellen, können mit Sensoren und eingebetteten Systemen ausgestattet werden. Neben den Betriebsmitteln können auch die bearbeiteten Produkte mit eingebetteten Systemen ausgestattet werden. An dieser Stelle soll vermerkt werden, dass diese Beschreibung in Anlehnung an den zuvor definierten Ordnungsrahmen erfolgt, siehe Abschnitt 5.3, Abbildung 27.

Werden Objekte mit Sensorik und eingebetteten Systeme ausgestattet, nennt man sie CPS, siehe Abschnitt 4.1. Die Verschmelzung von Objekten, wie Betriebsmittel und Produkten, mit neuen Technologien wie Sensorik und eingebetteten Systemen, wird im Referenzmodell als physische Verknüpfung (hellgraue strichlierte Linie) dargestellt, siehe Abbildung 33. Die Technologiefelder ERP/MES und Sensorik erzeugen, bzw. nehmen die Daten auf (dunkelbraun strichliertes Pfeil), während die eingebetteten Systeme einen ständigen Bezug zwischen Daten und Objekt gewährleisten. Sie ermöglichen, dass Produkte und Betriebsmittel ihre zugehörigen Daten immer mit sich führen, bzw. dass diese objektorientiert abgespeichert und infolgedessen abgerufen werden können. Dabei handelt es sich um eine sogenannte Datenverknüpfung, welche als schwarz strichlierte Linie dargestellt wird. Neben der Datenverknüpfung erzeugen die eingebetteten Systeme auch Meta-Daten. Dabei handelt es sich um Daten welche bei der Identifikation helfen (dunkelbraun strichliertes Pfeil). Beispiele hierfür sind GPS, oder QR-Codes.

Besonders hervorzuheben ist, dass Im Referenzmodell alle für eine Datenaufnahme möglichen Techniken bzw. Technologien dargestellt werden. Für die Modellierung spezifischer Modelle ist es wichtig, nur jene Techniken und Technologien zu berücksichtigen, welche auch tatsächlich eingesetzt werden. Diese können aus Abbildung 27 auf Seite 70 entnommen werden. Weiters werden nur jene Betriebsmittel (Lager-, Förder- und Hilfsmittel) eingezeichnet, welche die Eigenschaften von CPS erfüllen und direkt an der zu optimierenden Operation beteiligt sind. Beispiele für typische Montage Betriebsmittel können aus Abschnitt 3.3 auf Seite 31 entnommen werden.

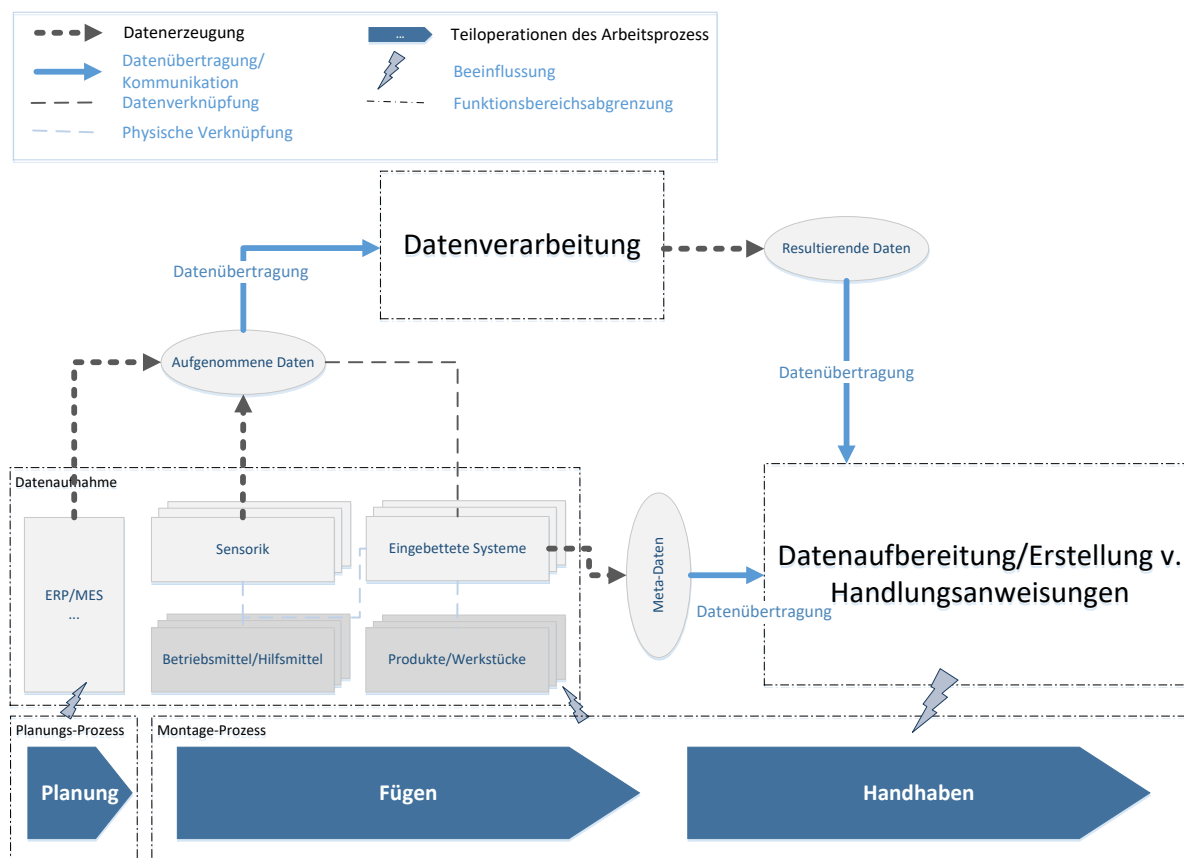


Abbildung 33: Referenzmodell Detailsicht Datenaufnahme

In Abbildung 33 werden die Technologiefelder Sensorik und eingebettete Systeme sowie Betriebsmittel gestapelt dargestellt. Dies soll die Möglichkeit des mehrfachen Vorkommens pro Anwendung andeuten. Die in Abbildung 33 dargestellte Datenaufnahme zeigt nun die grundlegende Funktionsweise und die dafür notwendigen Technologiefelder.

Nach erfolgreicher Datenaufnahme müssen die gesammelten Daten verarbeitet, sprich anwendungsspezifisch analysiert werden, um einen entsprechenden Mehrwert zu generieren. Dafür werden sie mittels neuer echtzeitfähiger Kommunikationstechnologien an verschiedene kooperierende Software und Systemtechniken übertragen. Die gestapelte Darstellung in Abbildung 34 auf Seite 84, zeigt neuerlich, dass auch hier die Möglichkeit zum Einsatz mehrerer Technologien besteht. Zur Datenverarbeitung werden Cloud Speicher eingesetzt welche dezentral zugänglich sind. Diese übernehmen die aufgenommenen Daten und Speichern diese und ihre Zusammenhänge artgerecht ab. Dies stellt die einfachste Form der Datenverarbeitung dar. Bedarf es einer spezifischen Analyse so können unterschiedlichste Technologien herangezogen werden. Beispiele hierfür sind Big Data Speicher und Analyseverfahren oder multikriterielle Situationsbewertungen. Für die Analyse werden spezielle, auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmte Algorithmen herangezogen. Ergebnis der Datenverarbeitung ist eine strukturierte, analysierte Sammlung von Daten mit erhöhtem Informationsgehalt. Sie werden im

nächsten Schritt für die Optimierung und Steuerung des Montageprozesses herangezogen.

Diese Ergebnisse gilt es im nächsten Schritt anwendungsspezifisch aufzubereiten und in weiterer Folge wieder in den Produktionsprozess einfließen zu lassen. Die Übertragung dieser Daten ist stark davon abhängig, mit welcher Technik bzw. Technologie Handlungsanweisungen dargestellt bzw. umgesetzt werden. Grundsätzlich können die gesammelten und abgeleiteten Informationen über zwei Wege den Produktionsprozess beeinflussen.

Im Falle einer manuellen Montage, können Assistenzsysteme eingesetzt werden, damit der Werker mit zusätzlichen Informationen versorgt wird. Dafür werden Assistenztechniken eingesetzt, die über eine oder mehrere Mensch-Maschine Schnittstellen verfügen. Diese Schnittstellen ermöglicht dem Werker eine einfache Interaktion mit den bereitgestellten Informationen. Beispiele für solche Assistenztechniken sind neue Techniken wie „Smart glasses“ oder aber auch ganz einfache Bildschirme und Laptops. Die meiste Zeit verfügen Assistenztechniken über eine Vielzahl von Mensch-Maschine Schnittstellen, um die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern und den betrieblichen Einsatz zu erleichtern. Die Tatsache, dass diese Assistenztechniken über mehrere Schnittstellen verfügen, wird mit Hilfe einer „Physischen Verknüpfung“, sprich einer hellgrau, strichlierten Linie dargestellt.

Die zweite Möglichkeit ist, dass die Informationen an Aktoren übertragen werden, welche daraufhin autonom auf den Produktionsprozess wirken. Aktoren werden mit Betriebsmitteln jeglicher Art verschmolzen. In einem Betriebsmittel, wie beispielsweise einer Handhabeinrichtung oder einem Förderband, befinden sich in den meisten Fällen mehrere Aktoren, welche in der Lage sind physisch Leistung zu erbringen. Ist für die Durchführung des Produktionsprozesses eine Interaktion mit einem Menschen notwendig, verfügen auch diese Objekte über eine Mensch Maschine Schnittstelle. Mit welchen Technologien ein Betriebsmittel ausgestattet ist, wird erneut mit einer hellgrau, strichlierten Linie dargestellt, siehe Abbildung 34. Handelt es sich bei den eingesetzten Betriebsmitteln um Roboter, so können diese auch als kollaborierende Roboter bezeichnet werden.

Neben der Übertragung der analysierten Daten erfolgt zwischen den Technologien der Datenaufnahme und der Datenaufbereitung ebenfalls ein Datenaustausch, in Form von Meta-Daten. Diese liefern den notwendigen Input, damit die Techniken der Datenaufbereitung die situationsrelevanten Daten abrufen können.

Besonders hervorzuheben ist, dass im Referenzmodell alle für eine Datenaufbereitung möglichen Techniken bzw. Technologien dargestellt sind. Für die Modellierung spezifischer Modelle ist es wichtig, nur jene Techniken und Technologien einzuzeichnen, welche auch tatsächlich eingesetzt werden. Weiters werden nur jene

Betriebsmittel (Lager-, Förder- und Hilfsmittel) eingezeichnet, welche die Eigenschaften von CPS erfüllen und direkt an der zu optimierenden Operation beteiligt sind

In Abbildung 34 ist das vorläufige finale Referenzmodell für die Montage dargestellt.

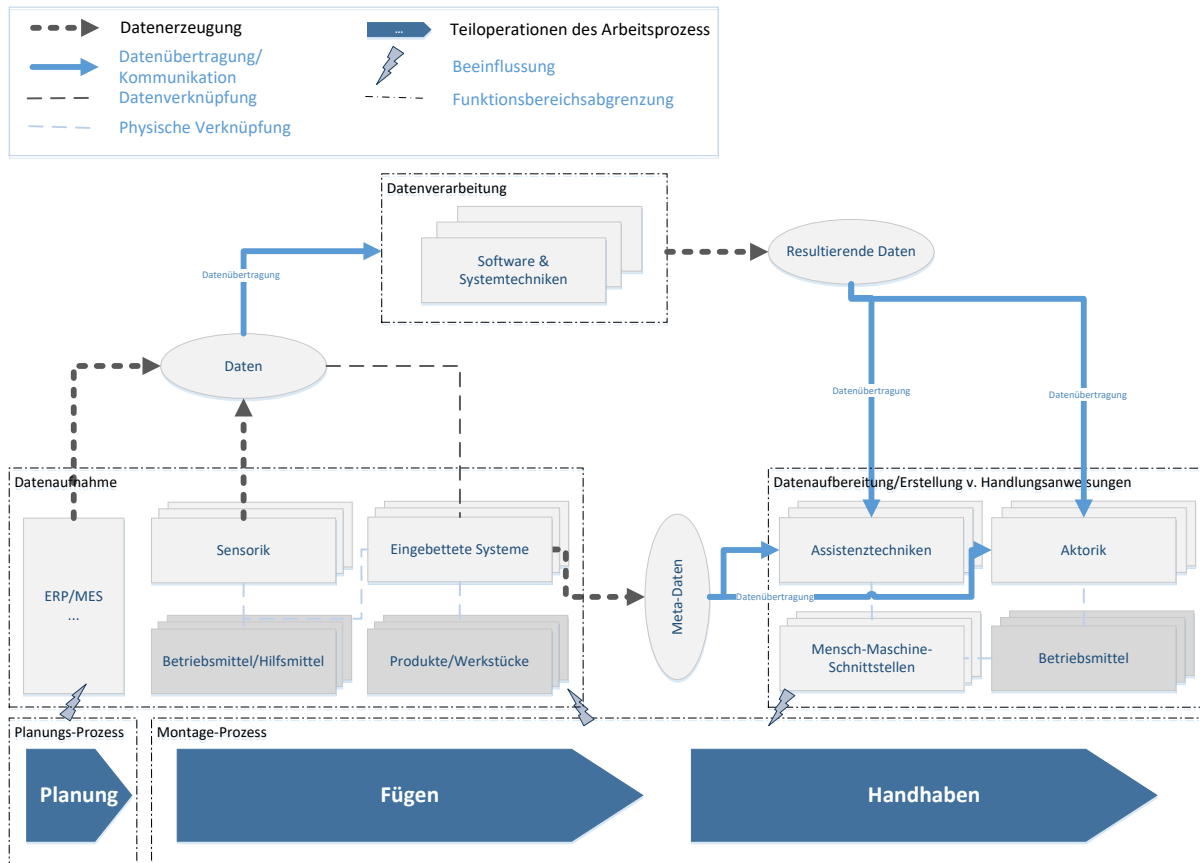


Abbildung 34: Referenzmodell zur Darstellung von Industrie 4.0 Anwendungen aus Sicht der Technologiefelder

Um die Modellierung und Identifikation zu vereinfachen, wurde die 4D Methode entwickelt. Diese wird jetzt erläutert.

6 Die 4D Methode zur Identifikation von Potentialen beim Umgang mit Daten und zur Modellierung dieses Umgangs

Im Zentrum von Industrie 4.0 und seinen Funktionsfeldern steht also der korrekte Umgang mit **Daten**. Basierend auf der Tatsache, dass Daten als das „Öl der Zukunft“ gelten, wurde die 4D Methode entwickelt, welche sich darauf konzentriert, wie Daten erfasst, übertragen, verarbeitet und schließlich für Handlungsanweisungen genutzt werden können.

Die 4D Methode soll in Zukunft ergänzend mit bewährten Optimierungswerkzeugen eingesetzt werden. 4D steht für die Datenaufnahme, Datenverarbeitung, Datenaufbereitung und Datenübertragung welche im Wesentlichen den Umgang mit Daten bei Industrie 4.0 Anwendungen beschreibt, sodass eine sukzessive Analyse der 4D einerseits einen guten Gesamtüberblick über den Industrie 4.0 Reifegrad eines Produktionsprozesses liefert und andererseits dieser als Basis für die Entwicklung von Handlungsmaßnahmen herangezogen werden kann. Für die Darstellung der Handlungsmaßnahmen kann im ersten Schritt ein Referenzmodell herangezogen werden, welches alle relevanten Informationen bereitstellt.

Die 4D Methode leitet sich aus der 5W-Fragetechnik des Kaizens ab. Kaizen ist ein Werkzeug des Toyota Production System und bedeutet kontinuierliche Verbesserung. Im Zuge dieser kontinuierlichen Verbesserung werden Verschwendungen identifiziert und mit kleinem Aufwand eliminiert. Bei der Identifikation von Problemen wird die 5W-Fragetechnik eingesetzt. 5W steht dabei für das fünfmalige Fragen nach dem Warum. Diese Technik zielt darauf ab, den wirklichen Grund für ein Problem zu identifizieren.²²⁷

Ebenso wie bei der 5W-Fragetechnik, werden bei der 4D-Methode gezielte Fragen eingesetzt, um ein detailliertes Verständnis über den Produktionsprozess zu erlangen. Durch die schrittweise strukturierte Abarbeitung der 4D, ergibt sich langsam ein Gesamtbild des Produktionsprozesses und daraus potentielle Industrie 4.0 Einsatzgebiete und Nutzenaspekte.

Die 4D Methode findet auf Produktionsebene statt, sodass Prozessbeteiligte, Meister und Vorarbeiter, hinsichtlich der 4D befragt werden können.

²²⁷ Vgl. Koch 2015

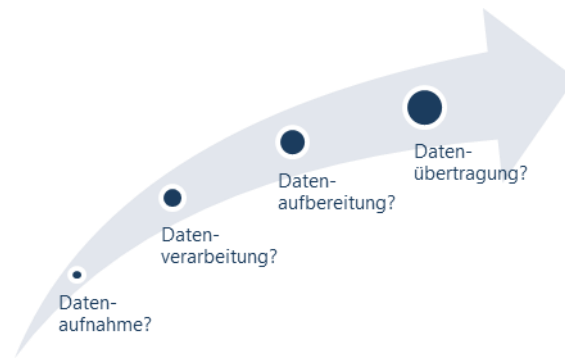


Abbildung 35: Schematische Darstellung der 4D Methode

Bei der Identifikation der 4D kann ein weiteres bekanntes Werkzeug zur strukturierten Problemlösung herangezogen werden. Das Ishikawa Diagramm, auch Fischgräten-Diagramm genannt, kann bei der Analyse der 4D hilfreich sein. Im TPS steht mit diesem Diagramm oft die 6W Fragetechnik (Was, Warum, Wie, Wer, Wo, Wann) in Verbindung. Diese darf nicht mit den zuvor genannten 5W (5 mal Warum) verwechselt werden. Die gezielten Fragen nach dem Was, Warum, Wie, Wer, Wo und Wann, ermöglichen eine weitere noch detailliertere Darstellung.

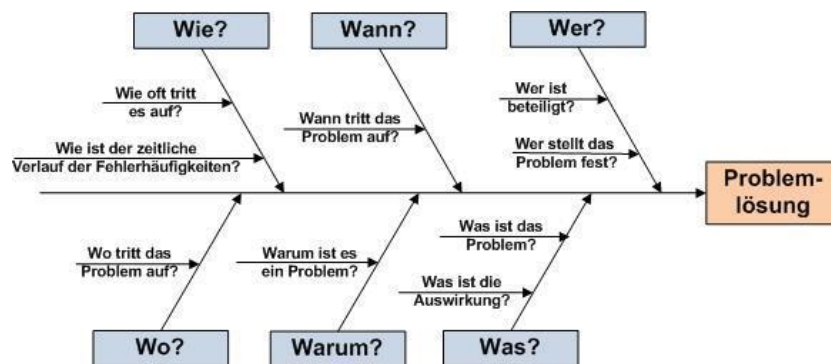


Abbildung 36: Mit Hilfe der 6W-Fragetechnik zur Problemlösung²²⁸

Neben dem Einsatz zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen, kann die Methode auch zur Analyse von bestehenden Anwendungen herangezogen werden. Die Elemente der 4D Methode haben mit Absicht dieselben Begriffe wie die Bereiche im Referenzmodell. Setzt man die 4D Methode kombiniert mit dem zuvor vorgestellten Referenzmodell zur Modellierung von spezifischen Industrie 4.0 Anwendungen ein, wird die Modellierung um vielfaches vereinfacht. Die Beispielfragen aus den 4D stellen dabei einen groben Leitfaden zur Modellierung dar. Die Inhalte der 4D und die besagten Beispielfragen, werden in den nächsten Abschnitten dargestellt.

6.1 Datenaufnahme

Die Datenaufnahme als erster Schritt der 4D, ist stark abhängig von der Qualität der vorangegangenen Prozessanalyse. Bei der Datenaufnahme werden alle Technologien

²²⁸ Robert Graf, Victor Nagel, Florian Wündsch 12.11.14, S. 10

und Techniken, welche direkt bei der Ausführung von Montageoperationen beteiligt sind, hinsichtlich der Generierung von Daten untersucht. Weiters werden in diesem Schritt auch jene Daten identifiziert, welche manuell während des Prozesses aufgenommen werden. Neben der Generierung von Daten im direkten Bereich, werden auch montagerrelevante Daten im indirekten Bereich, beispielsweise bei der Planung erzeugt. Indizien dafür können, auf Ebene der Montagestation, beispielsweise Arbeitsanweisungen in jeglicher Form sein. Sobald bekannt ist, welche Daten in der Montagestation während des Prozesses erzeugt oder auch benötigt werden, kann die Identifikation der Daten die tatsächlich aufgenommen und an eine übergeordnete Station weitergeleitet werden, um diese weiterverarbeiten zu können, beginnen. Neben der Fragestellung welche Daten aufgenommen werden, ist auch das „Wie“ eine wichtige Frage. Oftmals erfolgt dies manuell, ohne standardisierte Regelung und ist zum Teil mit hohem Aufwand verbunden.

Es ist davon auszugehen, dass in vielen Unternehmen eine große Menge von Prozessen gar nicht mittels Datenauswertung überwacht werden. Damit solche relevanten Ereignisse, bzw. Prozesse identifiziert werden können, muss ein neues Sehen erlernt werden, das „digitale Sehen“. Dieser Lernprozess ist zu vergleichen mit jenem, als Kaizen in die Unternehmen implementiert wurde.

Ein Leitfaden für die Vorgehensweise liefern diese beispielhaften Fragen.

Tabelle 11: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenaufnahme

Datenaufnahme	Analyse der Ist-Situation	Welche Daten werden bei der Durchführung des Montageprozesses manuell erhoben?
		Warum werden sie aufgenommen?
		Warum werden sie manuell aufgenommen?
		Welche Betriebsmittel generieren in der Montagestation Daten und werden aufgenommen?
		Welche Fördermittel?
		Welche Daten?
		Warum, welchen Zweck erfüllen diese?
		Welche Werkzeuge?
		Welche Daten?
		Warum, welchen Zweck erfüllen diese?
		Welche Lagermittel?
		Welche Daten?
		Warum, welchen Zweck erfüllen diese?
		Welche Informationen stehen für die Ausführung der Arbeit zu Verfügung?
		Woher kommen sie?
		Planungssystem? (ERP/MES)
		Sensorik? Eine oder mehrere? --> Sensorfusion?
		Warum werden sie eingesetzt?
		Werden in der Station Identifikationsmittel eingesetzt?
		Welche Identifikationsmittel?

Identifikation Verbesserungspotentialen	Wo werden sie eingesetzt?	
	Besitzen die aufgenommenen Daten eine Identität, bzw. sind sie mit dem Objekt verknüpft?	
	Welche weiteren Informationen können den Montageprozess weitervereinfachen?	
	Wovon stammen die Informationen ab?	
	Planungssystem? (ERP/MES)	
	Sensorik? Eine oder mehrere? --> Sensorfusion?	
	Welche Operationen können mit welchen zusätzlichen Daten vereinfacht werden?	
	Welche Metadaten, bzw. Identifikationsdaten können für die Datenzuordnung eingesetzt werden?	
	Wo ist es sinnvoll die Daten zuzuordnen?	
	Welche Funktionen müssen mit der Zuordnung einhergehen und welche Technologien erfüllen diese?	

6.2 Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung beschäftigt sich mit der Frage was mit den erzeugten und aufgenommenen Daten passiert. Aus heutiger Sicht ist es in der Produktion üblich, eine Vielzahl an Daten zu messen, diese jedoch nur für kurze Zeit im Produktionsprozess zu berücksichtigen. Beispiele hierfür sind geschlossene Maschinensysteme in welchen Sensoren zum Einsatz kommen, damit eine fehlerfreie Funktion ermöglicht wird. Industrie 4.0 bietet mittels neuartiger Softwaretechnik beispielsweise diese Möglichkeit, Daten aus geschlossenen Systemen zu exportieren und diese zur weiteren Analyse und Ableitung von Informationen, zu verwerten. Zusammengefasst kann man sagen, dass zu jeder Zeit und an jedem Ort Daten generiert werden. Die zu klärende Frage ist, wie diese Masse an Daten effizient genutzt und verarbeitet werden kann. Der Bereich Datenverarbeitung beschäftigt sich mit der Klärung dieser Frage und damit, welche Softwaretechnologien für eine Verbesserung des Prozesses eingesetzt werden können.

Mögliche Fragestellungen zur Analyse von Informationen:

Tabelle 12: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenverarbeitung

Datenverarbeitung	Analyse der Ist-Situation	Werden die aufgenommenen Daten gespeichert?	
		Wo werden diese gespeichert?	
		Werden die Daten in lokal oder in einer Cloud/Netzwerk gespeichert?	
		Welche Daten werden gespeichert?	
		Warum werden die Daten gespeichert?	
		Wann werden die Daten gespeichert?	
		Welche Größenordnung nehmen die gespeicherten Daten an?	
		Was geschieht mit den gespeicherten Daten?	
		Werden die Daten analysiert?	
		Welche Daten werden analysiert?	

Identifikation Verbesserungspotentialen		Wie werden die Daten analysiert?
		Werden die Ergebnisse in Echtzeit ausgegeben?
		Liefern die Ergebnisse vorausschauende Informationen?
		Welche Kriterien sind für die Analyse ausschlaggebend?
		Welche Systeme/Technologien werden für die korrekte Datenverarbeitung benötigt?
		Welche Daten stehen werden noch erzeugt?
		Welche Operationen können mit weiterer Verarbeitung verbessert werden?
		Welche Daten eignen sich noch für eine Analyse?
		Wie können Daten miteinander kombiniert und ausgewertet werden?
		Welche zusätzlichen Informationen müssen aus der Analyse abgeleitet werden können?
		Wann müssen diese Informationen bereitgestellt werden?
		Welche Software Systeme müssen eingesetzt werden, damit die Anforderungen erfüllt werden können?

6.3 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung hat zum Inhalt, was mit den gewonnenen Informationen nach der Datenverarbeitung geschieht. Im Prinzip handelt es sich bei der Datenaufbereitung um eine Rückführung der Informationen in den Montageprozess. Abhängig vom vorliegenden Montagesystem, lassen sich zwei Möglichkeiten für einen Informationsinput identifizieren. Eine Möglichkeit ist der Einsatz von Assistenztechniken, welche die Ergebnisse der Verarbeitung dem Werker einfach und verständlich bereitstellen, eine andere sind autonome Systeme, welche auf Basis der Informationen selbständig auf den Prozess wirken.

Die Datenaufbereitung soll also zunächst klären welche Technologien und Techniken zurzeit zum Einwirken auf den Montageprozess eingesetzt werden. Darauf aufbauend können neue Möglichkeiten identifiziert werden, welche die Effizienz des Montageprozesses steigern. Hierbei kann die detaillierte Zusammensetzung des Montageprozesses, aus einzelnen Montageoperationen, wichtige Informationen zur Anforderung an die Datenaufbereitung liefern.

Tabelle 13: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenaufbereitung

Datenaufbereitung - Ableitung von Handlungsanweisungen	Analyse der Ist-Situation	Was geschieht mit den gespeicherten/analysierten Daten?
		Wo fließen die Daten wieder als Input in einen Prozess ein?
		Werden die Daten für die Planung neuer Prozesse eingesetzt?
		Fließen die Daten direkt in den Produktionsprozess/Montageprozess ein?
		Wie wird auf Basis der resultierenden Informationen auf den Produktionsprozess eingewirkt?
		Erfolgt die Steuerung autonom?
		Wird der Prozess manuell beeinflusst?
		Wie werden die Daten für den Werker aufbereitet?
		Welche Assistenztechnik wird eingesetzt?
		Wie interagiert der Arbeiter mit den Informationen?
		Wann werden die Daten übermittelt?
		Was löst die Übertragung aus?
		Welche Informationen dienen als Input für den Prozess?
		Was oder wer definiert die benötigten Daten?
		Wie erfolgt die Abfrage der Informationen?
		Autonom?
		Manuell?
	Identifikation Verbesserungspotentialen	Welche Montageoperationen können mit Assistenzsystemen unterstützt werden?
		Welche Mensch-Maschine Schnittstelle müssen diese besitzen um den Werker effektiv zu unterstützen?
		Welche Eigenschaften muss das Assistenzsystem besitzen?
		Welche Betriebsmittel können mit Mensch-Maschine Schnittstellen versehen werden?
		Welche Daten helfen bei der Durchführung der Operationen?
		Wie müssen die Daten aufbereitet sein, damit sie für den Arbeiter leicht verständlich sind?
		Wie stellt man sicher, dass es sich immer um die richtigen Daten handelt?
		Was wird benötigt um den aktuellen durchlaufenen Prozess mit den angeforderten Daten zu koppeln?
		Wo können Aktoren eingesetzt werden?

6.4 Datenübertragung

Da die bereits beschriebenen Felder von unterschiedlichen Systemen durchgeführt werden, bedarf es Kommunikationstechnologien welche die Datenübertragung ermöglichen. Somit sind Kommunikationstechnologien die Kernelemente einer Industrie 4.0 Anwendung. Eine Datenübertragung findet, zwischen der Datenaufnahme und Datenverarbeitung, der Datenverarbeitung und Datenaufbereitung, bzw. der Datenaufnahme und Datenaufbereitung statt. Die Übertragung der Daten mit neuartigen Kommunikationstechnologien kommt in der Industrie 4.0 eine hohe Bedeutung zu. Der Einsatz dieser Technologien birgt

erhebliches Verbesserungspotential in der Fabrik. Da die Datenübertragung stark von der Quelle und Senke abhängt wird sie am Ende der Analyse identifiziert.

Tabelle 14: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenübertragung

Datenübertragung	Analyse der Ist-Situation	Werden die gemessenen Daten an eine übergeordnete Datenverarbeitung transferiert?	
			Wie erfolgt der Datentransport?
			Sind die Sensoren fest mit der Maschine verbaut? Also besitzt der Sensor/die Sensoren eine Anbindung an eine SPS und Bussystem?
			Handelt es sich bei dem Sensor/ den Sensoren um Einzellösungen mit direkter Anbindung an das Internet?
			Welche Eigenschaften muss die Kommunikationstechnologie aufweisen, damit ein Mehrwert entsteht?
		Wie werden die Ergebnisse der Datenanalyse bzw. die Daten wieder zur Montage zurück transferiert?	
			Werden aus der Datenanalyse Handlungsanweisungen für Menschen erstellt oder werden Informationen für Aktoren erstellt?
			Welche Kommunikationstechnologie wird in der Assistenztechnik eingesetzt?
			Ist die Assistenztechnik mit der SPS verbunden oder handelt es sich dabei um eine mobile Anzeigetechnik?
		Wie wird die Aktorik angesprochen?	
			Wird der Aktor direkt angesprochen? Wie kommuniziert dieser?
			Werden die Informationen an ein Maschinen-System gesendet und von dort an den Aktor übermittelt?
		Kommt es zwischen Techniken der Datenaufnahme und der Datenaufbereitung zu einem direkten Datenaustausch?	
			Werden im Montageprozess Identifikationsmittel eingesetzt?
			Wie kommunizieren diese Identifikationsmittel die Informationen?

Die vorgestellten Leitfäden liefern einen groben Überblick, worauf bei der Identifikation von neuen Industrie 4.0 Potentialen und bei der Modellierung zu achten ist.

7 Das Vorgehen bei der Identifikation und Modellierung von Industrie 4.0 Anwendungen

Damit in einem bestehenden Montageprozess Potentiale für den Einsatz von neuen Technologien erhoben werden können, muss der vorliegende Prozess zunächst zerlegt und analysiert werden. Für die Prozessanalyse existiert bereits eine Vielzahl an Methoden und Werkzeugen. Diese Prozessanalyse zielt in erster Linie darauf ab, Verschwendungen und Schwächen zu identifizieren. Dafür werden auch die genormten Montageoperationen (DIN 8593 und VDI 2860) herangezogen. In weiterer Folge werden alle Werkzeuge und Hilfsmittel, welche für die Durchführung der Montageoperationen notwendig sind, erhoben.

Im nächsten Schritt muss der Prozess bzw. die Montagestation dahingehend untersucht werden, welche Daten während des Prozesses bereits manuell oder automatisch erfasst werden. Eine Vielzahl der im Prozess anfallenden Daten werden in der heutigen Zeit oftmals nicht erfasst. Daraus können die ersten Schlüsse gezogen werden, welche zusätzlichen Daten für eine erfolgreiche Optimierung mit neuen Technologien erforderlich sind. Damit beschäftigt sich das Feld der Datenaufnahme.

Daraufhin folgt die Analyse der Datenverarbeitung. Auch hier wird zunächst die vorliegende IST-Situation untersucht, wodurch im Anschluss die notwendigen SOLL-Funktionen identifiziert werden und infolgedessen Handlungsfelder festgelegt werden können.

Danach stellt sich die Frage was nun mit den verarbeiteten Daten geschehen soll und wie damit eine Verbesserung im Montageprozess erfolgen kann. Damit beschäftigt sich das Feld der Datenaufbereitung und Handlungsanweisungen. Schlussendlich gilt es zu bewerten, welche Kommunikationstechnologien für die Datenübertragung eingesetzt werden. Hier ist es ebenso wichtig einen IST- und SOLL-Vergleich durchzuführen. Damit man bei der Potentialidentifikation nicht den Überblick verliert, kann das Referenzmodell aus Abschnitt 5.6 in Kombination mit der 4D Methode aus Abschnitt 6 eingesetzt werden. Dieses stellt alle Analysefelder zusammengefasst dar. Abschließend ist es möglich die identifizierte Anwendung und ihre benötigten Technologien grafisch zu skizzieren. Dafür kann ebenfalls das Referenzmodell aus Abschnitt 5.6 als Vorbild herangezogen werden.

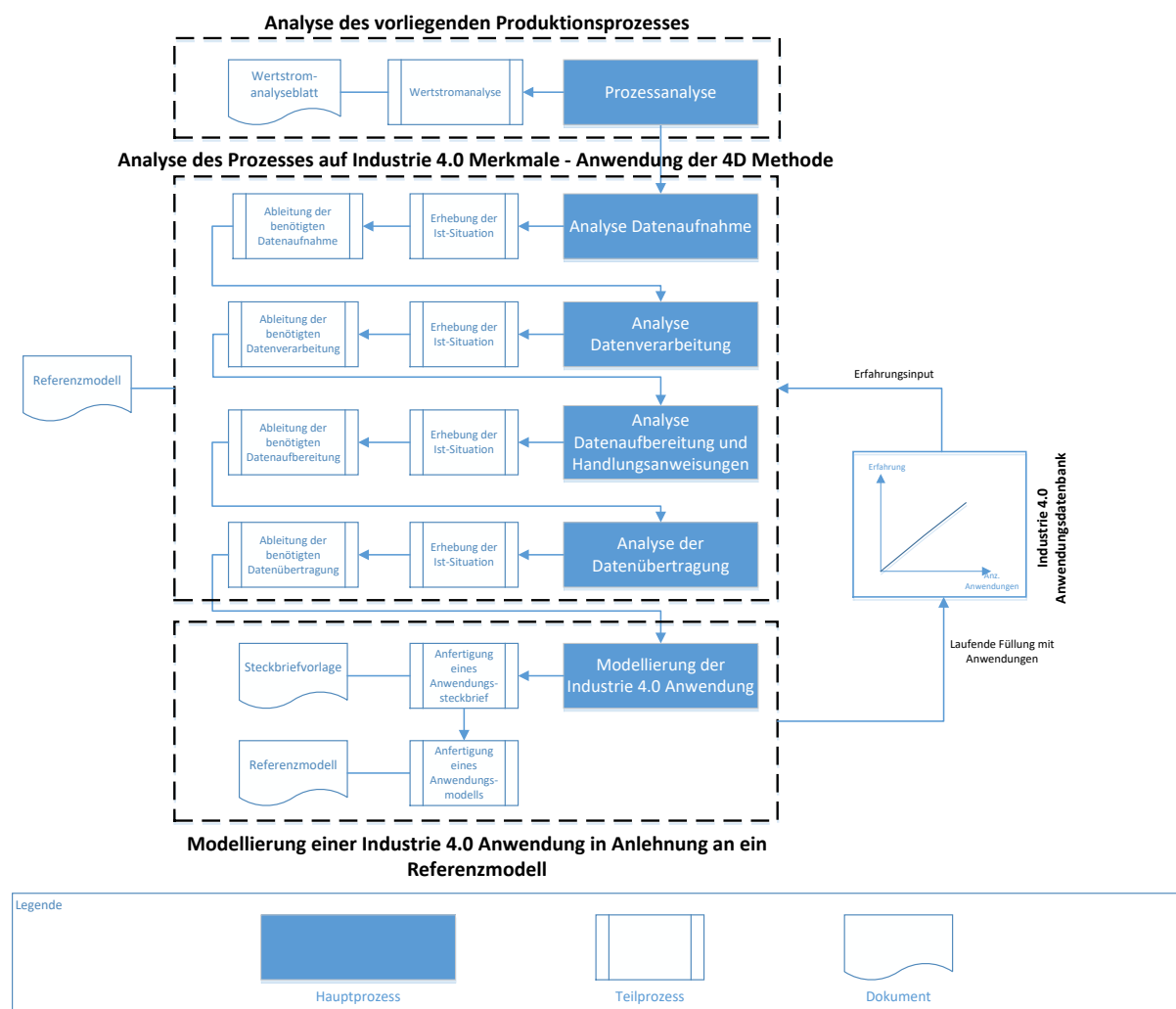


Abbildung 37: Vorgehensmodell zur Identifikation von neuen Anwendungen der Industrie 4.0

In Abbildung 37 wird das Vorgehen in 3 Bausteine unterteilt. Die 4D Methode und das Referenzmodell wurden bereits in den Abschnitten 5.6 und 6 erklärt. Zu Beginn der Identifikation von Potentialen im Umgang mit Daten, also Industrie 4.0 Anwendungen, muss eine umfassende Prozessanalyse durchgeführt werden. Im folgendem Abschnitt wird diese in groben Zügen erklärt.

7.1 Prozessanalyse

Die Prozessanalyse verwendet Werkzeuge, welche aus dem Lean-Management oder aus dem „Toyota Production System“ (TPS) bekannt sind. Im ersten Schritt muss zunächst der Optimierungsbereich festgelegt werden. Dieser wird direkt Vorort, in der Montage identifiziert. Das „Vorort gehen“ wurde durch das TPS geprägt und ist unter dem Synonym „go to Gemba“ bekannt, wobei „Gemba“ der Japanische Ausdruck für Vorort ist. Die genaue Vorgehensweise für die Identifikation des Optimierungsbereichs wird hier nicht erläutert. Es wird davon ausgegangen, dass der Bereich definiert ist.

Damit der Prozess möglichst genau betrachtet werden kann, wird der spezifizierte Bereich mit seinen Prozessen durch Einsatz des Wertstrom-Designs nachgebildet. „Die Wertstromaufnahme ist eine Momentaufnahme des Betriebsgeschehens, wobei der Wertstrom alle Tätigkeiten, welche für die Erfüllung eines Auftrags notwendig sind, umfasst.“²²⁹

Die Aufnahme des Wertstroms erfolgt direkt auf der Produktionsebene zusammen mit den zuständigen Vorarbeitern und Meistern. Das gewährleistet eine möglichst realitätsnahe Aufnahme der Prozesse. Für die Wertstromaufnahme auf Produktionsebene benötigt man 4 Fragen, welche man dem ausführenden Personal stellt²³⁰:

1. Welches sind Ihre Tätigkeiten und Aufgaben?
Ziel dieser Frage ist es ein Verständnis über den tatsächlichen Arbeitsablauf zu bekommen. Dieser unterscheidet sich in der Regel in kleinen Details von der Arbeitsbeschreibung und bringt Ineffizienzen ans Tageslicht.
2. Woher wissen Sie, was Sie wann zu tun haben?
Diese Frage zielt auf die Kommunikation bzw. die Bereitstellung von Arbeitsaufträgen in der Produktion ab. Es ist ebenfalls ratsam auf informelle Informationsflüsse zu achten, da diese für gewöhnlich auf Mängel des definierten Ablaufs hinweisen.
3. Wie groß ist Ihr Bestand beziehungsweise Ihr Arbeitsvorrat?
Mit dieser Frage werden die Bestände im Materialfluss, also zwischen den Bearbeitungszellen untersucht.
4. Woher erhalten Sie das von Ihnen benötigte Material beziehungsweise Ihre Arbeitsaufträge?
Mit dieser Frage identifiziert man was nach der Montagestation mit dem Produkt geschieht und zu welcher Station es gebracht wird.

Die Wertstromanalyse soll also dabei helfen, Schwachstellen und nichtwertschöpfende Tätigkeiten zu identifizieren. Wie uns bereits bekannt ist, handelt es sich bei der Montage um eine Verkettung von Füge- und Handhabeoperationen. Diese sind die kleinsten Elemente von Montagetätigkeiten. Wenn die Grundaufgabe der Montage der Zusammenbau von verschiedenen Bauteilen ist, so können Fügeoperationen an sich als wertschöpfende Tätigkeiten angesehen werden, während alle Handhabeoperationen als nicht wertschöpfend betrachtet werden können. Alle nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, sprich die handhabenden Tätigkeiten, müssen in Zukunft so gestaltet werden, dass sie möglichst wenig Zeit in Anspruch nehmen und keine Schwachstellen im Produktionssystem darstellen. Gerade die Handhabungsgruppe des Kontrollierens, stellt im bestehenden Produktionsprozess

²²⁹ Fuchs 2009, S. 12

²³⁰ Erlach 2010, 55 und 56

eine große Schwachstelle dar. Prüfvorgänge finden immer wieder während der Montage statt. Sie werden manuell durchgeführt und die Entscheidung über Richtig oder Falsch liegt oft beim Werker selbst. Durch die steigende Variantenzahl werden diese Entscheidungen allerdings immer schwieriger. Hier kommen die Assistenzsysteme der Industrie 4.0 ins Spiel.

Für ein detailliertes Prozessverständnis ist es also notwendig die Tätigkeiten des Montageprozesses genau zu betrachten. Hierfür wurde eine Vorlage für ein Wertstromanalyseblatt entwickelt, welche bei der Analyse des Montageprozesses helfen soll.

Dieses Wertstromanalyseblatt dient als Leitfaden zur Aufnahme des Wertstroms. Erster Baustein des Steckbriefs sind jene Fragen, welche Erlach 2010 in seinem Buch „Wertstromdesign“, für die Analyse der Produktion beschreibt. Dadurch bekommt der Analyst ein erstes Grundverständnis des zu betrachtenden Prozesses. Der zweite Block setzt sich detailliert mit der Durchführung auseinander und schlüsselt den Prozess weiter in seine Montageoperationen und im Einsatz befindlichen Betriebsmittel auf. Im letzten Block werden die besagten Operationen und Betriebsmittel miteinander verkettet dargestellt. Dies ermöglicht nichtwertschöpfende Tätigkeiten und im Augenblick eingesetzte Betriebsmittel zusammen im Auge zu behalten. In Abbildung 38 ist die Vorlage des Wertstromanalyseblatts dargestellt.

Wertstromanalyseblatt	
Datum/Kürzel:	Bereich
Stations-Nr.:	Montage
Tätigkeit:	
Fragen	
1. Was sind ihre Tätigkeiten?	
2. Woher wissen Sie was zu tun ist?	
3. Wie groß ist ihr Bestand bzw. Arbeitsvorrat?	
4. Woher erhalten Sie das von Ihnen benötigte Material?	
Detail-Betrachtung der Tätigkeiten	
1. Fügen	Identifikation der auftretenden Fügeoperation unter Zuhilfenahme der DIN 8593
2. Handhaben	Identifikation der auftretenden Handhabeoperation unter Zuhilfenahme der VDI 2860
3. Betriebsmittel	Identifikation der montagerelevanten Betriebsmittel (Werkzeuge, Fördermittel, Lagermittel, Hilfsmittel)
Schematische Darstellung der Verkettung von Fügen, Handhaben und eingesetzte Betriebsmittel:	

Abbildung 38: Wertstromanalyseblatt für die Aufnahme des Wertstroms in der Montagestation

8 Veranschaulichung der Vorgehensweise bei der Nachbildung einer Anwendung anhand eines Beispiels

Wie in Abschnitt 5.5 beschrieben, werden für die Komplettierung und Validierung des Referenzmodells Anwendungen, die in der Industrie bereits eingesetzt werden, nachgebildet. Um aus diesen beispielhaften Anwendungen den meisten Nutzen zu ziehen, bedarf es zunächst einer strukturierten Analyse der Anwendung. Der Steckbrief in Abbildung 30 auf Seite 77, hilft bei der Strukturierung des Use Cases und fasst alle wichtigen Eigenschaften zusammen. Zu diesen zählen die Ausgangssituation und Zielsetzung, sowie die umgesetzte Lösung und die daraus entstehenden Vorteile. Daraus leiten sich die weiteren Schlüsselemente wie Einsatzgebiet, Verbesserungspotentiale, beeinflusste KPI's und -Operationen ab. Die standardisierte Form des Steckbriefs bietet die Möglichkeit verschiedene Anwendungen miteinander zu vergleichen. Wie aus Abschnitt 5.5 bekannt, existieren auf dem Steckbrief neben den Standardbausteinen auch ein variables Element, die Prozessoperationen. Diese sind das Ergebnis aus der Prozessanalyse. Die Prozessanalyse wird in diesem Beispiel wegen ihres Umfangs jedoch nicht aufgezeigt.

Abbildung 39 ist ein Beispiel für einen solchen Steckbrief. Darin wird der Einsatz einer Datenbrille zur Unterstützung der Montagetätigkeit beschrieben. Zu klären ist, dass die Verbesserungspotentiale auf der rechten Seite, in Anlehnung an die in Kaizen beschriebenen Problemfelder, aufgeschlüsselt werden. Diese werden in Mura, Muri und Muda eingeteilt und bedeuten in derselben Reihenfolge, Ungleichheit, Überbelastung und Verschwendung²³¹. Grund für den Einsatz dieser Terminologie ist die Begriffsbekanntheit in der Industrie. Da Industrie 4.0 ein hochkomplexes Thema ist, ist der Einsatz von bewährten Begriffen von Vorteil. Des Weiteren decken diese Begriffe auch den Großteil der häufig auftretenden Herausforderungen ab. Im Falle des Beispiels aus Abbildung 39, sind dies die Montageoperationen Fügen und Handhaben, welche sich in weitere Funktionen unterteilen lassen²³². Durch die Angabe des Einflusses auf die Montageoperationen bietet der Steckbrief eine weitere Möglichkeit zum Vergleich der Industrie 4.0 Anwendungen.

²³¹ Vgl. Imai und Nitsch 1994

²³² Vgl. DIN 8593 und VDI 2860


Use-Case Steckbrief		
Use-Case Kurzbeschreibung:	Quelle:	evolaris next level GmbH
Einsatz von einer Datenbrille zur Unterstützung bei der Durchführung der Montage		
Ausgangssituation und Zielsetzung	Industrielle Anwendungsgebiete	Montage
<p>Ausgangssituation:</p> <p>Für die korrekte Montage einer Baugruppe werden Schrauben in einer definierten Reihenfolge mit einem Elektro Schrauber mit definierten Drehmoment eingedreht.</p> <p>Ein Zentraler Bildschirm informiert Mitarbeiter bezüglich der Schraubreihenfolge.</p> <p>Der Bildschirm ist für den Mitarbeiter in einer ergonomisch ungünstigen Position angebracht.</p>	Verbesserungspotentiale	flexible Anweisungen (Mura)
		Verbesserung der Ergonomie (Muri)
		Überproduktion, Bewegung, Defekte (Muda)
<p>Zielsetzung:</p> <p>Intuitive Erstellung und Anzeige von bildbasierten Montageanleitungen direkt in der Montagelinie.</p>	Auswirkung auf KPI's	Hours per Unit Fehlerfolgekosten
Lösung und Mehrwert	beeinflusste Montageoperationen	
<p>Lösung:</p> <p>Die Arbeitsanweisung wird per Datenbrille direkt im Sichtfeld, angezeigt.</p> <p>Die nächste Arbeitsanweisung wird automatisch angezeigt sobald der Elektro Schrauber das notwendige Drehmoment erreicht hat und „OK“ von der Schraubstation zurück geliefert wurde. Andernfalls werden in der Brille Details zum „NOK“ dargestellt.</p>	Fügen	Schrauben
	Handhaben	Positionieren, Messen, Identität prüfen, Position prüfen, Orientierung prüfen
<p>Vorteile:</p> <p>Die Mitarbeiter sehen ohne körperliche Verrenkungen die Anweisungen für den nächsten Arbeitsschritt eingeblendet. Dadurch kommt es zu einer körperlichen Entlastung der Mitarbeiter, zur Minimierung von Fehlern und zu kürzeren Einschulungszeiten bei neuen Mitarbeitern.</p>		

Abbildung 39: Steckbrief für Beispiel-Anwendung

Um die Funktionsweise der Industrie 4.0 Anwendung zu veranschaulichen, kommt im nächsten Schritt das Referenzmodell zum Einsatz. Ziel ist es dabei die spezifische Anwendung, bezüglich der im Einsatz befindlichen Technologien zu analysieren und die Interaktion dieser einfach und übersichtlich zu beschreiben.

Abbildung 44 auf Seite 107 zeigt das vollständige spezifische Modell zur Veranschaulichung der eingesetzten Technologien und derer Interaktion. Der Einsatz einer Datenbrille zur Unterstützung der Montagefähigkeiten oder auch anderen industriellen Operationen, erfordert eine Vielzahl anderer Komponenten zur erfolgreichen Umsetzung. Im ersten Schritt wurde im Steckbrief bereits festgehalten, welche Ausgangssituation vorliegt, womit auch die durchgeführten Montageoperationen festgelegt sind. Da es sich hierbei um eine Nachbildung einer bereits existierenden Anwendung handelt, sind die beeinflussten Montageoperationen ebenfalls bekannt, siehe Abbildung 40. Dieses Wissen kann in Zukunft in die Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen einbezogen werden und wird in Abschnitt 7 in Abbildung 37 auf Seite 93 durch die Rückkopplung mittels einer Datenbank veranschaulicht. Die durchgeführten Montageoperationen geben Auskunft darüber welche Betriebsmittel eingesetzt werden. Womit man beim ersten Schritt zur Modellierung einer Industrie 4.0 Anwendung angelangt ist. Um einen guten Gesamtüberblick zu behalten, orientieren sich die Begriffe und Felder an dem in Abschnitt 5.3 definierten Ordnungsrahmen.

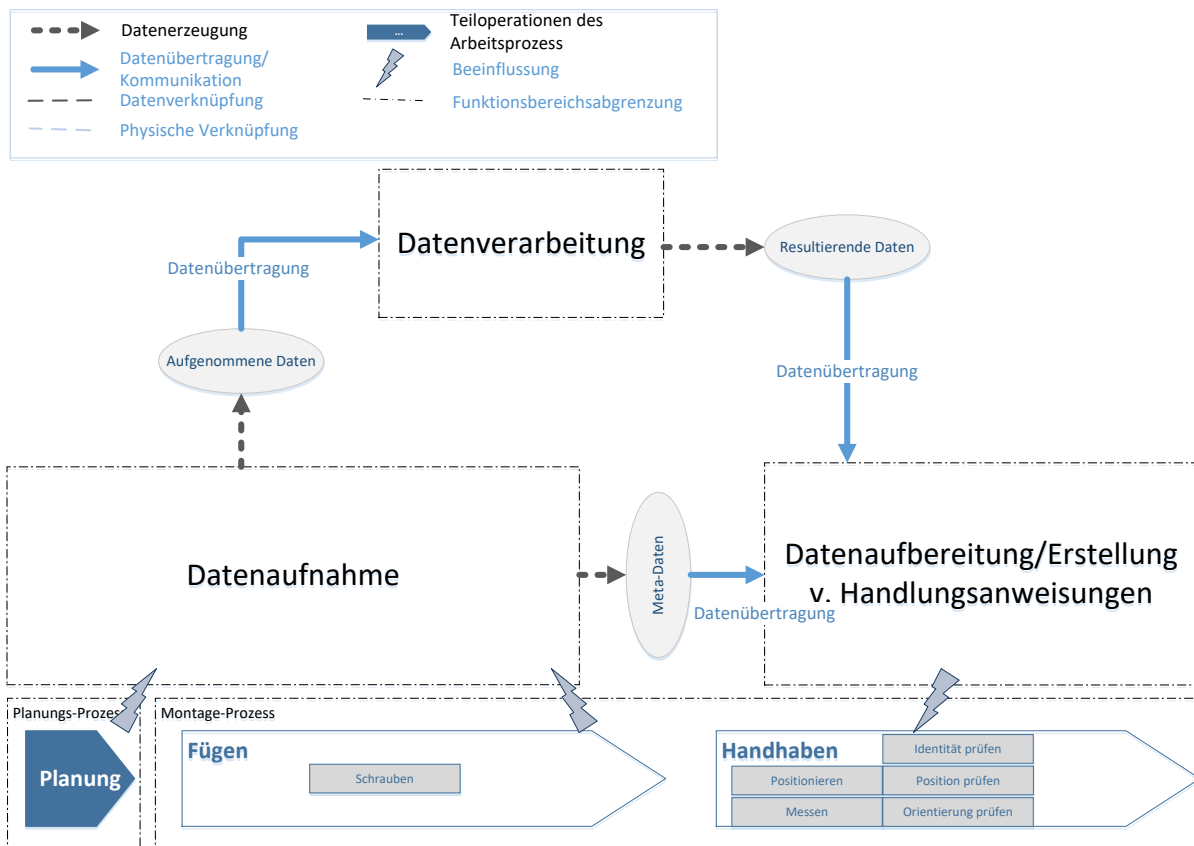


Abbildung 40: Beeinflusste Montageoperationen

8.1 Datenaufnahme

Im Referenzmodell ist eine Datenaufnahme mittels Sensorik, oder mittels Anzapfung bestehender Softwaresysteme möglich. In Tabelle 11 aus Abschnitt 6.1 wird ein

Leitfaden, zur Identifikation der Datenaufnahme angeboten. Zieht man diese für die Analyse der Anwendung heran, so lassen sich folgende Fragen beantworten.

Tabelle 15: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenaufnahme

		beispielhafte Fragen	spezifische Antworten	
Datenaufnahme	Analyse der Ist-Situation	Welche Daten werden bei der Durchführung des Montageprozesses manuell erhoben?		
		Warum werden sie aufgenommen?		
		Warum werden sie manuell aufgenommen?		
		Welche Betriebsmittel erzeugen in der Montagestation Daten und werden aufgenommen?		
		Welche Fördermittel?		
		Welche Daten?		
		Warum, welchen Zweck erfüllen diese?		
		Welche Werkzeuge?	Elektro-Schrauber	
		Welche Daten?	Schraub-Drehmoment	
		Warum, welchen Zweck erfüllen diese?	Einhaltung des werkstückspezifischen Drehmoments	
		Welche Lagermittel?		
		Welche Daten?		
		Warum, welchen Zweck erfüllen diese?		
		Welche Informationen stehen für die Ausführung der Arbeit zu Verfügung?	Montageanleitung, Anzeige des aktuellen Drehmoments	
		Woher kommen sie?		
		Planungssystem? (ERP/MES)	Montageanleitung	
		Sensorik? Eine oder mehrere? --> Sensorfusion?	ein Sensor (Drehmomentsensor)	
		Warum werden sie eingesetzt?	Arbeiter hält sich strikt an die Vorgaben, Reduktion der Fehleranfälligkeit	
		Werden in der Station Identifikationsmittel eingesetzt?	ja	
		Welche Identifikationsmittel?	QR-Code	
		Wo werden sie eingesetzt?	Produkt/Werkstück	
		Besitzen die aufgenommenen Daten eine Identität, bzw. sind sie mit dem Objekt verknüpft?	Montageanleitungen sind auf Produktbezogen, Sensordaten auf Schrauber	

Im Falle dieses Beispiels, werden Daten aus einer Schraubmaschine aufgenommen. Zur Messung des auftretenden Drehmoments, wird vernetzte Sensorik, sprich internetfähige, kommunikationsfähige Sensorik eingesetzt. Sobald die Schraubmaschine im Betrieb ist, werden Nutzungsdaten erzeugt. Diese sind in Abbildung 41 durch den braunen strichlierten Pfeil dargestellt ist. Die zweite Gruppe

benötigter Daten, sind Produktionsdaten aus dem MES (Manufacturing Execution System), z.B.: Montageanleitungen. Diese werden auch in besagter Abbildung mit einem braun strichliertem Pfeil gekennzeichnet. Wie bereits erklärt, spielt die produktbezogene Datenspeicherung eine große Rolle. Es stellt sich also die Frage welche eingebetteten Systeme wo eingesetzt werden. Durch den Einsatz eines Identifikationsmittels, hier in Form eines QR-Codes, und einer produktbezogenen Datenspeicherung, sind Produkt und Daten direkt miteinander verknüpft. Diese Tatsache ist in Abbildung 41 durch eine dünne schwarze strichlierte Linie gekennzeichnet.

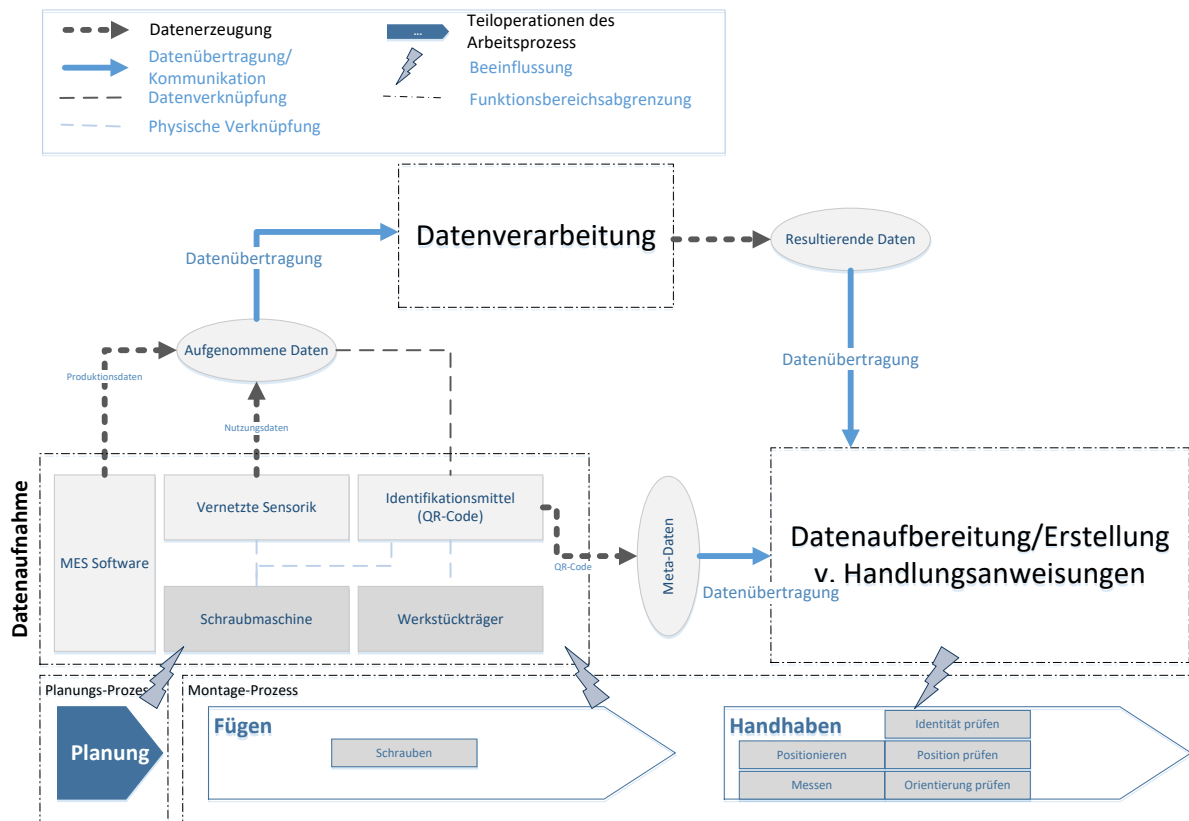


Abbildung 41: Datenaufnahme bei Montageunterstützung mittels Datenbrille

8.2 Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung hat die Aufgabe, erfasste Daten ordnungsgemäß und zweckmäßig zu verarbeiten. Dies kann in unterschiedlichen Fällen eine Vielzahl an Technologien in Anspruch nehmen.

Tabelle 16: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenverarbeitung

		beispielhafte Fragen	spezifische Antworten
Datenverarbeitung	Analyse der Ist-Situation	Werden die aufgenommenen Daten gespeichert?	ja
		Wo werden diese gespeichert?	
		Werden die Daten in lokal oder in einer Cloud/Netzwerk gespeichert?	Cloud-Lösung
		Welche Daten werden gespeichert?	Nutzungsdaten des Schraubendrehers (Drehmoment-Sensordaten)
		Warum werden die Daten gespeichert?	Durch Speicherung der Sensordaten wird ein Soll/Ist Vergleich ermöglicht
		Wann werden die Daten gespeichert?	Laufend, wenn die Maschine im Betrieb ist
		Welche Größenordnung nehmen die gespeicherten Daten an?	Da nur von einem Sensor, Daten aufgenommen werden, wird eine überschaubare Menge an Daten gespeichert.
		Was geschieht mit den gespeicherten Daten?	Ableich von echtzeitgemessenen Sensordaten mit Planungsdaten
		Werden die Daten analysiert?	ja
		Welche Daten werden analysiert?	Nutzungsdaten (Sensordaten) und Montagedaten
		Wie werden die Daten analysiert?	Ableich von Sensor Daten mit vorgegebenen Drehmoment aus MES System
		Werden die Ergebnisse in Echtzeit ausgegeben?	ja
		Liefern die Ergebnisse vorausschauende Informationen?	
		Welche Kriterien sind für die Analyse ausschlaggebend?	Drehmoment IST und Soll
		Welche Systeme/Technologien werden für die korrekte Datenverarbeitung benötigt?	Cloud Computing inkl. Speicher- und Zugriffsverfahren, Multiagenten System
		Handelt es sich bei den Daten um einen Input für Simulationssysteme? Bzw. werden die gemessenen Daten in Simulationsumgebungen wiedergegeben?	

Nach Abarbeitung der im Leitfaden bereitgestellten Fragen, stellt sich heraus, dass die Datenverarbeitung in dieser Anwendung mittels „Cloud-Computing“ Lösung möglich ist. Dabei werden Sensordaten in Echtzeit abgespeichert und es ist möglich jederzeit auf diese zuzugreifen. Neben der Speicherung dieser Sensordaten erfolgt eine

Analyse der Sensordaten in Form eines Abgleichs mit dem geforderten Drehmoment aus dem MES-System. Dieser Abgleich wird durch sogenannte „Multi Agenten Systeme“ ermöglicht. Im Modell selbst, siehe Abbildung 42, wird der kombinierte Einsatz von „Cloud-Computing inkl. Speicher- und Zugriffsverfahren“ und „Multiagenten Systemen“ mit einer physischen Verknüpfung (hellgrau strichlierten Linie) dargestellt. Die Datenspeicherung erfolgt stets objektbezogen, das heißt, die Sensordaten werden immer in Bezug zur Schraubmaschine und die Montageplanungsdaten mit Bezug zum herzustellenden Produkt gespeichert. Der Mehrwert dieser Anwendung liegt in der dezentralen Echtzeitanalyse und in weiterer Folge auch in der Aufbereitung der Daten. Das Resultat der Echtzeitanalyse sind die verarbeiteten Daten, welche im nächsten Schritt objektbezogen aufbereitet und visualisiert werden.

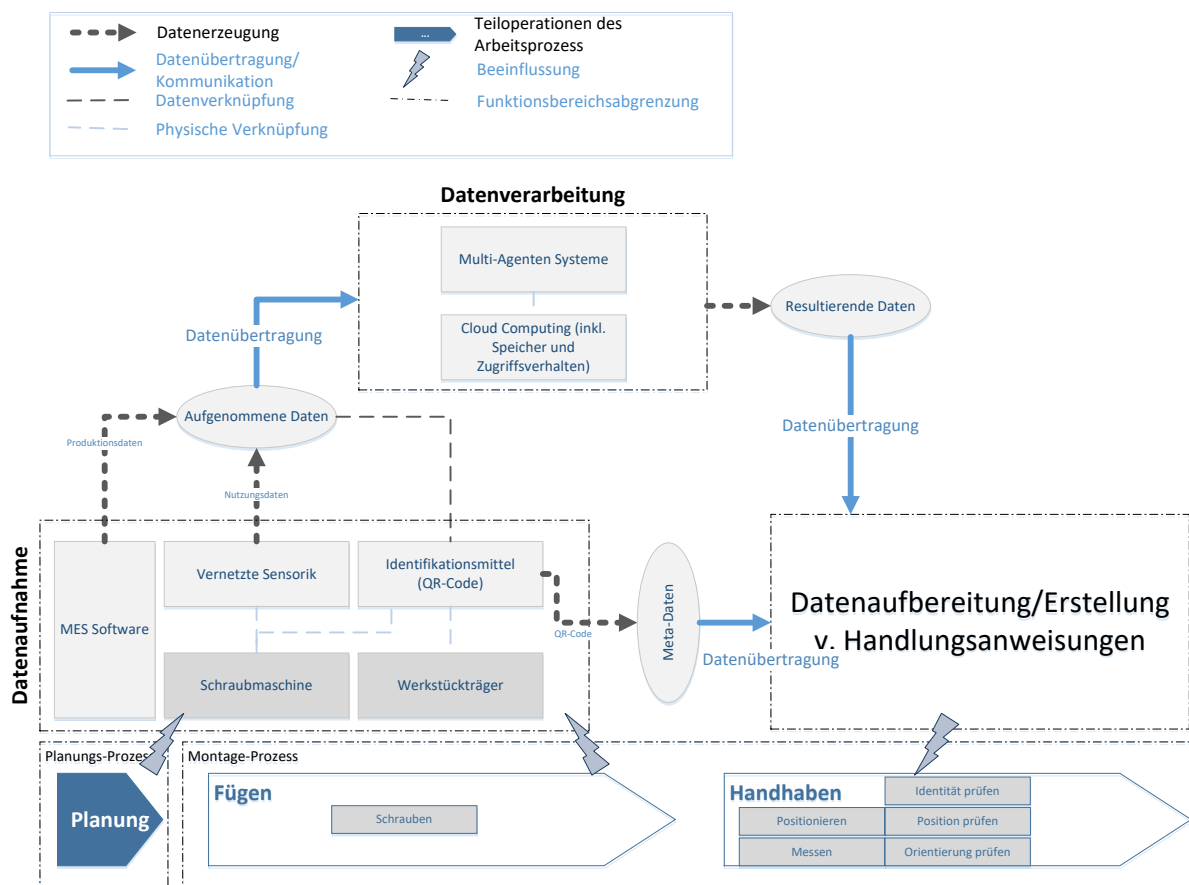


Abbildung 42: Datenverarbeitung bei Montageunterstützung mittels Datenbrille

8.3 Datenaufbereitung

Der Datenverarbeitung folgt die Aufbereitung der Daten und Rückführung dieser in das Produktionssystem. Die verarbeiteten Daten werden dort als Grundlage für Handlungen und Entscheidungen eingesetzt. Wie die Industrie 4.0 Funktionsfelder zeigen, können Entscheidungen und Optimierungen manuell durch den Menschen unter Zuhilfenahme von Assistenzsystemen, oder autonom durch Maschinen erfolgen.

Damit elektronische Signale eine physische Änderung am System bewirken können, werden Aktoren eingesetzt. In diesem Beispiel werden die diversen Montageoperationen allerdings von einem menschlichen Arbeiter verrichtet, dieser wird von Assistenztechniken unterstützt.

Tabelle 17: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenaufbereitung

		beispielhafte Fragen		spezifische Antworten			
Datenaufbereitung - Ableitung von Handlungsanweisungen	Analyse der Ist-Situation	Was geschieht mit den gespeicherten/analysierten Daten?		Analysierte Daten werden als Informationen wieder in den Montagprozess eingeführt			
		Wo fließen die Daten wieder als Input in einen Prozess ein?		Montagestation			
		Werden die Daten für die Planung neuer Prozesse eingesetzt?		/			
		Fließen die Daten direkt in den Produktionsprozess/Montageprozess ein?		ja			
		Wie wird auf Basis der resultierenden Informationen auf den Produktionsprozess eingewirkt?				/	
		Erfolgt die Steuerung autonom?		/			
		Wird der Prozess manuell beeinflusst?		ja menschl. Arbeiter führen die Montage durch			
		Wie werden die Daten für den Werker aufbereitet?		Aus den aufgenommenen Daten werden die wichtigsten Informationen extrahiert und direkt im Sichtfeld des Werkers dargestellt.			
		Welche Assistenztechnik wird eingesetzt?		Datenbrille			
		Wie interagiert der Arbeiter mit den Informationen?		Augmented Reality, Sprachsteuerung, Gestensteuerung			
		Wann werden die Daten übermittelt?					
		Was löst die Übertragung aus?		Datenübertragung wird durch Identifikationsmittel auf Produkt und bei Betätigung von Schraubendreher ausgelöst			
		Welche Informationen dienen als Input für den Prozess?		Montageanweisungen (Platzierung der Schrauben), Schrauber-Drehmoment			
		Was oder wer definiert die benötigten Daten?		Identifikationsmittel auf Produkt bestimmt welche Daten benötigt werden			
		Wie erfolgt die Abfrage der Informationen?					
		Autonom?		ja, gesteuert über Identifikationsmittel und Schraubendreher			
		Manuell?		/			

--	--	--	--	--	--

Als Assistenztechnik wird hier eine Datenbrille eingesetzt, welche über mehrere Mensch-Maschine Schnittstellen verfügt. Diese werden in Abbildung 43 durch dünne, grau strichlierte Linien mit der Datenbrille verknüpft. Dem Werker werden also drei verschiedene Möglichkeiten zur Interaktion zur Verfügung gestellt. Durch „Augmented Reality“ bekommt der Werker alle Daten in verständlicher Art und Weise in sein Sichtfeld projiziert. Die Steuerung bzw. Handhabung der Daten erfolgt auf zwei Arten, der Gesten- und der Sprachsteuerung. Welche Daten angezeigt werden, hängt davon ab welches Produkt gerade bearbeitet wird. Dies ist auch ein Grund für die Wichtigkeit der produktbezogenen Datenspeicherung. Damit die Daten, von der Aufnahme zur Verarbeitung und infolgedessen produktspezifisch aufbereitet, an den Arbeiter kommen, bedarf es Kommunikationstechnologien welche die Datenübertragung ermöglichen. Dies vervollständigt das Modell im letzten Schritt.

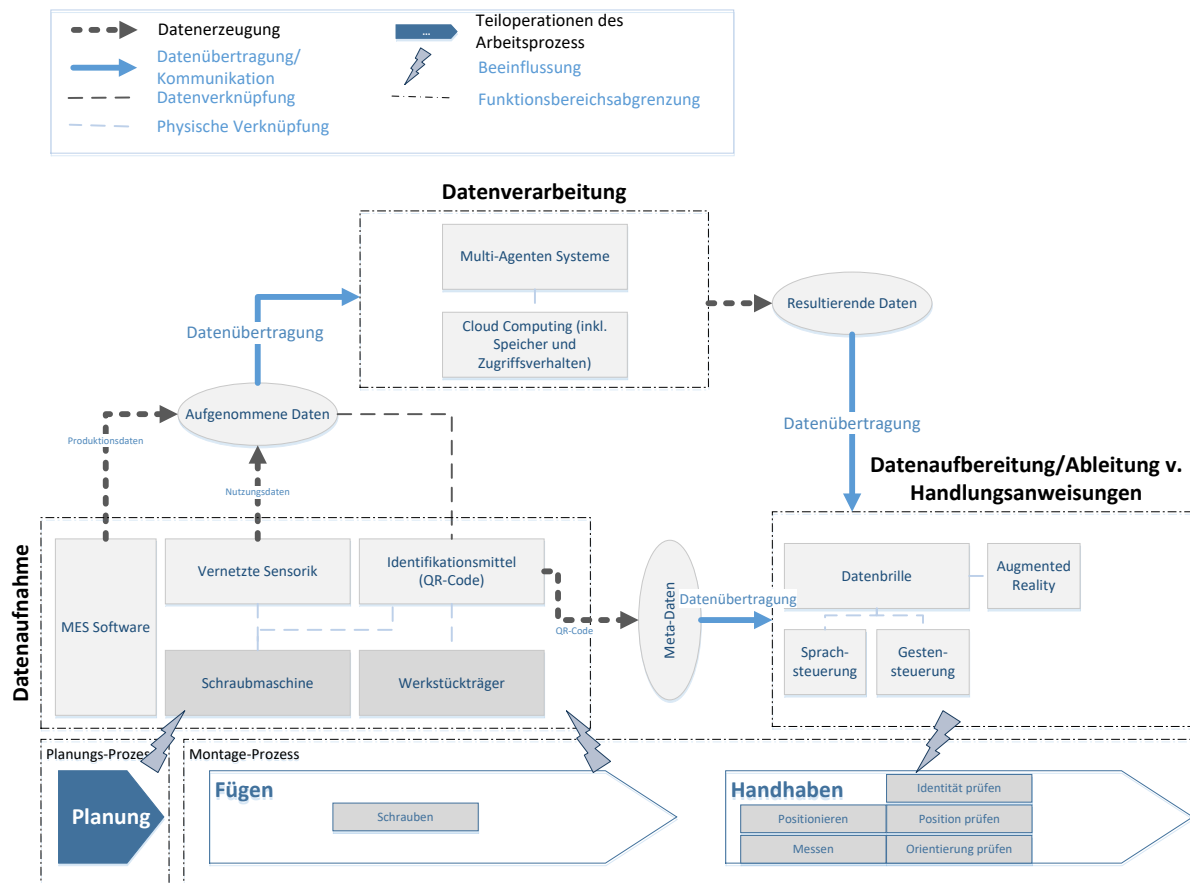


Abbildung 43: Datenaufbereitung/Ableitung von Handlungsanweisungen bei Montageunterstützung mittels Datenbrille

8.4 Datenübertragung

Tabelle 18: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenübertragung

		beispielhafte Fragen		spezifische Antworten
Datenübertragung	Analyse der Ist-Situation		Werden die gemessenen Daten an eine übergeordnete Datenverarbeitung transferiert?	ja
			Wie erfolgt der Datentransport?	Echtzeitfähigen Bussystem
			Sind die Sensoren fest mit der Maschine verbaut? Also besitzt der Sensor/die Sensoren eine Anbindung an eine SPS und Bussystem?	Drehmomentsensor befindet sich Im Elektroschrauber welcher mit SPS und Bussystem verknüpft ist.
			Handelt es sich bei dem Sensor/ den Sensoren um Einzellösungen mit direkter Anbindung an das Internet?	/
			Welche Eigenschaften muss die Kommunikationstechnologie aufweisen, damit ein Mehrwert entsteht?	Kommunikation in Echtzeit
			Werden die Ergebnisse der Datenanalyse bzw. die Daten wieder zur Montage zurück transferiert?	ja
			Werden aus der Datenanalyse Handlungsanweisungen für Menschen erstellt oder werden Informationen für Aktoren erstellt?	Daten werden für Menschen aufbereitet
			Welche Kommunikationstechnologie wird in der Assistenztechnik eingesetzt?	Assistenztechnik ist mit keinem stationären System verbunden und verwendet mobile Kommunikationskanäle
			Ist die Assistenztechnik mit der SPS verbunden oder handelt es sich dabei um eine mobile Anzeigetechnik?	mobile Anzeigetechnik
			Welche Kommunikationstechnologie wird in der Aktorik eingesetzt?	/
			Kommt es zwischen Techniken der Datenaufnahme und der Datenaufbereitung zu einem direkten Datenaustausch?	ja
			Werden im Montageprozess Identifikationsmittel eingesetzt?	ja
			Wie kommunizieren diese Identifikationsmittel die Informationen?	QR-Code auf Produkt und Kamera in Assistenztechnik

Damit die erfassten Daten in der Cloud weiterverarbeitet werden, muss der Sensor in der Schraubmaschine mit einer Kommunikationstechnologie ausgestattet sein. In

diesem Beispiel, erfolgt der Datenaustausch über echtzeitfähige Bustechnologie. Das bedeutet, dass der Sensor, sobald sich die Schraubmaschine im Einsatz befindet, ununterbrochen Daten in Echtzeit an die Cloud sendet. Die Datenbrille hingegen, muss fähig sein, drahtlos Daten auszutauschen. Dies erfolgt mit mobilen Kommunikationskanälen, welche beispielsweise auch in Smartphones eingesetzt werden. Mit Hilfe dieser Technologie ist es möglich die produktspezifischen Daten aus der Cloud direkt in das Sichtfeld des Werkers zu transferieren. Es stellt sich nun nur noch die Frage woher die Brille weiß, welche Daten zu dem aktuell bearbeiteten Produkt gehören. Das ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen Brille und Identifikationsmittel auf dem Werkstückträger. Hier handelt es sich, wie zuvor beschrieben um einen QR-Code, dieser wird mit der verbauten Kamera der Datenbrille gescannt. Dadurch weiß die Brille, welche Daten gerade relevant sind und kann diese aus der Cloud abrufen. Die Datenübertragungen, also die Kommunikationstechnologien sind in Abbildung 44 als dicke blaue Pfeile dargestellt.

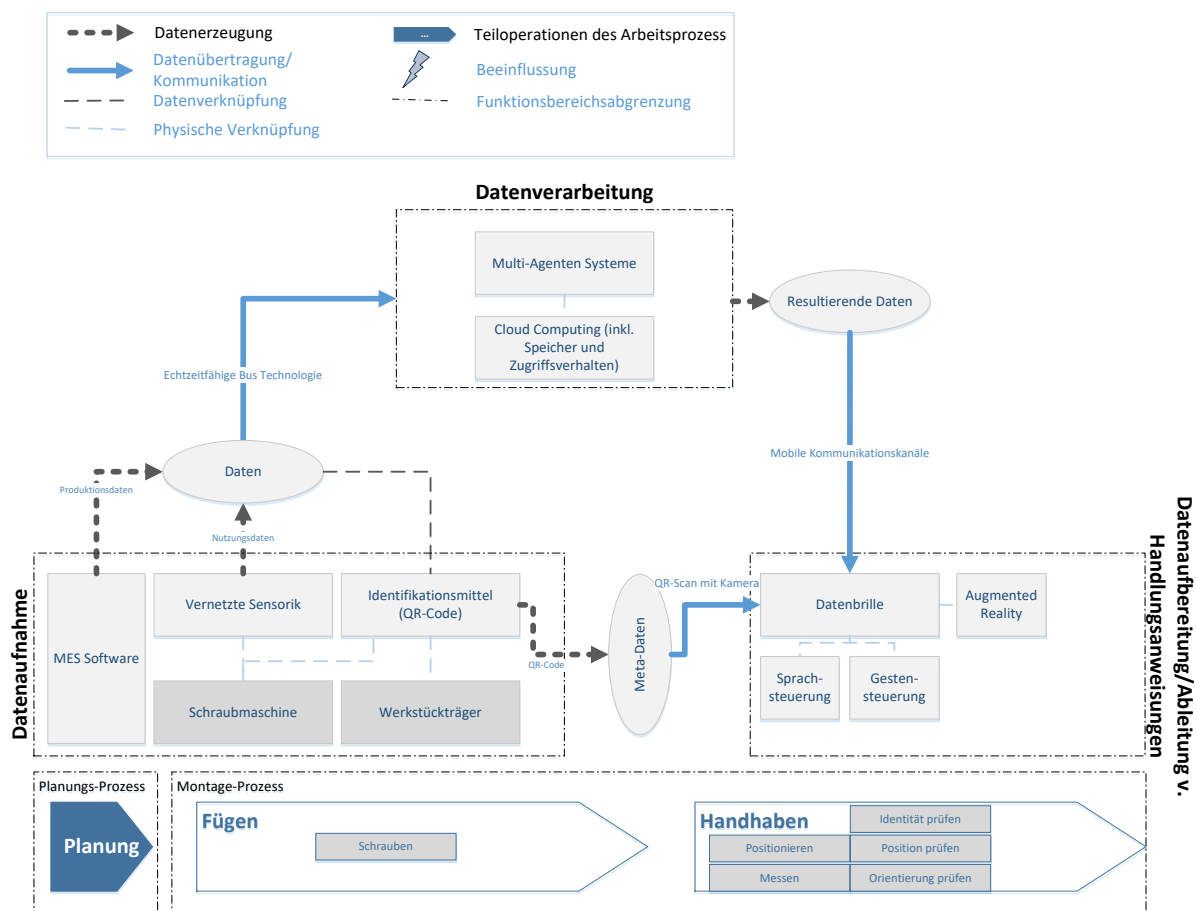


Abbildung 44: Technologieinteraktionsmodell für den Einsatz einer Datenbrille zur Montageunterstützung

Die genaue Betrachtung von existierenden Industrie 4.0 Anwendungen hat, neben der Komplettierung und Validierung des Referenzmodells, zwei weitere Nutzen:

- Kritische Betrachtung existierender Anwendungen und Identifikation von Verbesserungspotentialen (Lessons Learned)
- Identifikation von regelmäßig auftretenden Eigenschaften und Ableitung von allgemeingültigen Aussagen

8.5 Kritische Betrachtung existierender Anwendungen mit Bezug zum beschriebenen Beispiel: Einsatz einer Datenbrille zur Montageunterstützung

Nach der Modellierung ist es möglich die Anwendung mit kritischem Auge zu betrachten. Das soll in Zukunft bei der Identifikation und Modellierung von neuen Industrie 4.0 Anwendungen helfen.

Bei genauer Betrachtung des Beispiels stellt sich die Frage warum die Sensordaten aus der Schraubmaschine auf die Datenbrille transferiert werden, sodass der Werker der letzte entscheidende Faktor ist. Genauso wäre es möglich, die gewonnenen Daten gleich wieder in einen Aktor in der Schraubmaschine fließen zu lassen, welcher den Antrieb steuert. So würde das neben dem Einsatz eines Assistenzsystems auch die Automatisierung des Schraubprozesses fördern.

Fragen dieser Art treten immer wieder bei der Analyse von eingesetzten Anwendungen auf. Die Beantwortung dieser, könnte bereits ein Schritt in die Richtung der Eliminierung von Verschwendungen beim Einsatz von Industrie 4.0 sein. Fakt ist, dass Industrie 4.0 und die eingesetzten Technologien sehr umfangreich und komplex sind. Zwischen Technologieanwendern und Technologieanbietern tritt so möglicherweise ein großes Wissensdelta auf. Dies bietet die Möglichkeit als Schnittstelle zu fungieren, wodurch Anwender neue Technologien effizient einsetzen und Anbieter vermehrt ihre Lösungen an den Mann bringen können.

9 Schlusswort

Schlussendlich kann gesagt werden, dass der momentane Hype rund um Industrie 4.0 berechtigt ist. Industrie 4.0 bringt eine Vielzahl an Verbesserungspotentialen mit sich. Betrachtet man den zukünftigen Umgang mit Daten, so erfolgte der Geschäftsprozess bis heute vergleichsweise blind. Durch die verstärkte Nutzung der allgegenwärtigen Daten, erhalten Unternehmen ihr „Augenlicht“ zurück und können somit in allen Geschäftsbereichen deutlich einfachere und schnellere Entscheidungen treffen.

Industrie 4.0 ist allerdings wegen der Vielzahl an einsetzbaren Technologien nicht einfach umzusetzen. Da jede Technologie für sich bereits genügend Komplexität mit sich bringt, werden Industrie 4.0 Anwendungen vorwiegend von Technologieherstellern auf den Markt gebracht. Wie man sich vorstellen kann, machen nicht alle Anwendungen für jedes Unternehmen gleichen Sinn. Für die Unternehmen, die Technologieanwender, ist es also wichtig so rasch als möglich, intern ein fundiertes Wissen zu Industrie 4.0 und ihren Anwendungen aufzubauen. Dazu zählt zunächst die generelle Funktionsweise von Industrie 4.0 Anwendungen und im nächsten Schritt die Identifikation von Implementierungspotentialen. Viele Unternehmen versuchen den ersten Schritt zu überspringen und gleich die angebotenen Technologien auf ihren Nutzen zu überprüfen. Diese macht betroffene Unternehmen stark von den Technologieanbietern abhängig.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode und die dazugehörigen Werkzeuge, ermöglichen bestimmte Anwendungen zu analysieren und neue Anwendungen bzw. Potentiale zu identifizieren. Vor allem das vorgestellte Referenzmodell hat mehrere Einsatzgebiete. Neben der primären Funktion als Vorlage zur Modellierung von Industrie 4.0 Anwendungen, kann es auch als

- Schulungsunterlage zur Darstellung von Industrie 4.0 Funktionsweisen in bestimmten Bereichen
- Landkarte für die geordnete Identifikation von Potentialen (SOLL-IST-Vergleich)

eingesetzt werden.

Die Vorstellung des Referenzmodells in Kombination mit der 4D Methode, hat bei unterschiedlichsten Unternehmen, wie Automobilherstellern oder Technologieanbietern, durchgängiges positives Feedback gebracht. Leider blieb bisher die praktische Erprobung der 4D Methode, zur Identifikation von Potentialen und Anwendungen im Umfeld eines produzierenden Unternehmens, verwehrt. Damit die 4D-Methode tatsächlich einen hohen Reifegrad erlangt, um in der Praxis eingesetzt werden zu können, bedarf es in den nächsten Schritten

- eines konkreten Projektes

- eines Planspiels, welches in ähnlicher Art und Weise auch im Lean-Management erfolgreich eingesetzt wird.

Durch den praktischen Einsatz der Methode ist es möglich Schwachstellen zu identifizieren und infolgedessen eine Nachbesserung durchzuführen.

9.1 Hypothesenableitung

Nach abgeschlossener Analyse mehrerer Fälle, ist es nun möglich die wesentlichen Charakteristika abzuleiten. Industrie 4.0 Anwendung erzeugen wegen des Einsatzes von unterschiedlichen Technologien ein Spannungsfeld. Dieses setzt sich im Wesentlichen aus Hardware, Software und dem Menschen zusammen. Industrie 4.0 vereint alle Komponenten und zielt auf eine perfekte Interaktion zwischen diesen ab. Im Zentrum dieses Spannungsfeldes befinden sich die Daten, welche zu jeder Zeit und an jedem Ort entstehen und somit auch erfasst und verwertet werden können.

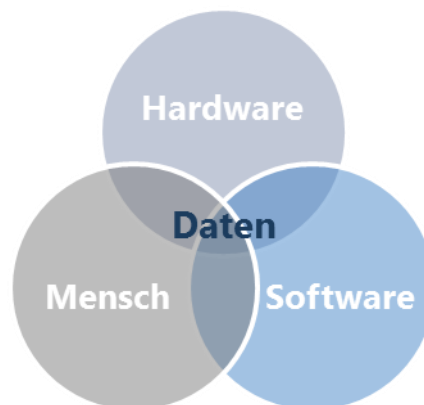


Abbildung 45: Spannungsfeld Industrie 4.0

In diesem Zusammenhang konnten, wie bereits erwähnt, vier Schlüsselemente identifiziert werden. Zum einfacheren Verständnis der Funktionsweise von Industrie 4.0, wurden die 4D ins Leben gerufen. Bei den 4D handelt es sich um die Felder

- Datenaufnahme
- Datenübertragung
- Datenverarbeitung
- Datenaufbereitung.

Diese vier Schlagworte können allgemein für jeden Anwendungsfall herangezogen werden und leiten so den Modellierer

- durch die Nachbildung von Beispielen und
- durch die Identifikation und Modellierung von neuen Anwendungen.

Des Weiteren ist es möglich drei Thesen zum Grundverhalten von Industrie 4.0 Anwendungen in der Produktion aufzustellen:

1. Objektintelligenz, im Sinne von eingebetteten Systemen verleiht dem Prozess zusätzliche Sicherheit
2. Intelligente Sensorik, kombiniert mit Apps, ermöglichen einen effizienten Ressourceneinsatz
3. Assistenzsysteme kompensieren Schwächen des Produktionsprozesses

Diese Grundverhalten können je nach Anwendung getrennt alleine, aber auch in Kombination auftreten. Um diese Verhalten greifbar zu machen sollen nun zu jedem Punkt Beispiele aus der Montage angeführt werden.

1. Durch den Einsatz von eingebetteten Systemen, wie z.B.: RFID werden Produkte mit Intelligenz ausgestattet. In Kombination mit produktbezogener Datenspeicherung, ist das Produkt somit im Stande, alle relevanten Informationen zur Herstellung stets mit sich zu führen. Diese Informationen können dann vor jedem Bearbeitungsschritt abgerufen werden, sodass die Fehler und deren Folgekosten gegebenenfalls reduziert werden können.
2. Sensoren in den Maschinen zeichnen ständig Daten auf und senden diese ohne Unterbrechung an Software Systeme, in welchen diese Daten problemspezifisch analysiert werden. Dadurch können beispielsweise Maschinenstillstandszeiten und somit Maschinenausfallkosten reduziert werden.
3. Die Schwächen eines Produktionsprozesses sind oft auf die begrenzte Leistungsfähigkeit des Menschen zurück zu führen. Diese Behauptung trifft sowohl auf die physische, als auch auf die geistige Leistungsfähigkeit zu. Physische Arbeiten können durch den Einsatz von intelligenten Robotern mit neuartiger Sicherheitssensorik unterstützt werden, sodass ein kombinierter Einsatz auf engstem Raum möglich wird. Die geistige Leistungsfähigkeit wird wegen des starken Anstiegs der Varianten-Vielfalt strapaziert. Als Unterstützung werden hier kognitive Assistenzsysteme eingesetzt, welche den Werker mit zusätzlichen Informationen versorgen. Genau betrachtet werden durch den Einsatz von physischen und kognitiven Assistenzsystemen die Montageoperationen des Handhabens positiv beeinflusst. Kognitive Assistenzsysteme erleichtern dabei das Kontrollieren maßgebend.

9.2 SWOT Analyse

Im Folgenden soll die Methode anhand der SWOT-Technik untersucht werden. Die SWOT-Analyse wird eingesetzt um Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken eines bestimmten Betrachtungsgegenstand zu untersuchen. In Bezug auf die entwickelte Methode, werden alle Stärken und Schwächen zusammengefasst und gegenübergestellt. In Folge werden die Chancen und Risiken zukünftiger Entwicklungen gegenübergestellt und untersucht. Aus dieser Analyse können in

weiterer Folge Maßnahmen abgeleitet werden, damit die Stärken und Chancen gefördert und die Schwächen und Risiken eliminiert werden.

Tabelle 19: SWOT-Analyse der entwickelten Methodik

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Diskussionsgrundlage • Ganzheitliche Betrachtung von Industrie 4.0 Anwendungen (Datenaufnahme, Datenverarbeitung, Datenaufbereitung und Datenübertragung) • Strukturierte Analyse von Potentialen und Anwendungen mit 4D Fragetechnik • Leichte Adaptierbarkeit auf verschiedene Unternehmensbereiche • Vereinfachte Darstellung der komplexen Zusammenhänge von neuen Technologien und bestehenden Betriebsmitteln • Grundlage für die Evaluierung des Nutzens bestimmter Anwendungen, durch die detaillierte Betrachtung des beeinflussten Prozesses 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfolgreiche Anwendung der 4D Methode erfordert praktische Erfahrung → Abhängig von Projekten • 4D Methode zur Identifikation von Potentialen und Anwendungen wurde noch nicht validiert • Methode gibt keine konkrete Auskunft über den Nutzen einer Anwendung, ist lediglich eine Grundlage für die Nutzenanalyse bestimmter Anwendungen • Methode und Referenzmodell ermöglichen die Untersuchung von „Insellösungen“
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Chancen auf Einsatz der Methode, falls es weiterhin schwierig ist die Funktionsweise und den Nutzen von Industrie 4.0 Anwendungen aufzuzeigen • Anwendung durch Unternehmensberater: <ul style="list-style-type: none"> ○ Unterstützung bei der Identifikation von neuen Anwendungen ○ Schulung von Unternehmen bezüglich der Funktionsweise von Industrie 4.0 Anwendungen • Hoffnung, dass Orientierung ermöglicht wird 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Detailgrad könnte sich als nicht nutzbringend herausstellen

9.3 Zukünftige offene Handlungsfelder

Wie in der SWOT-Analyse bereits beschrieben, ist mit der Methode lediglich eine Identifizierung oder Analyse von einzelnen Anwendungen, sprich Insellösungen, möglich. Diese Tatsache wirkt sich momentan nicht auf den effektiven Nutzen der Methode aus, da ein Großteil der Unternehmen mit den Überlegungen zu Industrie 4.0 noch nicht soweit fortgeschritten sind. Forschungsgemeinschaften, wie Arena 2036²³³ geben jedoch die korrekte Marschrichtung vor. In der Zukunft steht nicht mehr der Nutzen von Insellösungen im Vordergrund, sondern vielmehr der Mehrwert von Netzwerklösungen, also der Nutzen einer Kombination von Industrie 4.0 Anwendungen. Um diese Fragestellung zu beantworten, bedarf es allerdings noch mehrere Jahre und große Mengen an Forschungsgeldern.

Für die nähere Zukunft ist es erforderlich, in Anlehnung an das Referenzmodell und der gesamten Methode, den Nutzen von bestimmten Anwendungen zu identifizieren. Als Beispiel aus dem Projektumfeld kann hier der Einfluss von Datenbrillen auf die Pickfehler in der Logistik genannt werden. Spannend ist ebenfalls ob sich eine allgemeingültige Methode zur Identifizierung des Nutzens von Industrie 4.0 Anwendungen ableiten lässt.

²³³ Siehe URL: <http://www.arena2036.de/de/>, abgerufen am 17.08.16

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise - Links Kapitel Inhalte und der jeweilige Input zur Erarbeitung und rechts die jeweiligen Ergebnisse aus den einzelnen Kapiteln	7
Abbildung 2: Beziehungsdreieck	11
Abbildung 3: Vorgehensmodell zur Konstruktion und Anpassung von Referenzmodellen.....	17
Abbildung 4: Kostenverantwortung und Kostenverursachung	20
Abbildung 5: Haupt- und Teilprozesse in der industriellen Produktion	21
Abbildung 6: Teilfunktionen in der Montagestation.....	22
Abbildung 7: Funktionen des Montierens	23
Abbildung 8: Gliederung der Fertigungsgruppe Fügen	25
Abbildung 9: Gliederung des Handhabens	26
Abbildung 10: Einteilung der Montagesysteme nach Leistung und Komplexität	31
Abbildung 11: Einteilung der Fördermittel.....	35
Abbildung 12: Einteilung der Förderhilfsmittel.....	35
Abbildung 13: Einteilung der Lagermittel.....	36
Abbildung 14: externe und interne Veränderungstreiber.....	37
Abbildung 15: Neuordnung der Montagesysteme	39
Abbildung 16: Übersicht der 4 industriellen Revolutionen.....	41
Abbildung 17: Definition unternehmensinterne und -übergreifende Wertschöpfungskette.....	42
Abbildung 18: Anwendung von CPS in der industriellen Produktion	43
Abbildung 19: Internet of Everything	45
Abbildung 20: Erklärung der Technologiematrix	48
Abbildung 21: Stufenmodell der Industrie 4.0 Funktionsfelder	59
Abbildung 22: Vorgehensmodell zur Konstruktion und Anpassung von Referenzmodellen.....	61
Abbildung 23: Methodik für die Erstellung eines Referenzmodells	62
Abbildung 24: Montageoperationen, Betriebsmittel, Mensch im Ordnungsrahmen ..	66
Abbildung 25: Datenaufnahme durch Kombination neuer Technologien mit eingesetzten Betriebsmittel	67
Abbildung 26: vollständiger Ordnungsrahmen	69
Abbildung 27: Zweite Ebene des Ordnungsrahmens	70
Abbildung 28: Validierungs- und Komplettierungszyklus	75
Abbildung 29: Gegenüberstellung des Nutzenzuwachses und der kumulierten Modellierungskosten	75
Abbildung 30: Steckbrief Vorlage	77
Abbildung 31: Übergeordnete Struktur des Referenzmodells.....	79
Abbildung 32: Referenzmodell mit Detailsicht der Prozessebene.....	80

Abbildung 33: Referenzmodell Detailsicht Datenaufnahme	82
Abbildung 34: Referenzmodell zur Darstellung von Industrie 4.0 Anwendungen aus Sicht der Technologiefelder	84
Abbildung 35: Schematische Darstellung der 4D Methode	86
Abbildung 36: Mit Hilfe der 6W-Fragetechnik zur Problemlösung	86
Abbildung 37: Vorgehensmodell zur Identifikation von neuen Anwendungen der Industrie 4.0.....	93
Abbildung 38: Wertstromanalyseblatt für die Aufnahme des Wertstroms in der Montagestation	96
Abbildung 39: Steckbrief für Beispiel-Anwendung.....	98
Abbildung 40: Beeinflusste Montageoperationen.....	99
Abbildung 41: Datenaufnahme bei Montageunterstützung mittels Datenbrille	101
Abbildung 42: Datenverarbeitung bei Montageunterstützung mittels Datenbrille	103
Abbildung 43: Datenaufbereitung/Ableitung von Handlungsanweisungen bei Montageunterstützung mittels Datenbrille	105
Abbildung 44: Technologieinteraktionsmodell für den Einsatz einer Datenbrille zur Montageunterstützung.....	107
Abbildung 45: Spannungsfeld Industrie 4.0	110

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Handhabungsrelevante Werkstückmerkmale	27
Tabelle 2: Beispielhafte Montageprinzipien für Großgeräte	29
Tabelle 3: Fabrikobjekte und ihre Bedeutung in der Arbeitsstation	31
Tabelle 4: Einteilungsmatrix für Kommunikationstechnologien	50
Tabelle 5: Einteilungsmatrix für Sensorik	51
Tabelle 6: Einteilungsmatrix für Aktorik	52
Tabelle 7: Einteilungsmatrix eingebettete Systeme	54
Tabelle 8: Einteilungsmatrix Mensch-Maschine Schnittstelle	56
Tabelle 9: Einteilungsmatrix Software/Systemtechnik	58
Tabelle 10: Anwendung der Grundsätze der Modellierung	73
Tabelle 11: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenaufnahme	87
Tabelle 12: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenverarbeitung .	88
Tabelle 13: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenaufbereitung .	90
Tabelle 14: Beispielhafte Fragen als Leitfaden zur Analyse der Datenübertragung .	91
Tabelle 15: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenaufnahme	100
Tabelle 16: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenverarbeitung	102
Tabelle 17: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenaufbereitung	104
Tabelle 18: Anwendung des Leitfadens zur Analyse der Datenübertragung	106
Tabelle 19: SWOT-Analyse der entwickelten Methodik	112

12 Abkürzungsverzeichnis

AGV	Autonomous guided vehicle
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
CAQ	Computer Aided Quality
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CNC	Computerized numeric control
CPS	Cyber physical system
CPPS	Cyber physical production system
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
h	Stunde
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
OEM	Original Equipment Manufacturer
PPS	Produktionsplanung und Steuerungssystem
max.	maximal
TPS	Toyota Production System
TRL	Technology Readiness Level
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
z.B.	zum Beispiel

13 Literaturverzeichnis

- Abele, Eberhard; Reinhart, Gunther (2011): Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446428058>.
- Anderl, R. (2015): Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt am Main: VDMA-Verl.
- Andreas Pescholl (2010): Adaptive Entwicklung eines Referenzmodells für die Geschäftsprozessunterstützung im technischen Großhandel. Dissertation. Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Magdeburg. Fakultät für Informatik. Online verfügbar unter http://edoc.bibliothek.uni-halle.de/servlets/MCRFileNodeServlet/HALCoRe_derivate_00004550/Dissertationen_Andreas_Pescholl.pdf;jsessionid=A6C915974523D78FCC0571867822AC6C, zuletzt geprüft am 22.07.2016.
- Auerbach Thomas; Bauhoff Fabian; Beckers Marion; Behnen Daniel; Brecher Christian; Brosze Tobias (2011): Selbstoptimierende Produktionssysteme. In: Christian Brecher (Hg.): Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch), S. 747–1057.
- Bandow, Gerhard; Holzmüller, Hartmut H. (Hg.) (2010): "Das ist gar kein Modell!". Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Gabler Research).
- Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) (2014a): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>.
- Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) (2014b): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>.
- Becker, Jörg (2004): Handelsinformationssysteme. Domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 1. Auflage. München: mi-Wirtschaftsbuch. Online verfügbar unter http://www.wiso-net.de/document/MIWI,AMIW__9783636031440875.
- Birgit Vogel-Heuser (2014): Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink), S. 37–48.

- BITKOM (2010): Eingebettete Systeme. Ein strategisches wachstumsfeld für Deutschland. Stephan Ziegler. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Publikationen/2010/Leitfaden/Eingebettete-Systeme-Anwendungsbeispiele-Zahlen-und-Trends/EingebetteteSysteme-web.pdf>.
- Bossel, Hartmut (1994): Modeling and Simulation. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-10822-1>.
- Bruno Lotter (2012a): Einführung. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 1–8.
- Bruno Lotter (2012b): Manuelle Montage von Großgeräten. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 147–166.
- Buhr, Daniel (2015): Industrie 4.0. Entwicklung und Stand der Diskussion. Braunschweiger Dialog, Friedrich Ebert Stiftung. Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. eberhard Karls Universität Tübingen, 31.03.2015.
- Derbel, Faouzi (2002): Smart-Sensor-System zur Brandfrüherkennung. Brandmeldeeinrichtung zur schnelleren Erfassung von Bränden und sicheren Unterscheidung von Störereignissen/Falschalarmen ; mit 30 Tabellen. Univ. der Bundeswehr, Diss.--München, 2000. München: Pflaum (Gebäudesystemtechnik).
- Dipl.-Ing. Dr. MBA Kurt Hofstädter (2015): Industrie 4.0 ist eine Chance für den Industriestandort Österreich. In: PwC Österreich (Hg.): Industrie 4.0. Österreichs Industrie im Wandel, S. 6.
- Dipl.-Ing. Dr. MBA Kurt Hofstädter (2016): The Digital Enterprise. Industry 4.0. 21. Kongress der Wirtschaftsingenieure. Siemens. Die Wirtschaftsingenieure. Wien, 20.05.2016.
- Dörner, dietrich (1984): Modellbildung und Simulation. In: Erwin Roth (Hg.): Sozialwissenschaftliche Methoden. Lehr- und Handbuch für Forschung und Praxis. Hrsg. von Erwin Roth unter Mitarb. von. München, Wien: Oldenbourg, S. 337–350.
- Dr. Jürgen Bischoff, Christoph Taphorn, Denise Wolter, Nomo Braun, Dr. Manfred Fellbaum, Alexander Goloverov, Stefan Ludwig, Dr. Tobias (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von "Industrie 4.0" im Mittelstand. Hg. v. Dr. Jürgen Bischoff. agiplan GmbH, Fraunhofer IML, Zenit GmbH. Online verfügbar unter <http://www.agiplan.de/unternehmen/news-und-presseinformationen/detail/studie-industrie-40-im-mittelstand.html>, zuletzt geprüft am 11.07.2016.
- Edwin lotter (2012): Hybride Montagesysteme. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 167–193.

- Ehrmann, Harald (1997): Logistik. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl (Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft).
- Erlach, Klaus (2010): Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. 2., bearb. und erweiterte Aufl. Berlin, New York: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10408765>.
- Eßer, Gerd (2015): Sozitechnisches Potenzial cyber-physischer Systeme. In: ZWF - Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fachbetrieb (Hg.): ZWF, 03/15, S. 142–144. Online verfügbar unter <http://www.zwf-online.de/ZW111298>, zuletzt geprüft am 17.08.2016.
- Eversheim, Walter (Hg.) (2003): Innovationsmanagement für technische Produkte. Mit Fallbeispielen. Berlin: Springer (VDI-Buch).
- Fetke, Peter; Loos, Peter (2002): Methoden zur Wiederverwendung von Referenzmodellen. Übersicht und Taxonomie. In: Prof. Dr. J. Becker, Prof. Dr. H. L. Grob, Prof. Dr. S. Klein (Hg.): Referenzmodellierung 2002. Methoden - Modelle - Erfahrungen. Institut für Wirtschaftsinformatik. Münster (Arbeitsbericht, 90), S. 9–30. Online verfügbar unter http://www.econbiz.de/archiv1/2008/26476_referenzmodellierung_methoden_modelle.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2016.
- Fraunhofer IPM (2015): Vernetzte Sensorik für Dezentrales Monitoring. Freiburg. Dr. Marie-Luise Bauersfeld. Online verfügbar unter <http://www.ipm.fraunhofer.de/content/dam/ipm/de/PDFs/produktblaetter/GP/ISS/Sensornetzwerke.pdf>.
- Fuchs, Hans-Werner (2009): Wertstrommethode. Potential und Zielkonflikte unter speziellen Rahmenbedingungen. Diplomarbeit. Hochschule Mittweida, Ostermiething. Wirtschaftswissenschaften. Online verfügbar unter hsmw.bsz-bw.de/files/796/DA_Wertstrommethode.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2016.
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred (2012): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Berlin, Heidelberg: Springer (acatech STUDIE, März 2012, 1). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29099-2>.
- Hering, Ekbert; Schönfelder, Gert (2012): Sensoren in Wissenschaft und Technik. Funktionsweise und Einsatzgebiete. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag (Praxis). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-8635-4>.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (Open), S. 89–98.
- Holten, Roland (1999): Entwicklung von Führungsinformationssystemen. Ein methodenorientierter Ansatz. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (Informationsmanagement und Controlling). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-92349-3>.

Imai, Masaaki; Nitsch, Franz (1994): *Kaizen. Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb*. 12. Aufl. München: Wirtschaftsverl. Langen Müller/Herbig.

Johann Soder (2014): *Use Case Production: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0*. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink), S. 85–102, zuletzt geprüft am 11.05.2016.

Jörg Becker (1998): *Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung und ihre Einbettung in ein Vorgehensmodell zur Erstellung betrieblicher Informationsmodelle*. Hg. v. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Institut für Wirtschaftsinformatik. Münster. Online verfügbar unter <https://www.wi-inf.uni-duisburg-essen.de/MobisPortal/pages/rundbrief/pdf/Beck98.pdf>, zuletzt geprüft am 20.07.2016.

Kastens, Uwe; Kleine Büning, Hans (2005): *Modellierung. Grundlagen und formale Methoden*. München: Hanser.

Kaufmann, Timothy (2015): *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Wiesbaden: Springer Vieweg (Essentials). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1055061>.

Kevin Ashton (2009): *That "Internet of Things" Thing*. In: *RFID Journal*, S. 1. Online verfügbar unter <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>, zuletzt geprüft am 21.03.2016.

Koch, Susanne (2015): *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen. Six Sigma, Kaizen und TQM*. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1883137.

Lilien, Gary L.; Kotler, Philip; Moorthy, K. Sridhar (2003): *Marketing models. Eastern economy ed., Indian reprint*. New Delhi: Prentice-Hall of India.

Lotter, Bruno (2012): *Manuelle Montage von Kleingruppen*. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis*. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 109–146.

Lotter, Bruno; Schilling, Werner (1994): *Manuelle Montage. Planung - Rationalisierung - Wirtschaftlichkeit*. Düsseldorf: VDI-Verl.

Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hg.) (2012a): *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis*. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9>.

- Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (2012b): Zusammenfassung. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 485–489.
- Manhart, Klaus (2007): Theorie, Modell, Formalisierung. Überarbeitete Fassung aus meiner Dissertation. KI-Modelle in den Sozialwissenschaften. München: Oldenbourg, 2007. Online verfügbar unter http://www.klaus-manhart.de/mediapool/28/284587/data/01-theorie-modell_2_.pdf, zuletzt geprüft am 18.07.2016.
- Matthew Turk (2000): Perceptual User Interfaces. Online verfügbar unter <http://www.cs.ucsb.edu/~mturk/pubs/TurkEC-NSFWorkshop.pdf>.
- Pachow-Frauenhofer, Julia (2012): Planung veränderungsfähiger Montagesysteme. Univ., Diss.--Hannover, 2012. Garbsen: PZH Produktionstechn. Zentrum (Berichte aus dem IFA, 2012,1).
- Peter Nyhuis, Hans Peter Wiendahl, Carsten Wagner (2012): Materialbereitstellung in der Montage. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 285–313.
- PwC Österreich (Hg.) (2015): Industrie 4.0. Österreichs Industrie im Wandel.
- Robert Graf, Victor Nagel, Florian Wündsche (12.11.14): Kaizen. Uni Potsdam. Potsdam, 12.11.14.
- Roland Holten (2001): Konstruktion domänenspezifischer Modellierungstechniken für die Modellierung von Fachkonzepten. Hg. v. J. Becker, H. L. Grob, S. Klein, Kuchen H., U. Müller-Funk und G. Vossen. Uni Münster (Arbeitsbericht Nr.78). Online verfügbar unter <https://www.wi.uni-muenster.de/sites/wi/files/publications/ab78.pdf>, zuletzt geprüft am 20.07.2016.
- Rosemann, Michael; Schütte, Reinhard (1999): Multiperspektivische Referenzmodellierung. In: Jörg Becker, Michael Rosemann und Reinhard Schütte (Hg.): Referenzmodellierung. Heidelberg: Physica-Verlag HD, S. 22–44.
- Rudi Studer (2012): Ontologien. Hg. v. Norbert Gronau, Jörg Becker, Karl Kurbel, Elmar Sinz und Leena Suhl. Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. Online verfügbar unter <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/datenwissen/Wissensmanagement/Wissensmodellierung/Wissensrepräsentation/Semantisches-Netz/Ontologien>, zuletzt aktualisiert am 23.10.12, zuletzt geprüft am 12.07.2016.
- Scheer, August-Wilhelm (1997): Wirtschaftsinformatik. Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. 7., durchges. Aufl. Berlin: Springer.

Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon (2014): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-05459-4>.

Schulte, Christof (1999): Logistik. Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses. 3., überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen.

Schulte, Gerd (1996): Material- und Logistikmanagement. München: Oldenbourg.

Schumacher, Andreas; Geißler, Philip; Sihn, Wilfried (2016): Von Smart Technologies zur Smart Factory. Die Basistechnologien der Industrie 4.0 und deren Potential. In: WING Business (Hg.): Kongresssheft: Smart Technologies. 4.0 Revolution: Umsetzung & Herausforderungen 49. (2/16). Graz, S. 14–18.

Schütte, Reinhard (1998): Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag (Neue Betriebswirtschaftliche Forschung, 233). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-10233-5>.

Schwarze, Lars (2007): Thomas, Oliver Management von Referenzmodellen — Entwurf und Realisierung eines Informationssystems zur Entwicklung und Anwendung von Referenzmodellen. In: *Wirtsch. Inform.* 49 (2), S. 148–149. DOI: 10.1007/s11576-007-0039-0.

Schwemmer, Oswald (2004): Orthosprache. In: Jürgen Mittelstraß, Siegfried Blasche, Gereon Wolters und Martin Carrier (Hg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Unveränd. Sonderausg. Stuttgart: Metzler, S. 1099.

Spath, Dieter (Hg.) (2013): Zukunftsfähige Montagesysteme. Wirtschaftlich, wandlungsfähig und rekonfigurierbar. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.

Spur G. (2014): Produktionstechnologie. In: Produktion und management. [Place of publication not identified]: Springer, II-1 bis II-14.

Stachowiak, Herbert (1980): Der Modellbegriff in der Erkenntnistheorie. In: *Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 11 (1), S. 53–68. DOI: 10.1007/BF01801279.

Stefan Hesse (2012): Automatische Montagemaschinen. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), S. 195–272.

Thomas Hess (2013): Digitalisierung. Hg. v. Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. Online verfügbar unter <http://www.encyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-encyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Informatik-->

Grundlagen/digitalisierung/, zuletzt aktualisiert am 10.10.2013, zuletzt geprüft am 15.09.2016.

VDI (2013): Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf, zuletzt aktualisiert am 04.2013, zuletzt geprüft am 28.05.2016.

Vom Brocke, Jan (2015): Referenzmodellierung. Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen. 2., unveränderte Auflage. Berlin: Logos Verlag (Advances in information systems and management science, 4).

Wannenwetsch, Helmut (2007): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik. Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 3., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10187796>.

Warnecke, Hans-Jürgen; Löhr, Hans-Günter; Kiener, Waldemar (1975): Montagetechnik. Schwerpunkt der Rationalisierung. Mainz: Krausskopf (Buchreihe Produktionstechnik heute, 7).

Wedekind H. (1981): Datenbanksysteme I. Eine konstruktive Einführung in die Datenverarbeitung in Wirtschaft und Verwaltung. Mannheim.

Weiss, Gerhard (Hg.) (2000): Multiagent systems. A modern approach to distributed artificial intelligence. 2. print. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Wiendahl, Hans-Peter; Reichardt, Jürgen; Nyhuis, Peter (2014): Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. 2., überarb. und erw. Aufl., [elektronische Ressource]. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446437029>.

Wilfried Sihn (20.05.16): Industrie 4.0. Fit für Industrie 4.0 durch Smart Technologies. 21. Kongress der Wirtschaftsingenieure. Fraunhofer Austria Research. Wien, 20.05.16.

Wilhelm Bauer; Sebastian Schlund (20.04.15): Industrie 4.0. Erfolgsfaktoren im Transformationsprozess. Fraunhofer IAO, Universität Stuttgart IAT. Cngress der Controller. München, 20.04.15. Online verfügbar unter https://www.icv-controlling.com/fileadmin/Veranstaltungen/VA_Dateien/Congress_der_Controller/Vortrag_C3%A4ge_2015/Unverschl%C3%BCsselt/5_TZ_A_Industrie_4.0_Bauer.pdf, zuletzt geprüft am 12.07.16.